

Manual de Construção em Aço



Tecnologias de Vedação e Revestimentos para Fachadas

TECNOLOGIAS DE VEDAÇÃO E REVESTIMENTO PARA FACHADAS

Série “Manual de Construção em Aço”

- Galpões para Usos Gerais
- Ligações em Estruturas Metálicas
- Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço
- Alvenarias
- Painéis de Vedação
- Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço
- Tratamento de Superfície e Pintura
- Transporte e Montagem
- Steel Framing: Arquitetura
- Interfaces Aço-Concreto
- Steel Framing: Engenharia
- Pontes e viadutos em vigas mistas
- Treliças tipo Steel Joist
- Viabilidade Econômica
- Dimensionamento de Perfis Formados a Frio conforme NBR 14762 e NBR 6355 (CD)
- Projeto e Durabilidade
- Estruturas Mistas Vol. 1 e 2
- Prevenção contra Incêndio no Projeto de Arquitetura
- Projeto de Abertura em Almas de Vigas de Aço e Vigas Mistas de Aço e Concreto
- Estruturas Compostas por Perfis Formados a Frio. Dimensionamento pelo Método das Larguras Efetivas e Aplicação Conforme ABNT NBR 14762:2010 E ABNT NBR 6355:2012
- Tecnologias de Vedação e Revestimento para Fachadas

DR. JONAS SILVESTRE MEDEIROS
MURILO BLANCO MELLO
MARCUS VINÍCIUS VEIGA ROGGERO
MILTON JOSÉ PIMENTA SEGUNDO
VINÍCIUS BRANDÃO PIETRANTONIO

TECNOLOGIAS DE VEDAÇÃO E REVESTIMENTO PARA FACHADAS

INSTITUTO AÇO BRASIL
CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

**RIO DE JANEIRO
2014**

Crédito da foto de capa: Acervo Piratininga Arquitetos Associados

© 2014 INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por quaisquer meio, sem a prévia autorização desta Entidade.

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Informações do AçoBrasil/CBCA

M488t Medeiros, Jonas Silvestre
Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas / Jonas Silvestre Medeiros ...
et al. -- Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.
128p.; -- (Série Manual de Construção em Aço)

Bibliografia

ISBN 978-85-89819-34-3

1.Vedação 2. Revestimento I. Títulos (série) II. Mello, Murilo Blanco III. Roggero, Marcus
Vinícius Veiga IV. Segundo, Milton José Pimenta V. Pietrantonio, Vinícius Brandão

CDU 692(035)

Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço
Av. Rio Branco, 181 / 28º Andar
20040-007 - Rio de Janeiro - RJ
e-mail: cbca@acobrasil.org.br
site: www.cbca-acobrasil.org.br

SUMÁRIO

Capítulo 1	
Introdução	09
1.1 Contextualização	10
1.1.1 A Importância dos Sistemas de Vedação de Fachada	10
1.1.2 Tipologia dos Sistemas de Vedação para Fachadas	10
1.1.3 Soluções Construtivas de Fachadas para Estruturas de Aço	12
1.2 Desempenho das Vedações de Fachada segundo a NBR 15.575	12
1.2.1 Desempenho Estrutural	12
1.2.2 Desempenho Acústico	15
1.2.3 Desempenho Térmico	15
1.2.4 Segurança contra Incêndio	16
1.2.5 Estanqueidade	18
1.2.6 Durabilidade e Corrosão	18
Capítulo 2	
Light Steel Framing(LSF) para Vedação de Fachadas	21
2.1 Contextualizações e Aplicações	22
2.1.1 O Sistema de LSF e sua Utilização em Fachadas	22
2.1.2 Subestrutura de Perfis de Aço Revestidos Formados a Frio	23
2.1.3 Tipologia dos Sistemas LSF para Fachadas	24
2.1.4 Placas Cimentícias para Sistemas de LSF	25
2.1.5 Onde e Por Que usar LSF em Fachadas	26
2.1.6 Características do LSF para Fachadas	26
2.1.7 Relação Custo-Benefício	27
2.2 Desempenho do LSF para Fachadas	29
2.2.1 Desempenho Estrutural	29
2.2.2 Desempenho Acústico	29
2.2.3 Desempenho Térmico	29
2.2.4 Segurança contra Incêndio	29
2.2.5 Estanqueidade	30
2.2.6 Durabilidade do LSF	30
2.3 Projeto de Vedações de Fachada com LSF	30
2.3.1 Configurações das Vedações com LSF e Placa Cimentícia	30
2.3.2 Modulação de Perfis e Painéis	31
2.3.3 Detalhamento Construtivo	32
Capítulo 3	
Painéis Metálicos Isolantes(PMI) para Vedação de Fachadas	37
3.1 Contextualização e Aplicações	38
3.1.1 Onde e Por Que utilizar o Sistema de Painéis Metálicos Isolantes	38
3.1.2 Características do Sistema de Painéis Metálicos Isolantes	39
3.1.3 Relação Custo-Benefício	40
3.2 Desempenho do PMI para Fachadas	41
3.2.1 Desempenho Mecânico	42
3.2.2 Desempenho Acústico	42
3.2.3 Desempenho Térmico	42
3.2.4 Segurança contra Incêndio	43
3.2.5 Estanqueidade	44
3.2.6 Durabilidade do PMI	44
3.3 Projeto de Vedações de Fachada com PMI	45
3.3.1 Especificação e Dimensionamento	45
3.3.2 Fixações de Painéis	46
3.3.3 Detalhes e Juntas entre Painéis	48
3.3.4 Sequência Executiva	49
Capítulo 4	
Painéis Pré-Fabricados de Concreto(PFC) para Vedação de Fachadas	51

4.1	Contextualização e Aplicações	52
4.1.1	Painéis Pré-Fabricados de Concreto (PFC) e sua Utilização em Fachadas	52
4.1.2	Tipos de Painéis para Fechamento	52
4.1.3	Processo de Fabricação e Repercussões no Desempenho	53
4.1.4	Onde e Por Que Utilizar o Sistema em PFC	54
4.1.5	Características do Sistema em PFC para Fachadas	55
4.1.6	Relação Custo-Benefício	56
4.2	Desempenho do PFC para Fachadas	57
4.2.1	Desempenho Estrutural	57
4.2.2	Desempenho Acústico	58
4.2.3	Desempenho Térmico	58
4.2.4	Segurança contra Incêndio	58
4.2.5	Estanqueidade	59
4.2.6	Durabilidade	60
4.3	Projeto de Vedações de Fachada com PFC	60
4.3.1	Dimensionamento do Painel	60
4.3.2	Fixações	61
4.3.3	Juntas	64
Capítulo 5		
Sistemas de Vedação de Fachada com Vidro - FDV		67
5.1	Contextualização e Aplicações	68
5.1.1	Sistemas de Vedação de Fachada com Vidro e sua Utilização	68
5.1.2	Tipologia de Sistemas	68
5.1.3	Tipos de Vidros	75
5.1.4	Onde e Por Que Utilizar os Sistemas de Fachada com Vidro	81
5.1.5	Relação Custo-Benefício	81
5.2	Desempenho dos Sistemas de Vedação de Fachada com Vidro	82
5.2.1	Desempenho Estrutural	82
5.2.2	Segurança contra Incêndio	83
5.2.3	Estanqueidade	83
5.2.4	Desempenho Térmico	84
5.2.5	Desempenho Acústico	85
5.2.6	Desempenho Lumínico	86
5.2.7	Durabilidade	86
5.2.8	Manutenção	86
5.3	Projeto de Sistemas de Vedação de Fachada com Vidro	87
5.3.1	Especificações e Dimensionamento	87
5.3.2	Exemplos de Obras Contemporânea e de Soluções de Projeto	92
Capítulo 6		
Sistemas de Revestimento Cortina e Ventilado (RCV)		97
6.1	Contextualização e Aplicações	98
6.1.1	Revestimento Ventilado e Cortina	98
6.1.2	Tipos de Painéis de Fechamento	99
6.1.3	Características dos Revestimentos Ventilado e Cortina	103
6.1.4	Relação Custo-Benefício	103
6.2	Desempenho dos Revestimentos Cortina Ventilado	104
6.2.1	Desempenho Estrutural	105
6.2.2	Desempenho Acústico	105
6.2.3	Desempenho Térmico	105
6.2.4	Segurança contra Incêndio	105
6.2.5	Estanqueidade	105
6.2.6	Durabilidade e Manutenção	106
6.3	Projeto de Revestimentos Cortina e Ventilado	108
6.3.1	Especificação e Dimensionamento	108
6.3.2	Detalhes de Projeto	109
Referências Bibliográficas		115
Anexo A		125

Apresentação

O CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço tem a satisfação de oferecer aos profissionais envolvidos com o emprego do aço na construção civil mais este manual, de uma série cujo objetivo é a disseminação de informações técnicas e as melhores práticas relacionadas à construção em aço.

Este manual tem como objetivo principal estimular os profissionais de arquitetura e técnicos da área de construção, para a especificação e o projeto de fachadas que utilizem novas soluções construtivas diferentes daquelas tradicionais com alvenarias e revestimentos aderidos convencionais.

As tecnologias contempladas neste manual já são largamente utilizadas em outros países e vêm encontrando um cenário na construção nacional mais aberto e com maiores possibilidades de viabilidade, tanto do ponto de vista técnico como econômico.

São abordadas no manual, cinco diferentes tecnologias para a vedação de fachadas: estruturas leves em aço (light steel framing – LSF); painéis metálicos isolantes (PMI); painéis pré-fabricados de concreto (PFC); sistemas de vedação de fachadas com vidro (FDV) e sistemas de revestimento cortina ou ventilado (RCV).

Todas essas tecnologias já estão em uso no país, ainda que algumas de forma incipiente, mas com um enorme potencial para crescimento. Em comum, apresentam como principal característica o fato de serem comercializadas como uma solução construtiva, onde materiais, especificação, projeto e montagem são fornecidos em conjunto, ainda que não necessariamente por uma única empresa.

As soluções para a compatibilização das estruturas de aço e seus respectivos sistemas construtivos são um aspecto relevante deste manual. Acredita-se que é esta integração na etapa de projeto, execução e operação que poderá tornar as edificações no Brasil mais rápidas, eficientes e sustentáveis.

O manual apresenta no seu Anexo A, uma tabela comparativa do impacto dos principais fatores relevantes no custo de cada tecnologia de vedação e revestimento das estruturas em aço.

Centro dinâmico de serviços, capacitado para conduzir e fomentar uma política de promoção do uso do aço na construção com foco exclusivamente técnico, o CBCA está seguro de que ao difundir estas tecnologias, suas melhores práticas, critérios de especificações e projetos, colabora com a modernização da construção civil brasileira, contribuindo para a difusão de competência técnica e empresarial no País.

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Contextualização

Este manual tem o objetivo principal de orientar profissionais de arquitetura e técnicos da área de construção a respeito das novas tecnologias disponíveis para a vedação externa de edifícios.

O CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) procura com este manual estimular a especificação e o projeto de fachadas que utilizem soluções construtivas diferentes daquelas tradicionais com alvenarias e revestimentos aderidos convencionais. As tecnologias contempladas neste manual, já são largamente utilizadas em outros países e finalmente vêm encontrando um cenário da construção nacional mais aberto e com maior possibilidade de viabilidade, tanto técnica como econômica.

São discutidas cinco diferentes tipologias para a vedação de fachadas, a saber:

- Estruturas leves de aço (*light steel framing* – LSF);
- Painéis metálicos isolantes para vedação de fachadas – PMI;
- Painéis pré-fabricados de concreto para vedação de fachadas – PFC;
- Sistemas de vedação de fachadas com vidro – FDV;
- Sistemas de revestimento cortina ou ventilado – RCV.

Todas estas soluções já estão em uso no Brasil, ainda que algumas de forma incipiente. Em comum apresentam como principal característica o fato de serem comercializadas como uma solução construtiva, onde materiais, especificação, projeto e montagem são fornecidos em conjunto, ainda que não necessariamente por uma única empresa.

Um aspecto relevante no âmbito do manual são as soluções para a compatibilização das estruturas de aço e seus respectivos sistemas construtivos. Acredita-se que é esta integração na etapa de projeto, execução e operação que pode tornar as edificações no Brasil mais rápidas e eficientes.

Ao difundir estas tecnologias, suas melhores práticas, critérios de especificações e projeto, o CBCA espera colaborar para a modernização da construção civil brasileira.

1.1.1 - A importância dos sistemas de vedação de fachada

A fachada ocupa uma posição de destaque no projeto e construção de um edifício. Além de ser a parte mais importante para proteção das edificações frente aos agentes externos, ela é um elemento chave para definir a estética, tendo participação significativa nos custos da obra.

Em levantamento realizado com base nos dados publicados pelo GUIA DA CONSTRUÇÃO (PINI, 2013a; PINI, 2013b) as vedações externas dos edifícios, incluindo paredes de alvenaria, esquadrias com vidro e revestimentos convencionais aderidos, representam entre 9 a 13 % do custo total de uma edificação no Brasil. Já quando se trata de obras com vedações e revestimentos não convencionais tem-se uma amplitude maior de valores em função da tipologia utilizada, com valores entre 4 e 15 %.

O desempenho das vedações de fachada ganhou ainda mais importância devido a maior conscientização da importância de sua participação no conforto térmico da edificação, aliada à necessidade de se construir edifícios cada vez mais sustentáveis. À medida que as edificações ficam mais altas, mais expostas ficam suas fachadas, e maior deve ser a preocupação com esse requisito de desempenho do ponto de vista da vedação vertical.

1.1.2 - Tipologia dos sistemas de vedação para fachadas

As vedações externas ou de fachadas são assim designadas por não terem função estrutural, ou seja, não fazem parte da estrutura principal do edifício.

Não obstante, elas precisam ser dimensionadas para resistir aos esforços resultantes

da ação do vento, de cargas acidentais e de seu peso próprio, transmitindo-as à estrutura.

Em termos gerais pode-se dizer que existem três tipologias distintas de soluções construtivas para a vedação e revestimento de fachadas de edifícios, a saber:

a) alvenaria de vedação e revestimento aderido com substrato de argamassa;

b) alvenaria ou divisória leve de vedação com revestimento tipo cortina ou ventilado (conhecido em inglês como *rain screen wall*);

c) fachada cortina e seus subtipos como painéis de concreto, LSF com placas cimentícias, pele de vidro, *structural glazing* e módulos de vidro unitizados.

Este manual dedica-se aos dois últimos tipos e traz informações básicas para seu entendimento e especificação em projeto.

Os revestimentos tipo cortina ou ventilado não constituem uma vedação completa e por isso precisam ser combinados com parede de alvenaria ou outra divisória. Os materiais mais comuns utilizados para estes revestimentos são as placas de granito, os painéis de ACM (*aluminum composite material*) e os painéis cerâmicos extrudados ou prensados.

Nestes tipos de soluções construtivas de fachada as placas ou painéis de revestimento ficam normalmente afastados alguns centímetros da vedação principal e são fixados por meio de subestruturas metálicas como mostra o capítulo 6.

As fachadas do tipo cortina, por sua vez, podem ser projetadas para ter função tanto de revestimento como de vedação externa principal da edificação, muito embora o termo seja empregado de modo genérico para designar uma série de diferentes tecnologias construtivas como aquelas apresentadas nos capítulos 2, 3, 4 e 5. Estas fachadas empregam subestruturas ancoradas à estrutura principal do edifício que geralmente são engastadas apenas em um ponto a cada trecho, se assemelhando, portanto, a uma cortina convencional usada para bloquear a luz em janelas, derivando assim o termo – fachadas cortina. (PATTERSON, 2011)

Sendo essencialmente uma vedação externa, as fachadas cortinas precisam ser estanques ao ar e à água, além de funcionar com uma barreira para reter o calor e o som de acordo com as necessidades requeridas no projeto.

Para qualquer tipo de solução de fachada, seja vedação ou revestimento, é necessário considerar a capacidade de acomodar as deflexões, expansão e contração térmicas, deslocamentos relativos entre os pavimentos e oscilações dos edifícios causados pelo vento e cargas sísmicas, sendo necessário considerar estas ações de modo local e global.

Outros critérios importantes de desempenho como o conforto lumínico, térmico e acústico, bem como a resistência ao fogo e a segurança contra invasão e explosões devem ainda ser considerados de acordo com os requisitos estabelecidos para o projeto ou normalização específica. Estes últimos são itens quase sempre determinantes em projeto na Europa, nos EUA e na Ásia.

Todos estes aspectos têm transformado os projetos de fachada, independente do material em uso, em soluções construtivas customizadas e não apenas de aplicação de sistemas construtivos padronizados.

Para facilitar o leitor no que se refere à comparação entre as diversas soluções construtivas aqui tratadas, apresenta-se no final deste manual uma tabela comparativa de fatores impactantes no custo final dos sistemas de vedação e revestimento. Para tanto o impacto nos custos é avaliado de forma qualitativa e relativa, tendo como referência uma média presumida de influência de cada fator, seja no custo final do sistema, seja no custo global da obra. Os fatores considerados na tabela comparativa são:

- Impacto na logística da obra;
- Necessidade de equipamento;
- Nível de pré-montagem;
- Velocidade de montagem;
- Viabilidade de ajustes durante a montagem;
- Terminalidade;

- Necessidade de acabamento final;
- Incremento de desempenho acústico;
- Incremento de desempenho térmico;
- Incremento de segurança contra incêndio;
- Incremento em durabilidade;
- Manutenibilidade;
- Cadeia Produtiva;
- Contrato e responsabilidade técnica;
- Estimativa de preço (R\$/m²).

1.1.3 - Soluções construtivas de fachadas para estruturas de aço

A maioria das soluções de vedações externas de fachada de que trata este manual podem ser utilizadas em edifícios concebidos para serem construídos com qualquer tipo de estrutura portante, como os reticulados de concreto armado ou metálicos.

A maior parte das soluções industrializadas de fachada requer apenas pontos de ancoragem ao longo da altura do edifício. As fachadas cortinas unitizadas, por exemplo, são fixadas nas bordas das lajes de concreto e conseguem vencer os pés-direitos típicos de projeto sem apoio intermediário. Na prática, todas as demais tipologias podem ser projetadas para serem ancoradas às lajes de concreto ou vigas de aço ou concreto.

Às estruturas de aço, em particular, acrescenta-se a maior facilidade para o detalhamento das ligações entre a subestrutura do sistema de fachada e os elementos da estrutura principal, contribuindo para agilizar a obra e reduzir custos.

Ao longo dos capítulos são apresentados os detalhes e discutidas as ligações para cada uma das tecnologias apresentadas.

1.2 - Desempenho das vedações de fachada segundo a NBR 15.575

O desempenho de uma edificação ou de suas partes pode ser caracterizado como uma relação entre seu comportamento quando em uso e operação frente às condições de

exposição e o comportamento esperado por seus usuários, levando em consideração às necessidades humanas em relação ao uso da edificação.

O Brasil conta desde 2013 com uma norma que visa adequar as novas edificações aos requisitos de desempenho esperados. Trata-se da NBR 15.575 (ABNT, 2013), que apesar de ser específica para edificações habitacionais, pode ser tomada como referência para uma análise geral do desempenho dos sistemas de fachada discutidos no âmbito deste manual.

Como estes sistemas têm a função de vedar externamente a edificação, a parte 4 da NBR 15.575, que trata dos requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, é a mais aplicável para a abordagem pretendida neste manual.

Esta norma abrange a maior parte dos requisitos necessários ao projeto de uma solução de fachada, embora critérios específicos exigidos a cada sistema ou material não sejam contemplados. Ou seja, trata-se de um texto de orientação geral e assim deve ser considerado.

Ao longo dos capítulos dedicados a cada assunto serão consideradas outras normas específicas de acordo com o material ou sistema empregado.

1.2.1 - Desempenho estrutural

Tanto os revestimentos como as fachadas tipo cortina contam com subestrutura que serve especificamente para resistir ao seu peso próprio e a ações externas como vento, abalos sísmicos, bem como aos efeitos da dilatação térmica dos perfis que a compõem.

Os sistemas de vedação devem atender aos requisitos dispostos na NBR 15.575, que prevê as resistências ao impacto (lado interno e externo) e de cargas suspensas (lado interno).

A Tabela 1.1 mostra as exigências da NBR 15.575 para impactos de corpo mole para vedações verticais externas de edifícios com mais de um pavimento.

A Tabela 1.2 apresenta, por sua vez, as

exigências da NBR 15.575 para impactos de corpo duro para vedações verticais externas de edifícios com mais de um pavimento.

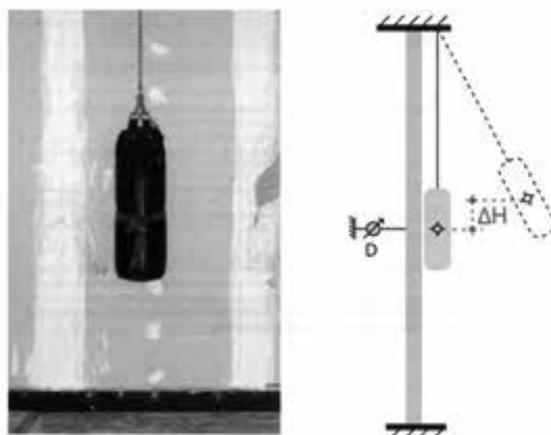


Figura 1.1. Representação do ensaio de impacto de corpo mole transmitido por um saco de couro com massa de 40 kgf projetado contra a vedação. (CBIC, 2013).

Tabela 1.1. Exigências da NBR 15.575 para impactos de corpo mole para vedações verticais externas. Tabela 3 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Elemento	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Crítérios de desempenho
Vedações verticais sem função estrutural, constituídas por elementos leves ($G < 60 \text{ kg/m}^2$)	Impactos externos (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	720	Não ocorrência de ruína (estado-limite último)
		360	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)
		240	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/62,5$; $d_{hr} \leq h/625$
Revestimento interno ou face interna das vedações verticais externas em multicamadas ^a (impactos internos)		120	Não ocorrência de ruína (estado-limite último) São permitidas falhas localizadas
		60	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação da ocorrência de deslocamento: $d_h \leq h/125$; $d_{hr} \leq h/625$

^a Está sendo considerado neste caso que o revestimento interno da parede de fachada multicamada não é parte integrante da estrutura da parede, nem componente de contraventamento, e que os materiais de revestimento empregados são de fácil reposição pelo usuário. Desde que não haja comprometimento à segurança e à estanqueidade, podem ser adotados, somente para os impactos no revestimento interno, os critérios previstos na ABNT NBR 11681, considerando $E = 60 \text{ J}$, para não ocorrência de falhas, e $E = 120 \text{ J}$, para não ocorrência de rupturas localizadas. No caso de impacto entre montantes, ou seja, entre componentes da estrutura, o componente de vedação deve ser considerado sem função estrutural.

Tabela 1.2. Exigências da NBR 15.575 para impactos de corpo duro para vedações verticais externas. Tabela 7 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Crítérios de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
		20	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado-limite último)
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
		10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado-limite último)

As vedações externas da edificação devem resistir também à ação de cargas devido a peças suspensas sem apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos ou deslocamentos horizontais residuais, lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação ou seu esmagamento. A Tabela 1.3 resume os requisitos da norma e os níveis de desempenho que devem ser obtidos.

Tabela 1.3. Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão. Tabela 2 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Carga de ensaio aplicada em cada ponto kN	Carga de ensaio aplicada em cada peça, considerando dois pontos kN	Crítérios de desempenho
0,4	0,8	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2\ 500$
Legenda		
h altura do elemento parede		
d_h o deslocamento horizontal instantâneo		
d_{hr} o deslocamento horizontal residual		

1.2.2 - Desempenho acústico

Com o crescimento das cidades a poluição sonora tornou-se um grave problema. Além de causar danos à saúde, níveis de ruídos acima do recomendável pela Organização Mundial da Saúde (OMH) provocam desconcentração e irritabilidade, comprometendo o rendimento do trabalho e o sono.

Assim, as soluções construtivas para fachada são cada vez mais exigidas sob este ponto de vista, sendo necessário determinar seu desempenho acústico. Nesta avaliação deve-se considerar não somente a absorção acústica da vedação em si, mas considerar a influência das esquadrias no todo. Quando existem frestas que permitem que o ar passe, o desempenho acústico também fica comprometido. (ABRAVIDRO, 2013).

A redução da transmissão do som proporcionada por uma barreira sonora é chamada de perda de transmissão sonora. Ela é a diferença em decibéis entre a energia acústica que incide sobre o paramento externo da vedação e a transmitida através dele. Quanto mais eficaz é o isolamento acústico oferecido pelo material, maior é a redução.

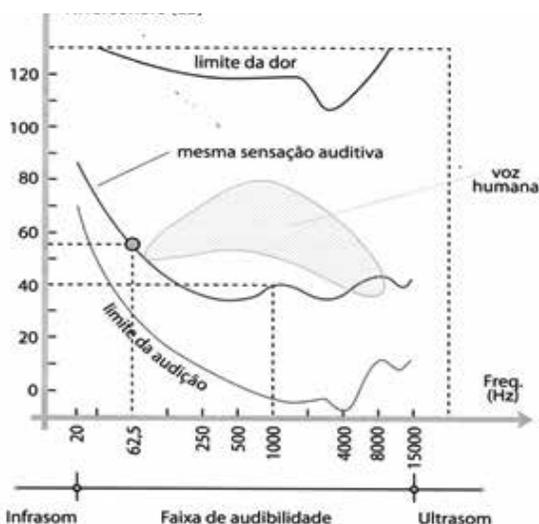


Figura 1.2. Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano. (CBIC, 2013)

As vedações externas devem ser projetadas para atender aos critérios estabelecidos na NBR 15.575 e executados de modo que este desempenho não se altere com o tempo. No caso das soluções de fachada que atuam como revestimento e não como vedação vertical do edifício, a exemplo das fachadas cortinas com placas cerâmicas, granito e ACM, são ainda as paredes externas que têm esta responsabilidade primordial.

Tabela 1.4. Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas, de acordo com a NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w dB ^a	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

NOTA Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).
^a R_w com valores aproximados

Em seu Anexo F, a NBR 15.575:4 apresenta os valores de referência R_w (Tabela 1.4), obtidos em ensaios de laboratório, que as vedações externas para habitações devem atender.

1.2.3 - Desempenho térmico

As soluções de revestimento e vedação devem apresentar valores de transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem desempenho de modo a satisfazer as condições mínimas estabelecidas pela NBR 15.575 para cada zona bioclimática. As vedações podem ser avaliadas primeiramente considerando o procedimento simplificado de análise previsto na norma. Caso os resultados não atendam aos critérios analisados conforme o procedimento simplificado, deve-se aplicar o procedimento de simulação do desempenho térmico ou o procedimento de realização de medições em campo.

Introdução

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas são apresentados na Tabela 1.5. Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas também são prescritos nesta norma e devem atender aos valores da Tabela 1.6. Para o procedimento simplificado as vedações leves costumam não atender aos valores desta tabela e, por isso, a recomendação é proceder à simulação de desempenho térmico ou realização de medições em campo.

Tabela 1.5. Transmitância térmica de paredes externas de acordo com a NBR 15.575. Tabela 13 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Tabela 1.6. Capacidade térmica de paredes externas de acordo com a NBR 15.575. Tabela 14 da NBR 15575. (ABNT, 2013b)

Capacidade térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

1.2.4 - Segurança contra incêndio

As vedações de fachada devem dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio e não gerar fumaça excessiva capaz de impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio.

Os materiais empregados são classificados como I, II A ou III A como mostra a Tabela 1.7, reproduzida da NBR 15.575.

Tabela 1.7. Classificação dos materiais de acordo com o método previsto na NBR 15.575. Tabela 9 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Classe	Método de ensaio		
	ISO 1182	ABNT NBR 9442	ASTM E662
I	Incombustível ΔT ≤ 30 °C; Δm ≤ 50 %; t _f ≤ 10 s	-	-
II	A	Combustível I _p ≤ 25	D _m ≤ 450
	B	Combustível I _p ≤ 25	D _m > 450
III	A	Combustível 25 < I _p ≤ 75	D _m ≤ 450
	B	Combustível 25 < I _p ≤ 75	D _m > 450
IV	A	Combustível 75 < I _p ≤ 150	D _m ≤ 450
	B	Combustível 75 < I _p ≤ 150	D _m > 450
V	A	Combustível 150 < I _p ≤ 400	D _m ≤ 450
	B	Combustível 150 < I _p ≤ 400	D _m > 450
VI	Combustível	I _p > 400	-

Legenda:
I_p – Índice de propagação superficial de chama.
D_m – Densidade específica óptica máxima de fumaça.
Δm – Variação da massa do corpo de prova.
t_f – Tempo de flamejamento do corpo de prova.
ΔT – Variação da temperatura no interior do forno.

Os sistemas ou elementos das fachadas devem atender ainda a NBR 14.432. Esta norma define os TRRF - Tempo Requerido de Resistência ao Fogo dos elementos das vedações considerando inclusive a altura e tipo de edificação. Estes valores também são considerados nas Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros de várias cidades, conforme reproduzido a seguir. (PMSP, 2011)

Tabela 1.8 - Tempo Requerido de Resistência ao Fogo, de acordo com o tipo de ocupação e características da edificação. Reprodução da NBR 14.432. (ABNT, 2000)

Grupo	Ocupação/Use	Divisão	Profundidade do Subsolo hs		Altura da edificação h					
			Classe S ₂ hs >10m	Classe S ₁ hs ≤ 10m	Classe P ₁ h ≤ 6m	Classe P ₂ 6m < h ≤ 12m	Classe P ₃ 12m < h ≤ 23m	Classe P ₄ 23m < h ≤ 30m	Classe P ₅ 30m < h ≤ 80m	h > 80m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	CT
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	CT
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	CT
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	CT
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	CT
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	CT
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	CT
		F-3, F-4 e F-7	90	60	ver item A2.3.4.		30	60	CT	CT
		F-9	CT							
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	CT
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	CT
		H-2, H-3 e H5	90	60	30	60	60	90	120	CT
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	CT
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	CT
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	CT
J	Depósitos	J-1	60	30	ver item A2.3.5.		30	30	60	CT
		J-2	90	60	30	30	30	30	60	CT
		J-3	90	60	30	60	60	120	120	CT
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	CT
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	CT	CT			
M	Especial	M-1	150	150	150	CT				
		M-2	CT							
		M-3	120	90	90	90	120	CT		

NOTAS:

1. CT = Utilizar Comissão Técnica junto ao Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo
2. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 5.10)

Além de atender aos TRRF, as soluções de fachada devem ter elementos que dificultem a propagação vertical do incêndio pelo exterior dos edifícios.

Devem ser previstos o uso de selos corta-fogo e demais elementos construtivos corta-fogo/pára-chama de separação vertical entre pavimentos consecutivos.

Estes elementos devem promover a separação da vedação da fachada onde existir aberturas entre pavimentos consecutivos, podendo se constituir de vigas e/ou parapeito ou prolongamento dos entrepisos, além do alinhamento da fachada.

As fachadas com painéis pré-moldados devem ter seus elementos de fixação devida-

mente protegidos contra a ação do incêndio e as frestas com as vigas e/ou lajes devidamente seladas, de forma a garantir a resistência ao fogo do conjunto.

Para as fachadas-cortinas envidraçadas a IT nº09/2004 do Corpo de Bombeiros (PMSP, 2004) exige que sejam instalados parapeitos, vigas ou prolongamentos dos entrepisos.

A instrução explica que as frestas ou aberturas entre a "fachada-cortina" e os elementos de separação devem ser vedados com selos corta-fogo em todo perímetro; tais selos devem ser fixados aos elementos de separação de modo que sejam estruturalmente independentes dos caixilhos da fachada (Figura 1.3).

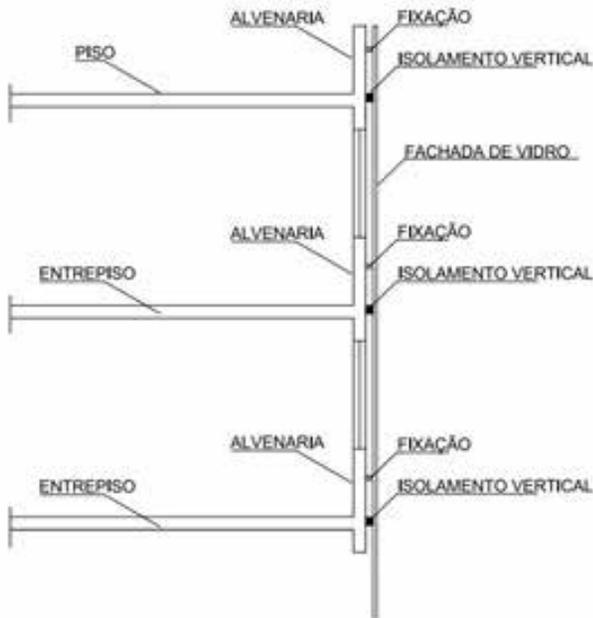


Figura 1.3- Compartimentação vertical exigida para fachadas cortinas exigidas pelo Corpo de Bombeiros da PMSP. (PMSP, 2004)

1.2.5 - Estanqueidade

Para as condições de exposição indicadas na Tabela 1.9, relacionadas com as regiões de exposição ao vento indicadas na Figura 1.4, os sistemas de fachada, incluindo as interfaces entre janelas e paredes, devem permanecer estanques ao ar e à água. Isso se faz necessário a fim de evitar infiltrações, que propiciariam a formação de borrifamentos, escorrimentos ou gotas de água aderentes na face interna, podendo haver possibilidade de ocorrência de pequenas manchas de umidade, estas com áreas máximas limitadas aos valores indicados na Tabela 1.10.

Tabela 1.9 - Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas. Tabela 11 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L/min/m ²
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Tabela 1.10 - Estanqueidade à água de vedações verticais externas (fachadas) e esquadrias. Tabela 12 da NBR 15.575. (ABNT, 2013b)

Edificação	Tempo de ensaio	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio
	h	
Térrea (somente a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	10
Com mais de um pavimento (somente a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	5
Esquadrias	Devem atender à ABNT NBR 10821-2	

O Anexo F contém recomendações relativas a outros níveis de desempenho.



Figura 1.4. Regiões brasileiras para efeito de avaliações de estanqueidade à água e ao vento no Brasil (CBIC, 2013)

1.2.6 - Durabilidade e corrosão

A durabilidade dos sistemas de fachada depende principalmente da qualidade dos seus principais componentes, como as placas de revestimento e os perfis, chapas e dispositivos metálicos utilizados nas subestruturas e ancoragens.

A durabilidade é determinante para a vida útil do sistema, que, por sua vez, depende também da manutenção prevista. Para que a vida útil de projeto seja atingida é necessário o cum-

primário, por parte dos usuários e administradores do empreendimento, dos programas de manutenção e das condições de uso previstas. Os aspectos fundamentais de uso e manutenção do edifício e de suas partes normalmente são informados no manual de uso, operação e manutenção do edifício, ou em manuais de fabricantes, sendo que a NBR 5674 (ABNT, 2012) serve como referência para definição e realização desses programas de manutenção.

Um aspecto relevante da durabilidade dos sistemas de fachadas são as ancoragens e perfis utilizados e suas respectivas resistências à corrosão. A respeito deste assunto julga-se importante estabelecer alguns conceitos.

A corrosão do aço carbono é um processo vinculado a um ciclo químico natural. Desta forma, cabe ao projetista das vedações com partes metálicas contornar o problema da corrosão para que este não seja um fator crítico à vida útil dos sistemas.

A condição essencial para que haja corrosão é a presença de água e oxigênio em contato com o metal. Uma atmosfera muito úmida, por exemplo, é um grande contribuinte para que a corrosão ocorra.

Na ocorrência da corrosão eletroquímica, a superfície metálica apresenta pequenas regiões com potenciais elétricos diferentes que, em contato com água ou com a umidade do ar, fecha um circuito, de modo que a região com potencial eletroquímico menor sofre corrosão.

A corrosão galvânica ou bimetálica, por sua vez, ocorre quando dois metais, com diferentes potenciais eletroquímicos, estão em contato elétrico e imersos em um fluido condutor de íons (como a água, por exemplo). Dessa forma, aquele com menor potencial eletroquímico sofrerá corrosão. O fluido possui uma grande influência no potencial de corrosão dos metais. A água de chuva possui condutividade elétrica suficiente para estabelecer a reação entre dois metais em contato.

Para evitar a corrosão devem-se tomar as seguintes medidas:

- As cantoneiras devem permitir o fluxo

de ar, para secagem da superfície;

- A estrutura deve possuir furos para drenagem, em locais onde haja acúmulo de água;
- Caso seja possível, criar locais de acesso para realização de manutenção;
- Não se devem deixar cavidades nas ligações soldadas.

É importante ainda observar que sempre existirá algum grau de corrosão entre dois metais em contato. Porém, a relação entre as áreas é extremamente importante para definir se, mesmo havendo potencial de corrosão, podemos colocar os materiais em contato (por exemplo, em ligações parafusadas).

A situação onde a corrosão é mais provável é aquela em que a área exposta a ser corroída é significativamente menor em relação à região que corrói. A fotografia da Figura 1.5 ilustra esta situação.

Outros cuidados que podem ser tomados de modo a minimizar a corrosão são:

- Isolar os metais um do outro com um isolante elétrico (dielétrico), por exemplo;
- Se possível, realizar uma pintura protetora nos dois metais, ou pelo menos sobre o metal mais nobre (de maior potencial de redução, ou menor potencial de corrosão);
- Utilizar um metal de sacrifício na interface;
- O metal que tiver menor tamanho (por exemplo, parafuso) deve ser de um material mais nobre do que o metal mais abundante.



Figura 1.5. Corrosão apresentada por porca e arruela de aço galvanizado em contato com chumbador de aço inox e cantoneira de alumínio. (Acervo Inovatec Consultores)

Introdução

A Figura 1.6 mostra o potencial de corrosão bimetálica para várias combinações de metais classificando-as em: corrosão improvável (cinza escuro), corrosão possível (cinza médio) e corrosão provável (cinza claro).

Metal em contato \ Metal em consideração	Magnésio	Zinco	Liga de alumínio	Aço Carbono	Ferro Fundido	Chumbo	Estanho	Ferro Fundido Austenítico	Latão	Bronze	Ligas de Cobre Níquel	Níquel Alumínio Bronze	Liga de Níquel-Cromo Molibdénio	Titânio	Grafite
Magnésio	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Zinco	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Liga de alumínio	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Aço Carbono	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Ferro Fundido	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Chumbo	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Estanho	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Ferro Fundido Austenítico	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Latão	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Bronze	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Ligas de Cobre Níquel	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Níquel Alumínio Bronze	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Liga de Níquel-Cromo Molibdénio	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Titânio	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável
Grafite	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável

Figura 1.6 – Potencial de corrosão bimetálica em meio aquoso neutro, adaptado de NATIONAL PHYSICAL LABORATORY do Reino Unido. O grau de corrosão se refere ao metal no eixo vertical. Na horizontal tem-se o metal que entra em contato. (NPL, 2000)

O método mais comum para prevenir ou minimizar a corrosão bimetálica é baseado na ideia de interromper o caminho elétrico através dos metais.

Este isolamento pode ser obtido por meio do uso de buchas ou arruelas de borracha como o Neoprene e plásticos como o nylon e o PTFE – politetrafluoretileno, conhecido como *Teflon*™.

Esta solução é eficiente quando se separa os metais e também o possível contato com uma camada de água.

Capítulo 2

Light steel framing (LSF)
para vedação de fachadas

2.1. Contextualização e aplicações

2.1.1 - O sistema de LSF e sua utilização em fachadas

Light Steel Framing (LSF) é o termo internacionalmente utilizado para os sistemas construtivos caracterizados pelo uso de perfis leves de aço zincado formados a frio para compor estruturas esbeltas vedadas com painéis ou chapas industrializadas.

Conhecido inicialmente por sua utilização como estrutura de edificações de pequeno porte, como residências térreas e sobrados, o LSF tem sido cada vez mais usado nas vedações externas de edifícios tanto de aço como concreto. É sobre este último uso que o presente capítulo trata.

As subestruturas dos sistemas em LSF com painéis industrializados (assim chamadas para diferenciá-las da estrutura principal do edifício) são compostas de perfis unidos entre si por parafusos ou rebites, e ancoradas à estrutura principal para transmitir carregamento externo proveniente do vento, esforços acidentais, revestimentos e peso próprio.

Nas vedações de fachadas que utilizam o LSF não há transferência de esforço vertical de um pavimento para outro. As cargas provenientes do peso próprio e da ação do vento são transferidas aos elementos externos da estrutura principal do edifício como pilares, vigas e lajes.

As ancoragens da subestrutura de perfis leves do LSF são normalmente constituídas de cantoneiras de aço zincado e chumbadores mecânicos.

Neste tipo de vedação de fachada são comumente utilizados painéis industrializados de ambos os lados da vedação, sendo mais comum a utilização de painéis (também chamados chapas ou placas) cimentícios do lado externo e de chapas de gesso acartonado do lado interno, fazendo com que a solução se assemelhe às divisórias do tipo dry wall.



Figura 2.1 – Edifício para hotelaria com estrutura metálica e fachada em LSF e placas cimentícias. (Acervo Inovatec Consultores)



Figura 2.2 – Fachada de edifício residencial em construção com sistema de LSF e placas cimentícias. (Acervo Inovatec Consultores)

Na configuração mais comum, a subestrutura de perfis é posicionada à frente do plano da fachada do edifício fazendo com que os painéis cimentícios passem à frente da estrutura principal, evitando interrupções a cada pavimento. Este tipo de solução é chamado de cortina.

Para atender aos diferentes níveis de desempenho pode-se compor a vedação de fachada em LSF com mais de um painel ou painéis de diferentes espessuras, ou mesmo painéis mais densos e até combinar mais de um painel de cada lado.

Outro recurso importante para adequar o desempenho da vedação são as **lãs minerais e membranas estanques** à água ou barreiras

de vapor. A lã mineral (rocha ou vidro) contribui para o conforto térmico e acústico, enquanto as membranas estanques controlam a passagem da umidade pela vedação. A mais conhecida destas membranas chama-se Tyvek®.

O acabamento externo do sistema normalmente é constituído de uma camada de argamassa especial reforçada com malha de fibra de vidro que tem a função de evitar fissuras nas juntas entre painéis e regularizar a superfície para receber uma camada final de acabamento como mostra a figura 2.3.



Figura 2.3 – Aplicação da camada de proteção chamada de “base coat” e acabamento final na vedação externa utilizando um sistema construtivo em LSF e placas cimentícias. (Acervo Inovatec Consultores)

2.1.2 - Subestrutura de perfis de aço revestidos formados a frio

Os perfis do LSF utilizados na vedação de fachadas são fabricados em aço revestidos com zinco ou liga de alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente. Este tipo de revestimento confere proteção contra corrosão aos perfis e é necessário para atender a vida útil prevista em projeto.

Quanto a esta proteção, a NBR 15.253 (ABNT, 2014) prescreve massas mínimas de revestimento de 275 g/m² de zinco ou de 150 g/m² para revestimento com liga de alumínio-zinco.

Tabela 2.1 – Revestimento mínimo dos perfis de aço formado a frio para LSF de acordo com a NBR 15.253. (ABNT, 2014)

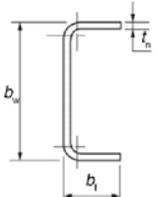
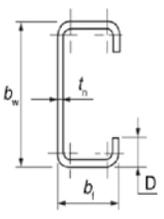
Tipo de revestimento	Perfis estruturais	
	Massa mínima do revestimento ^a g/m ²	Designação do revestimento conforme as seguintes normas
Zincado por imersão a quente	275 (ABNT NBR 7008-1)	Z275 (ABNT NBR 7008-1)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 (ABNT NBR 15578)	AZ150 (ABNT NBR 15578)

^a A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo).

Os perfis que compõem o LSF são tipicamente comercializados nas espessuras nominais (t_n) (segundo a NBR 15253, 2014) de 0,80 mm, 0,95 mm, 1,25 mm e 1,55 mm, sendo possível a utilização até no máximo de 3,0 mm.

Os perfis utilizados são obtidos por perfilagem a partir de bobinas de aço revestido e as seções mais comuns, de acordo com a nomenclatura do Anexo B da NBR 15.253, são o “U” ou “Ue” (enrijecido) para montantes e vigas. O “U” também é utilizado como guia na base e topo das paredes e o “L” para cantoneiras (SANTIAGO, 2008).

Tabela 2.2 - Seções transversais de perfis padrão utilizados no sistema em LSF para vedação de fachadas (Adaptado de ABNT, 2014)

Seção transversal	Designação NBR 6355	Utilização
	U simples	Guia Ripa Bloqueador Sanefa Terça
	U enrijecido	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga Terça Guia enrijecida (sistema com encaixes estampados)

Os perfis devem ser produzidos em aço com qualidade estrutural (ZAR), com resistência ao escoamento mínima de 230 MPa, conforme a NBR 7008-3 ou a NBR 15578, e ainda atender aos requisitos da NBR 14762.

2.1.3 - Tipologia dos sistemas LSF para fachadas

Os sistemas com estruturação em LSF possuem diferentes tipologias quanto à disposição em relação à estrutura principal, principalmente às bordas das lajes. Esta variação cria uma flexibilidade interessante para o projeto de arquitetura.

SANTIAGO (2008) propõe uma classificação de três tipos em relação ao critério acima: **embutida, semicortina ou cortina**.

O sistema com montagem embutida (Figura 2.4) caracteriza-se por seus painéis serem instalados internamente em relação às bordas das lajes do edifício. Assim, as cargas são transmitidas à estrutura imediatamente abaixo de forma linear. Pode-se tomar partido desta opção de maneira a se recuar um pouco os painéis deixando a estrutura aparente, tomando-se os cuidados adequados para se assegurar a estanqueidade nos encontros entre materiais.



Figura 2.4 – Detalhe da vedação com LSF do tipo embutida (entre lajes) ainda sem os painéis de fechamento, mostrando o uso da lâ mineral. (Acervo Inovatec Consultores)

O sistema com montagem semicortina caracteriza-se por posicionar o paramento exterior da vedação à frente da estrutura

principal ou corpo da edificação, enquanto a subestrutura de perfis leves de aço e seu paramento interior (chapa de gesso acartonado) permanecem entre as lajes de piso de dois pavimentos subsequentes.

Neste tipo de montagem podem-se cobrir as faces das lajes externas e vigas, eliminando-se a necessidade de acabamentos da estrutura principal do edifício. Para isso, as guias horizontais que recebem perfis verticais (montantes) são posicionadas desalinhadas em relação ao plano da fachada. Elimina-se assim a necessidade de execução de juntas entre os painéis de fechamento e a estrutura como no exemplo da Figura 2.5



Figura 2.5 – Fachada de edifício com estrutura metálica e vedação externa em LSF e placas cimentícias. Notar que as placas de fechamento externo ficam à frente da estrutura do edifício formando um paramento contínuo (tipo semicortina). (Acervo Inovatec Consultores).

No sistema de montagem do tipo cortina, o LSF fica posicionado totalmente externo à estrutura principal do edifício. Nesta montagem uma das extremidades do perfil vertical deve possuir movimentação vertical livre para absorver dilatação e contração causadas pela variação de temperatura. A outra extremidade com movimentação vertical impedida é ancorada à estrutura principal e pode transmitir os esforços devido ao peso próprio.

Na fachada da Figura 2.6 onde foi utilizado este tipo de solução pode-se observar o elemento horizontal (longarina) da subestrutura criada para apoiar os perfis verticais (montantes) a cada pavimento. Notar a utilização da barreira de vapor entre a divisória interna

e externa para evitar condensação. A barreira de vapor, diferentemente da barreira estanque, evitar a passagem da água tanto na forma líquida quanto gasosa.



Figura 2.6 – Detalhe da vedação em LSF do tipo cortina onde todo o sistema fica externo à estrutura principal do edifício. Acervo Inovatec Consultores)



Figura 2.7 – Detalhe da fachada da Figura 2.6 mostrando uma longarina de apoio para os perfis verticais do LSF tipo cortina. (Acervo Inovatec Consultores)

2.1.4 - Placas cimentícias para sistemas de LSF

No mercado nacional a principal opção disponível para fechamento de vedações externas em LSF de edifícios de múltiplos pavimentos é a placa ou painel cimentício.

As placas cimentícias são fabricadas com cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados. Contudo, há diferen-

ças importantes entre as placas disponíveis no mercado.

As placas cimentícias possuem constituição permeável ao vapor de água e relativa estanqueidade à água no estado líquido.

As diferentes tecnologias de produção interferem diretamente nas propriedades e desempenho das placas. Uma das características que marcam estas diferenças é a capacidade de absorção de água, que varia de fabricante para fabricante.

As placas cimentícias utilizadas em vedações de fachada devem ser protegidas para evitar movimentação higroscópica que venha a provocar fissuras. O tratamento das juntas por si só não elimina a necessidade de proteção das placas contra umidade. Em termos gerais, quanto maior a capacidade de absorção de água da placa, maior o potencial de movimentação e mais eficiente deve ser esta proteção.



Figura 2.8 – Detalhe da placa cimentícia fabricada com agregado leve e malhas de fibra de vidro nas duas faces externas. (Acervo Inovatec Consultores)

A placa cimentícia mostrada na Figura 2.8 possui absorção de 6% enquanto outras placas do mercado apresentam absorção superior a 20%. Para placas de mesma constituição e matéria-prima, maiores teores de umidade tendem a resultar em maior tendência à movimentação higroscópica.

As placas também são diferentes com relação ao tipo de reforço utilizado para resistir à flexão e permitir um manuseio sem ruptura. Há placas que possuem fibras sintéticas dispersas

Light steel framing (LSF) para vedação de fachadas

na matriz cimentícia e outras que possuem malhas de fibra de vidro incorporada à suas superfícies como mostra a Figura 2.8.

As principais características das placas cimentícias para vedações em LSF são:

- elevada resistência a impactos;
- resistência à umidade, podendo ser exposta às intempéries;
- incombustibilidade;
- facilidade de corte;
- possibilidade de compor paredes curvas depois de saturadas;
- baixo peso próprio (até 18 kg/m²) facilitando o transporte e manuseio;
- compatível com a maioria dos acabamentos e revestimentos como pintura, cerâmica e placas de rocha.

A NBR 15.498 - Placa plana cimentícia sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2007) estabelece algumas dessas características. A Tabela 2.3 apresenta um resumo de valores obtidos de acordo com os métodos desta norma e dados declarados por fabricantes nacionais.

Tabela 2.3 – Características de placas cimentícias destinadas ao uso em LSF para vedação de fachadas.

Característica	Valor
Densidade aparente	1,50 g/cm ³
Absorção de água	6 a 25 %
Variação dimensional por imersão e secagem	0,8 a 1,3 mm/m
Módulo E	> 5.000 N/mm ²
Condutividade Térmica (λ)	0,30 a 0,35 W/m.K
Resistência de ruptura na flexão em condição saturada	Classe A3
Resistência de ruptura na flexão em condição de equilíbrio.	Classe B3

As placas utilizadas no LSF são comercializadas com largura fixa de 1,20 m e comprimentos que variam de 2,00 m, 2,40 m e 3,00 m. As espessuras mais utilizadas para vedações externas são 10 e 12 mm. O peso das placas varia entre 16 e 17 Kg/m².

2.1.5 - Onde e porquê usar LSF em fachadas

As soluções de vedação de fachada em LSF podem ser utilizadas em praticamente todo tipo de edificação, incluindo edifícios comerciais, residenciais e industriais.

Devido a sua rapidez de execução e racionalização do uso dos materiais o LSF deve ganhar cada vez mais espaço no mercado nacional de construção civil. É possível reduzir o cronograma final de algumas obras, impactando diretamente em seu custo fixo como tem ocorrido em diversas obras executadas no Brasil.

Vale ressaltar que o uso do LSF como vedação externa permite o acabamento final com materiais tradicionais como pintura, argamassas decorativas de diversos tipos e cerâmica.

2.1.6 - Características do LSF para fachadas

Os principais benefícios do LSF para fachada residem justamente nos aspectos executivos apresentados a seguir:

a) Benefícios quanto à racionalização da obra:

- Rapidez de construção aumentando as operações de montagem a seco no canteiro de obras;
- Possibilidade de aquisição completa do sistema de componentes e acessórios, incluindo projeto e mão de obra de instalação;
- A montagem a seco permite maior precisão dimensional, devido tanto ao uso de componentes industrializados e montagem racional quanto por sofrer menor interferência da mão de obra;

- Redução de cargas quando comparada a outros tipos de vedações;

- Possibilidade de controle de qualidade efetivo da execução proporcionado pela separação dos serviços (montagem da estrutura, vedação com painéis e acabamento final);

- Disponibilidade dos componentes do sistema no mercado nacional;

- Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos componentes;

- Flexibilidade para projetar geometrias e dimensões variadas, praticamente sem restrições; e

- Facilidade de passagem de instalações elétricas e hidráulicas.

b) Benefícios quanto ao desempenho:

- Possibilidade de atendimento a diferentes níveis de desempenho global de modo objetivo (há resultados de ensaios de várias configurações e pode-se determinar mais precisamente estes níveis);

- Os componentes do sistema são industrializados e padronizados segundo normas técnicas nacionais e internacionais;

- Durabilidade dos perfis conformados a partir de chapas galvanizadas por imersão a quente;

- Tanto o aço como as placas cimentícias são materiais incombustíveis.

Por outro lado, o LSF requer projeto executivo bem detalhado e mão de obra treinada para obtenção do potencial de racionalização e desempenho.

É importante prever no projeto o posicionamento de juntas de dilatação para grandes vãos e alturas.

A racionalização e rapidez de montagem do LSF com placa cimentícia apresentam melhores resultados quando a estrutura principal do edifício é em aço, devido à associação dos processos e montagem a seco comuns a ambos.

A Tabela 2.4 resume algumas razões para utilização do sistema com estruturas em aço.

Tabela 2.4. Razões para utilização do LSF como vedação de estruturas em aço.

SISTEMA LSF PARA VEDAÇÃO EXTERNA EM ESTRUTURAS METÁLICAS EM AÇO
O uso de componentes industrializados e montagem racional permite a redução no prazo de entrega da obra tornando a solução mais compatível com as estruturas em aço que também apresentam estas propriedades potenciais.
Há redução considerável de cargas quando comparada a outros tipos de vedações. O LSF pesa menos de 1/3 do peso da alvenaria de blocos cerâmicos e menos de ¼ da alvenaria de bloco de concreto.
Possibilidade de controle de qualidade efetivo da execução proporcionado pela separação dos serviços (montagem da estrutura, vedação com painéis e acabamento final)
Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à simplicidade da cadeia produtiva.

Para prevenir fissuras os encontros entre placas cimentícias devem ser tratados com telas especiais, em geral de fibra de vidro, aplicadas com argamassa especial para suportar as tensões impostas pela dilatação e contração térmica e higroscópica, ambas de caráter cíclico.

A fim de proteger as placas contra umidade e a movimentação higroscópica e garantir a planicidade da fachada, deve ser prevista a aplicação de uma camada de argamassa de regularização externa (conhecida em inglês como *base coat*) antes da aplicação de revestimentos finais.

2.1.7 - Relação custo-benefício

Desde que se explore bem seu potencial de racionalização, a vedação de fachada em LSF pode ser bastante competitiva com relação ao custo, mesmo quando comparada com sistemas convencionais em alvenaria.

Light steel framing (LSF) para vedação de fachadas

Na comparação entre os sistemas apresentados na tabela do Anexo A, são utilizados os fatores listados abaixo, para os quais se faz aqui uma análise mais aprofundada voltada às vedações de fachada em Light Steel Framing.

- Impacto na logística da obra: a solução em LSF, enquanto sistema construtivo, resolve ao mesmo tempo a vedação exterior e seu revestimento, reduzindo o número de atividades na obra. Os componentes são leves, de fácil manuseio e transporte;

- Necessidade de equipamento: a montagem do LSF é realizada manualmente e não implica em grandes investimentos neste item, seja para o transporte no canteiro, seja para a montagem. Para agilizar a sequência de acabamento externo torna-se conveniente o uso de equipamentos de movimentação vertical que permitam maior agilidade nas subidas e descidas necessárias à execução;

- Nível de pré-montagem: o LSF apresenta limitação relativa, pelo fato da montagem do reticulado de perfis e a fixação das placas serem executadas no local. Por outro lado, isso confere maior flexibilidade arquitetônica, sendo possível a criação de formas mais complexas;

- Velocidade de montagem: relativamente superior às vedações convencionais em alvenaria, mas menor que os outros sistemas pré-montados. O uso de equipamentos que permitem maior agilidade na movimentação vertical é significativo para tirar proveito da potencial velocidade de montagem do sistema, que pode ser de 4 a 5 vezes maior que a velocidade de execução de uma alvenaria convencional;

- Viabilidade de ajustes durante a montagem: o baixo nível de pré-montagem deste sistema de vedação e a disponibilidade de acessórios facilita a execução de ajustes em obra, embora possam induzir a improvisos. A placa cimentícia é de fácil manuseio e permite compor medidas fracionadas com facilidade, uma propriedade da alvenaria, mas difícil de ser resolvida nos sistemas com alto nível de pré-montagem;

- Terminalidade: as placas cimentícias precisam necessariamente de proteção e acabamento em áreas externas, por este motivo devem ser revestidas;

- Necessidade de acabamento final: o sistema foi concebido para ser revestido e conta com essa proteção para o atendimento a alguns requisitos de desempenho. É possível utilizar diferentes tipos de acabamento como pintura, argamassa decorativa ou revestimento cerâmico, conferindo maior liberdade arquitetônica;

- Incremento de desempenho acústico: pode-se variar tipo e densidade do material de preenchimento interno, bem como o tipo, número e espessura das placas externas e internas para se atingir o nível de desempenho desejado;

- Incremento de desempenho térmico: análogo ao item anterior;

- Incremento de segurança contra incêndio: análogo ao item anterior considerando que o painel interno de gesso acartonado e o uso de lã mineral contribuem diretamente para determinar o TRRF do sistema;

- Incremento em durabilidade: tem-se como principais fatores contribuintes para a durabilidade do sistema o revestimento dos perfis e acessórios, a qualidade dos painéis e a proteção externa composta de argamassa especial e reforços com telas de fibra de vidro;

- Manutenibilidade: o principal procedimento de manutenção é relativo ao revestimento externo do sistema, responsável pela proteção das placas e dos perfis de aço;

- Cadeia Produtiva: a demanda por este sistema de vedação tem crescido e com o maior uso do sistema há a necessidade de aumentar o número de fornecedores para o pleno atendimento e garantia do fornecimento;

- Contrato e responsabilidade técnica: quando vendido como um sistema de produto, devem constar da solução em LSF e placa cimentícia, todos os componentes da vedação e sua instalação. Entretanto, nem sempre isso ocorre e parte da responsabilidade de forneci-

mento de materiais pode ficar por conta do cliente. A não exigência de um projeto executivo e a montagem realizada por terceiros pode dificultar o funcionamento da solução com um sistema de fato;

- Estimativa de preço (R\$/m²): a faixa de preço fornecida engloba as configurações mais básicas do sistema para atender o nível mínimo previsto pela NBR 15.575 para vedações verticais de edifícios residenciais.

2.2 - Desempenho do LSF para fachadas

2.2.1 - Desempenho estrutural

O LSF como subestrutura de sistemas de vedação para fachadas não tem função estrutural, mas deve ser capaz de resistir às ações externas de cargas horizontais de vento ou abalos sísmicos, bem como aos efeitos da dilatação térmica dos perfis que o compõem.

O sistema deve atender aos requisitos definidos na NBR 15.575 que prevê as resistências a impactos (lados interno e externo) de corpo mole e duro e cargas suspensas.

2.2.2 - Desempenho acústico

O LSF deve atender aos critérios estabelecidos na NBR 15.575 e ser projetado e executado de modo que este desempenho não se altere com o tempo.

As soluções construtivas precisam contar com bandas acústicas e fitas de espumas especiais, de modo a compensar irregularidades das superfícies que terão contato com os perfis estruturais e absorver ruídos e vibrações, evitando a formação de pontes acústicas, e, portanto, a entrada de ruídos.

Para atingir os níveis de desempenho exigidos pela norma, recorrentemente faz-se necessária a utilização de material isolante como lã mineral ou mesmo o uso de mais de uma placa de gesso, OSB ou cimentícia, como exposto na Figura 2.4.

A título de exemplo, a Tabela 2.5 mostra a influência da lã de vidro, paredes simples e duplas de LSF e painéis internos de gesso acartonado no Índice de Redução – R_w determinado em laboratório.

Tabela 2.5. Seção transversal de uma vedação externa em LSF e valores esperados para índice de redução sonora R_w . (FREITAS, CRASTO, 2006)

	Parede Simples	Parede Dupla	Parede Simples	Parede Dupla	Parede Simples	Parede Dupla
Espessura da lã de vidro (mm)	50	50	75	75	100	100
R_w (dB)	43	50	47	55	52	58

A Tabela 1.4 (vide item 2.2 do Capítulo 1) apresenta os valores de referência R_w , obtidos em ensaios de laboratório, para orientação a fabricantes e projetistas.

2.2.3 - Desempenho térmico

As soluções em LSF devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem desempenho térmico que satisfaça condições mínimas, conforme estabelecido para cada zona bioclimática pela NBR 15.575.

Os sistemas de LSF para fachada apresentam desempenhos térmicos diversos em função do sistema utilizado. Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas são apresentados na Tabela 1.5 (vide 2.3 do Capítulo 1).

2.2.4 - Segurança contra incêndio

O sistema de vedação em LSF deve dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio e não gerar fumaça excessiva que possa impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio.

Os materiais empregados no interior das paredes devem ser classificados como I, II A ou III A. Estas classificações constam da NBR 15.575 e são mostradas no Capítulo 1 (item 2.4).

Os sistemas ou elementos da vedação em LSF devem atender ainda a NBR 14.432, que define o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) das vedações considerando a altura da edificação habitacional.

As chapas cimentícias que compõe os sistemas em LSF são incombustíveis (Classe 1). Já os TRRF do sistema podem variar de 30 a 120 minutos, dependendo da sua configuração.

2.2.5 - Estanqueidade

Para as condições de exposição indicadas na norma de desempenho, e conforme as regiões de exposição ao vento indicadas, os sistemas de vedação em LSF, incluindo as interfaces entre esquadrias e paredes, devem permanecer estanques. Isso se faz necessário a fim de evitar infiltrações, que propiciariam a formação de gotas de água aderentes na face interna e eventualmente escorrimentos

2.2.6 - Durabilidade do LSF

A durabilidade dos componentes dos sistemas em LSF depende intrinsecamente da qualidade dos seus componentes, sendo os principais as placas cimentícias e os perfis de aço revestido.

A durabilidade é determinante para a vida útil do sistema que, por sua vez, depende também da manutenção prevista.

Um aspecto relevante da durabilidade dos perfis utilizados no LSF é sua resistência à corrosão.

A durabilidade e a resistência à corrosão já foram abordadas no item 2.6 do Capítulo 1.

2.3 - Projeto de vedações de fachada com LSF

O detalhamento do projeto para a execução de vedações é parte crítica para que se alcance o resultado final esperado. O projeto deve trazer a descrição objetiva das interações entre os diferentes componentes do sistema

bem como a definição dos métodos executivos.

Os desenhos devem mostrar em planta e corte a posição dos perfis e painéis para assegurar a correta instalação dos trechos de paredes.

Deverão ser especificados todos os componentes dos sistemas de acordo com a vida útil esperada para a obra em questão.

2.3.1 Configurações das vedações com LSF e placa cimentícia

A Figura 2.9 ilustra o detalhamento de projeto para uma fachada em LSF com montagem semicortina onde o painel da vedação é posicionado do lado externo da estrutura principal do edifício enquanto o painel de gesso acartonado fica do lado interno.

Para a fixação dos perfis são utilizadas guias, buchas de nylon e parafusos zincados do tipo aço-concreto.

Para a fixação dos perfis e dos painéis aos perfis são especificados parafusos autobrochantes de diferentes comprimentos em função das necessidades.

Ainda neste detalhe observa-se a posição de instalação das fitas de isolamento acústico utilizadas nas interfaces entre perfis e concreto e a camada de argamassa de proteção chamada de *base coat*.

A linha tracejada representa a barreira estanque que fica posicionada por trás da placa cimentícia para evitar a passagem de água.

Notar que o painel de gesso acartonado interno não encosta na laje deixando-se espaço suficiente para acomodar as deformações da estrutura.

Neste projeto foram usadas guias e montantes de 120 mm de altura e chapas cimentícias e de gesso de 12,5 mm de espessura.

O uso da cantoneira de apoio do trecho da guia em balanço só se faz necessário se a distância for maior que 3 cm. Ocorrendo desalinhamento na fachada que obrigue a guia a ficar em balanço maior, a cantoneira deve ser utilizada na guia da laje que suporta o peso próprio da vedação do pavimento.

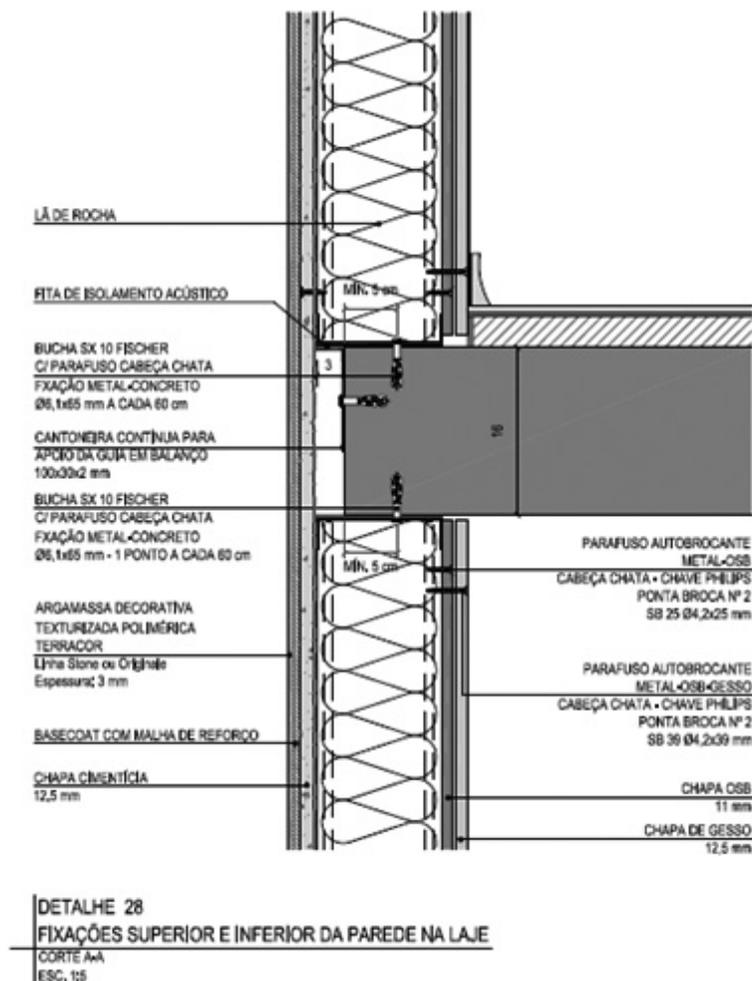


Figura 2.9 – Corte transversal mostrando vedação externa em LSF do tipo semicortina com indicação de vários elementos e acessórios utilizados em um projeto específico. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Nota: as eventuais denominações comerciais e citações de fabricantes são de caráter meramente ilustrativo.

2.3.2 - Modulação de perfis e painéis

A Figura 2.10 mostra um trecho de planta baixa com o posicionamento de montantes e placas cimentícias.

Este projeto residencial traz o LSF como solução da vedação externa e as divisórias internas são de gesso acartonado.

As setas perpendiculares às paredes mostram as posição dos painéis que seguem ordenados de modo a otimizar cortes, melhorando o aproveitamento e facilitando a montagem.

As linhas tracejadas identificam as aberturas que também são cotadas. Notar que a modulação dos painéis deve ser realizada de

modo a evitar que ocorram juntas verticais alinhadas (aprumadas) nos cantos das aberturas.

A Figura 2.11 mostra as configurações recomendadas para se evitar fissuras.

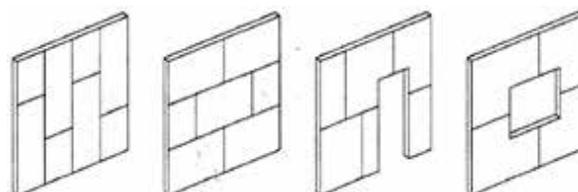


Figura 2.11 – Diferentes posicionamentos dos painéis do LSF mostrando o desalinhamento entre juntas verticais, horizontais e cantos de abertura (SANTIAGO, 2008)

Light steel framing (LSF) para vedação de fachadas

A união entre duas placas adjacentes deve efetuar-se sobre a mesa de um montante, onde cada placa compartilha metade dessa mesa. Os parafusos devem estar defasados entre uma placa e outra de modo que não perfurem a mesa do perfil em dois pontos da mesma altura. A fixação deve ser feita a cada 150 mm no máximo em todo o perímetro da placa e a cada 300 mm nos montantes intermediários.

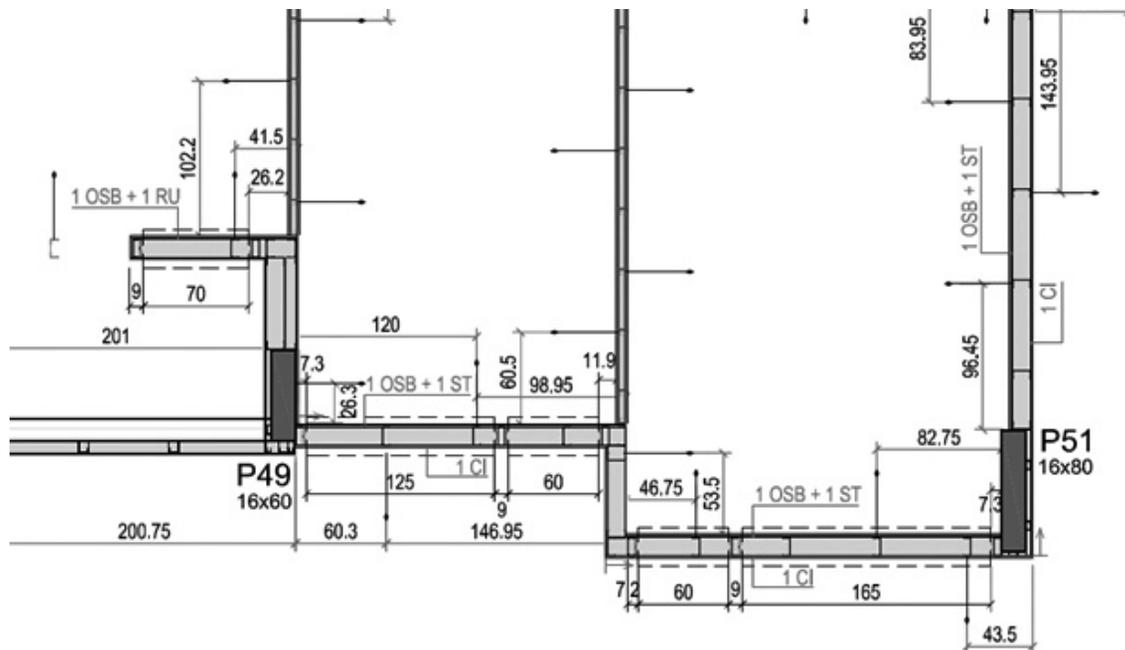


Figura 2.10 – Trecho da planta de modulação de fachada em LSF. As setas perpendiculares marcam a posição das placas cimentícias. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

O espaçamento utilizado para os montantes da vedação externa foi de 600 mm, suficiente neste caso para atender aos esforços laterais do vento e demais requisitos da NBR 15.575 - Parte 1.

Os painéis externos também recobrem os pilares da periferia permitindo que toda a fachada seja recoberta de maneira uniforme. Para isso são utilizados acessórios próprios de modo a vencer os desalinhamentos e permitir a ancoragem adequada como mostra a Figura 2.13.

2.3.3 - Detalhamento construtivo

Uma série de detalhes devem ser observados para orientar a montagem correta do sistema de vedação em LSF. Ao contrário do que às vezes possa parecer, quanto mais in-

dustrializado o sistema, mais importante torna-se o projeto no sentido de aproveitar melhor seu potencial e evitar improvisos. Improvisar torna-se mais oneroso à medida que se perde produtividade e se desperdiça material.

A eficiência da montagem e por consequência da produtividade e viabilidade do sistema depende da clareza dos detalhes do projeto. Na vedação em LSF há pontos críticos que precisam ficar bem definidos como os mostrados nas Figuras 2.12 e 2.13.

Na Figura 2.12 apresenta-se um detalhe de canto com os acessórios necessários para reforçar o encontro entre dois painéis cimentícios.

Na Figura 2.13 mostra-se o detalhe da fixação e ancoragem da vedação para envolver um pilar da fachada.

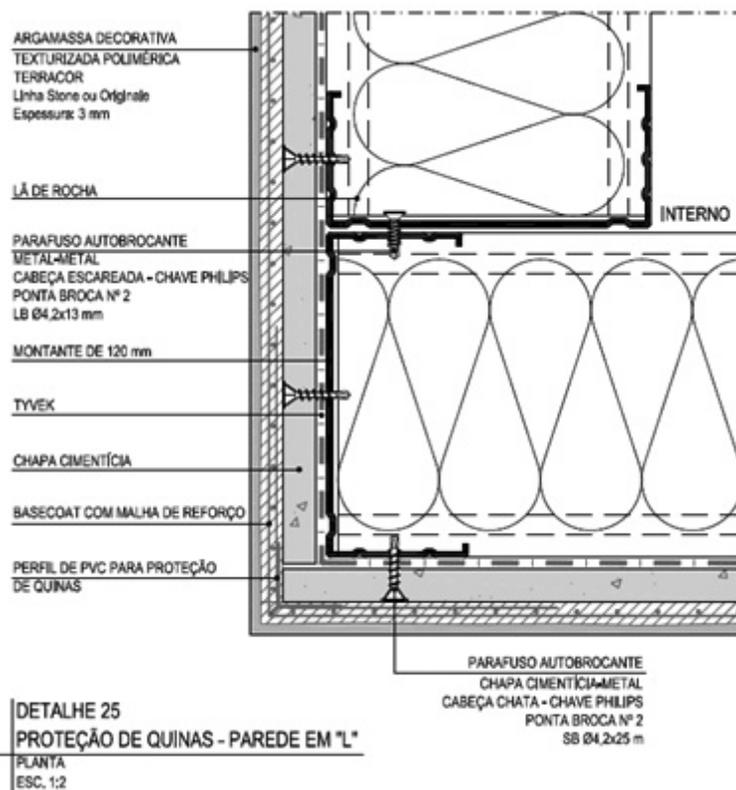


Figura 2.12 – Detalhe em planta mostrando os componentes e acessórios utilizados no canto externo da fachada em LSF. Notar o cuidado com proteção e reforço no encontro entre as placas cimentícias e a fixação dos montantes verticais. (Acervo INOVA-TEC CONSULTORES)

Nota: as eventuais denominações comerciais e citações de fabricantes são de caráter meramente ilustrativo.

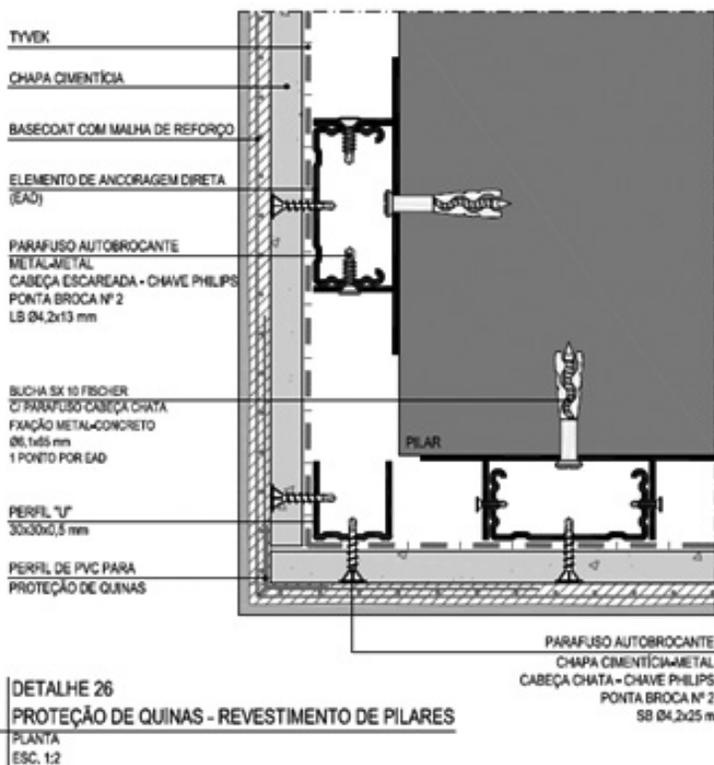


Figura 2.13 – Trecho da planta de modulação de fachada em LSF. As setas perpendiculares marcam a posição das placas cimentícias. (Acervo Inovatec Consultores)

Nota: as eventuais denominações comerciais e citações de fabricantes são de caráter meramente ilustrativo.

Light steel framing (LSF) para vedação de fachadas

Na Figura 2.14 tem-se uma elevação típica da vedação em LSF mostrando o posicionamento de montantes e principais componentes do sistema, incluindo a banda acústica (fita de isolamento) utilizada entre as faces das guias e montantes na interface com a estrutura principal do edifício.

Para a fixação das placas cimentícias são utilizados parafusos autobrocantes com cabeça chata do tipo chapa-metal. A fixação deve ser feita tanto nos montantes quanto nas guias com espaçamento máximo de 300 mm e dispostos a 15 mm das bordas das placas.

Nos cantos das placas cimentícias, os parafusos devem ficar afastados de 50 a 100 mm das bordas nas duas direções.

Após a fixação, todas as cabeças dos parafusos devem ser tratadas com massa cimentícia própria que faz parte do sistema.

Para vãos de abertura até 1,20 m, as vergas podem ser compostas simplesmente por perfis guias e fixadas aos montantes laterais que devem estar presentes sempre dos dois lados das aberturas. Para vãos maiores pode-

-se utilizar outras configurações de perfis em função dos esforços e dimensões envolvidas. A Figura 2.15 recomenda a disposição de guias e montantes para compor vãos de vergas em aberturas de janelas ou portas. Podem ser utilizados perfis U dobrados, cantoneiras de conexão ou chapas.

A Figura 2.16 mostra um detalhe do encontro entre divisória externa de LSF com placa cimentícia e interna com painel de gesso acartonado na posição de um pilar metálico. Notar que o painel de gesso interno da vedação externa não deve ser interrompido no encontro das duas divisórias.

A Figura 2.17 mostra o detalhe do encontro entre esquadria e LSF com placa cimentícia. Neste tipo de janela não há contramarco e a instalação fica facilitada pela precisão dimensional do vão e pela fixação por meio de parafusos autobrocantes nos perfis dobrados da própria vedação. No detalhe da Figura 2.18 foi utilizado um peitoril de granito que permite melhor acabamento e vedação.

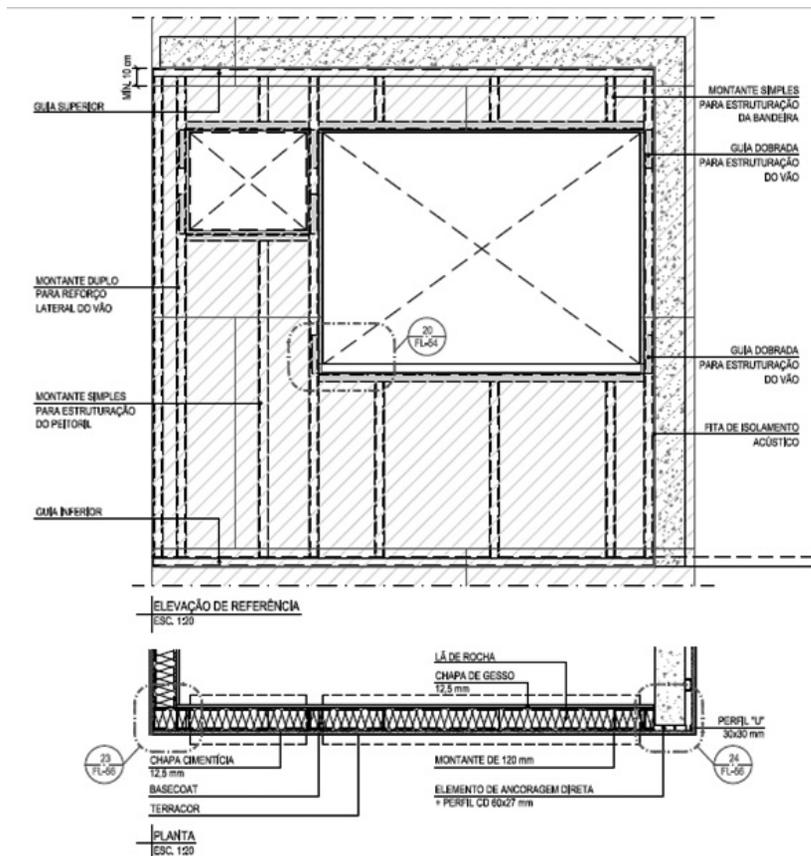


Figura 2.14 – Elevação e planta típica de um trecho do LSF de fachada mostrando a posição dos perfis no caso de aberturas para janelas. A linha no contorno indica a banda acústica necessária em todas as situações para se evitar a transmissão de ruídos aéreos. (Acervo Inovatec Consultores)
Nota: as eventuais denominações comerciais e citações de fabricantes são de caráter meramente ilustrativo.

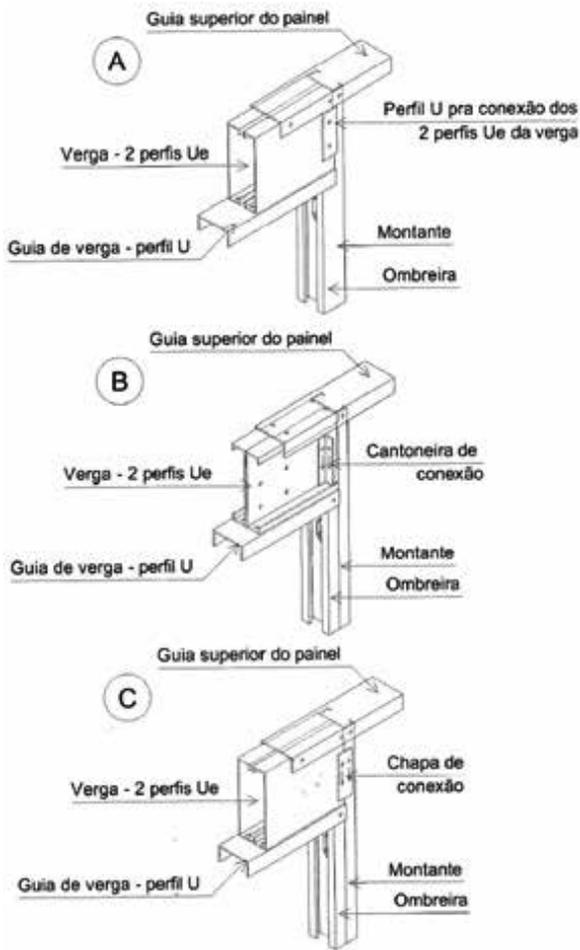


Figura 2.15 – Diferentes configurações para vencer vãos de verga. (Reproduzido de SANTIAGO *et al.*, 2012)

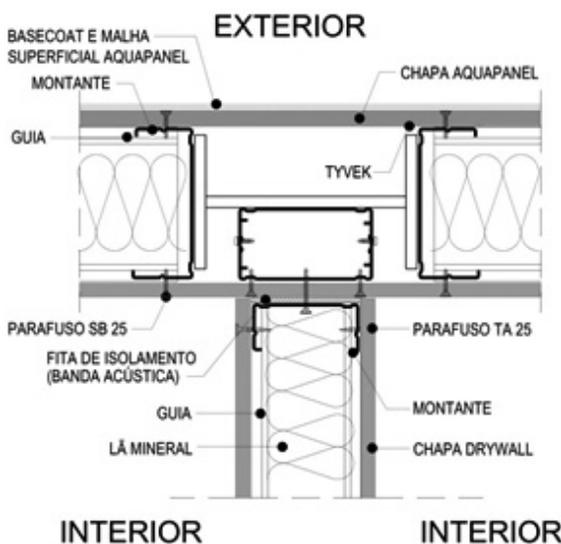


Figura 2.16 – Detalhe em planta do encontro da vedação externa em LSF e interna em dry wall com um pilar metálico da estrutura principal do edifício. (KNAUF, 2009)

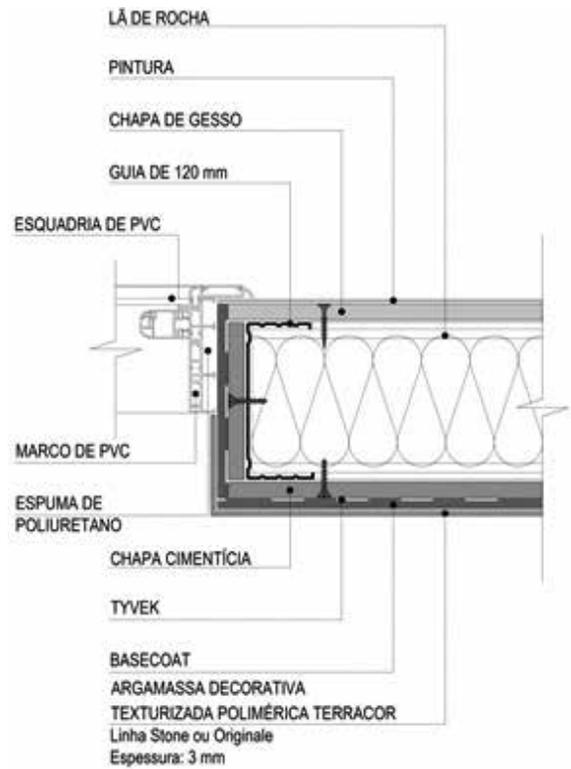


Figura 2.17 – Detalhe do encontro entre esquadria e LSF com placa cimentícia. (Acervo Inovatec Consultores)

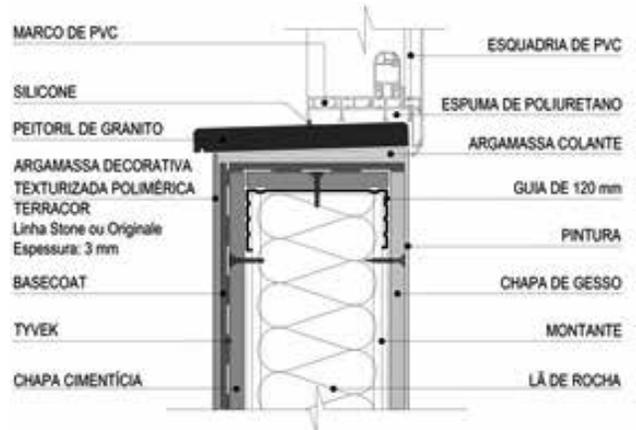


Figura 2.18 – Detalhe do encontro entre esquadria e LSF com placa cimentícia na posição do peitoril. (Acervo Inovatec Consultores)

Capítulo 3

Painéis metálicos isolantes
(PMI) para vedação
de fachadas

Painéis metálicos isolantes (PMI) para vedação de fachadas

3.1. Contextualização e aplicações

Os painéis metálicos isolantes, (*Insulated Metal Panels*) são alternativas construtivas para vedações verticais e coberturas, compostos por um núcleo isolante principal e revestidos por chapas metálicas. As chapas são tipicamente constituídas de aço revestido e representam cerca de 80% da massa do produto final (MCA–2013b).

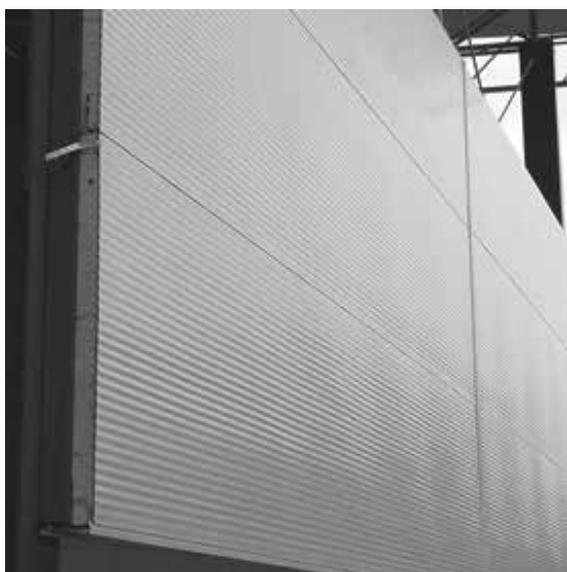


Figura 3.1 – Painéis metálicos isolantes instalados, sem acabamento lateral. (DÂNICA, 2013b)

Estes painéis trazem benefícios em várias etapas da construção, possuem notória facilidade e velocidade de instalação, permitem a obtenção de diferentes níveis de desempenho em função das necessidades de projeto com elevada eficiência térmica e relativo baixo custo.

3.1.1 - Onde e porquê utilizar o sistema de painéis metálicos isolantes

Os sistemas de vedação com PMI promovem excelente isolamento térmico.



Figura 3.2 – Sistemas de vedação externa em painéis metálicos isolantes – Acabamento curvo feito por segmentos de painéis planos (DÂNICA, 2013b)

Por se tratar de um produto pré-fabricado com juntas de encaixe simplificado, todo o processo de montagem é facilitado, eliminando o desperdício de materiais e reduzindo o tempo de execução da obra. O revestimento metálico das chapas confere durabilidade e permite várias alternativas de acabamento. As Figuras 3.3 e 3.4 mostram esquemas de soluções de vedação externa com os PMIs.

Apesar de não haverem restrições para seu uso, os PMIs de fachada são mais utilizados em obras comerciais, fachadas industriais de galpões e câmaras frias, fachadas comerciais de shopping centers, hospitais e supermercados. Eles vêm sendo difundidos nas vedações muitas vezes com o intuito de aproveitar o baixo peso dos seus componentes aliada à agilidade da execução.

Pode-se ressaltar ainda, dentro deste uso, uma forma de empreendimento que obteve resultados bastante satisfatórios: a construção de casas modulares em conjuntos habitacionais populares onde o tempo de montagem da estrutura foi de apenas 4 dias (Figura 3.5).

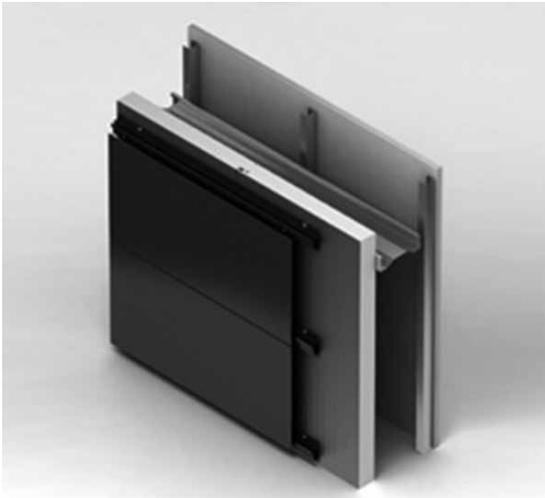


Figura 3.3 – Perspectiva esquemática de uma vedação externa utilizando painéis metálicos isolantes (BENCHMARK KINGSPAN, 2014)

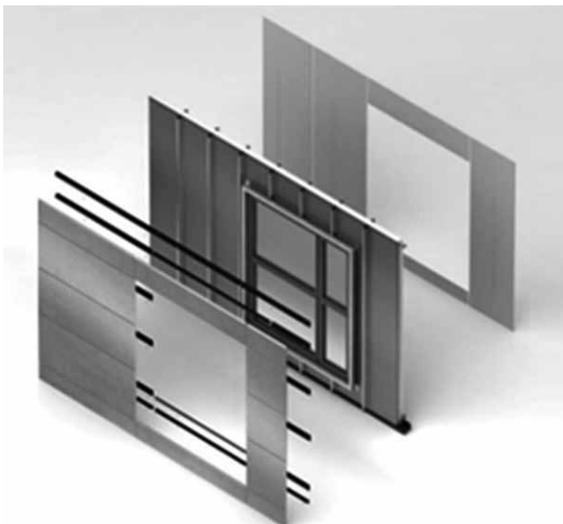


Figura 3.4 – Paramento externo, painel metálico isolante e paramento interno de um sistema de vedação de fachada (BENCHMARK KINGSPAN, 2014)



Figura 3.5 – Casas modulares construídas com painéis metálicos isolantes. (FISCHER, 2013).

Devido à sua ágil montagem, bem como à possibilidade de desmontagem, os painéis metálicos isolantes são uma boa alternativa também para construções de caráter temporário. Este emprego usualmente é identificado no projeto e execução de módulos operacionais provisórios em grandes eventos como mostra a Figura 3.6. (FARIA & MARTINS, 2013).



Figura 3.6 – Módulo operacional provisório instalado no aeroporto de Goiânia com fechamento em painéis metálicos isolantes. (FARIA & MARTINS, 2013).

As características mencionadas, em particular a alternativa de desmontagem e reposicionamento, fazem dos painéis metálicos isolantes uma boa alternativa também para empreendimentos que lidam com a expectativa de ampliações.

3.1.2 - Características do sistema de painéis metálicos isolantes

A tecnologia de vedações externas em painéis metálicos isolantes pode ser subdividida em duas tipologias: painéis com função estrutural e painéis sem função estrutural. Neste manual são tratadas as vedações para estruturas em aço.

No sistema de vedação externa em PMIs, os painéis são encaixados entre si mediante um sistema macho e fêmea (Figura 3.7), não exigindo assim uma mão de obra especializada em sua montagem. Isto permite ainda manter as propriedades dos painéis por toda a vedação sem discontinuidades.

Painéis metálicos isolantes (PMI) para vedação de fachadas

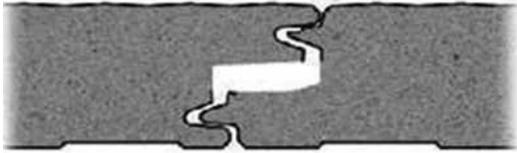


Figura 3.7 – Detalhe de encaixe de topo entre dois painéis adjacentes. (DÂNICA, 2013a).

Quando comparados à alvenaria ou concreto pré-moldado, os painéis são mais leves, facilitando seu transporte e manuseio, otimizando assim todo o processo de instalação.

O método de encaixe e a praticidade no manuseio conferem alta produtividade ao sistema, podendo-se executar mais de 400 m² por dia para um projeto industrial, considerando uma equipe de quatro homens numa jornada de oito horas de trabalho. (MCA, 2010).

O sistema de vedação em PMI atua de maneira isolante, inibindo a troca de calor na existência de gradientes térmicos entre o ambiente interno e o meio externo. Tal propriedade viabiliza a manutenção das condições de projeto no interior das edificações com menor intervenção energética, seja ela pela redução no uso de refrigeradores, em regiões quentes ou em câmaras frias, ou de aquecedores, em áreas sujeitas a temperaturas reduzidas.

Dessa forma, além de auxiliar na obtenção de certificações de sustentabilidade, a eficiência energética promovida por esse sistema pode gerar uma redução significativa na operação do edifício, sendo ainda mais expressivo em análises de custo global de longo prazo.

Outra característica positiva, do ponto de vista da sustentabilidade, é a possibilidade de reutilização dos painéis em expansões, conforme já mencionado, e de reciclagem, principalmente dos componentes metálicos, minimizando a geração de resíduos sólidos ao final de seu ciclo de vida.

O revestimento metálico traz uma gama variada de cores, liberdade na geometria das chapas e dos encaixes e revestimentos de alta performance. Não há impedimento de que um painel seja revestido interna e externamente

por chapas de especificações diferentes.

São sintetizados abaixo os principais pontos fortes na utilização dos painéis metálicos isolantes como sistema de vedação externa:

- redução no prazo de entrega por se tratar de componente industrializado;
- redução de cargas, colaborando nas reduções dos gastos com fundações;
- manuseio e transporte mais fácil (e econômico) na execução do sistema;
- aumento de produtividade devido à praticidade na montagem e simplificação nos encaixes, reduzindo a necessidade de mão de obra;
- canteiro mais limpo e organizado;
- acabamento em chapas metálicas, oferecendo, além de importantes características de desempenho e durabilidade, alternativas de projeto.

É interessante ressaltar ainda que é possível compor o sistema de fachada associando os painéis metálicos isolantes a outras tecnologias de vedações, conforme ilustrado na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Fachada de edifício comercial composta por painéis metálicos isolantes e vidros. (FINESTRA, 2004)

3.1.3 - Relação custo-benefício

Encontra-se no Anexo A deste manual uma tabela que elege fatores impactantes nos custos dos sistemas bem como avalia a magnitude deste impacto.

São brevemente apresentadas a seguir algumas observações importantes para o entendimento dessa tabela:

- Impacto na logística da obra: executar a vedação com painéis metálicos isolantes oferece uma possibilidade de redução no tempo de execução desta etapa, bem como de abreviação da etapa de execução de revestimentos, de modo que a ocupação do canteiro e o impacto no cronograma crítico da obra são reduzidos;

- Necessidade de equipamento: por se tratarem de materiais leves, o manuseio dos painéis demanda o uso de equipamentos de menor porte;

- Nível de pré-montagem: os painéis metálicos isolantes são fornecidos da maneira como serão utilizados na fachada, restando apenas a fixação e a execução das juntas;

- Velocidade de montagem: pelos dois últimos fatores, a produtividade desse sistema é relativamente alta, podendo se manter acima de 400 m²/dia para projetos que não impõe dificuldades geométricas e de acesso para montagem;

- Viabilidade de ajustes durante a montagem: por se tratarem de painéis industrializados modulados de acordo com o projeto inicial, ajustes em obra se fazem um empecilho;

- Terminalidade: os painéis não sofrem alterações, restando apenas a vedação e acabamento das juntas e arremates nas aberturas e extremidades;

- Necessidade de acabamento final: não se faz necessária a execução de revestimentos adicionais mas a pintura pode se degradar com o tempo;

- Incremento de desempenho acústico: o ganho de desempenho acústico para este sistema de vedação se dá modificando-se o núcleo do painel em sua espessura, densidade e/ou no material que o compõe;

- Incremento de desempenho térmico: análogo ao fator anterior;

- Incremento de segurança contra incêndio: análogo ao fator anterior. Vale ressaltar, neste caso, que os materiais mais indicados para atendimento do TTRF dos painéis são as

lãs minerais;

- Incremento em durabilidade: a responsabilidade do desempenho está mais relacionada às chapas metálicas e sua vida útil, notadamente dependente do revestimento utilizados na proteção do aço;

- Manutenibilidade: para que se preservem as características de desempenho são necessários cuidados com as chapas metálicas, como rotinas de limpeza e reparos de danos localizados;

- Cadeia Produtiva: há no mercado vários fabricantes e fornecedores de painéis, bem distribuídos no território nacional;

- Contrato e responsabilidade técnica: o fornecimento dos componentes do sistema costuma ser centralizado. Pode-se citar ainda que alguns fornecedores executam serviços de projeto e montagem, centralizando ainda mais a responsabilidade técnica pela fachada e seu desempenho;

- Estimativa de preço (R\$/m²): a faixa de preço fornecida engloba as diversas configurações do sistema, desde a mais básica (chapas em aço galvanizado com núcleo em PUR com 50 mm de espessura) às mais sofisticadas (núcleos em PIR com espessuras maiores que 120 mm revestidos por chapas metálicas em aço inox).

3.2 - Desempenho do PMI para fachadas

Tipicamente, painéis metálicos isolantes são empregados em construções de uso mais específico, sendo pouco utilizadas em projetos de edificações de múltiplos pavimentos. Os requisitos de desempenho são função da finalidade de uso do empreendimento, podendo estar sujeitos a normas específicas para cada caso.

De modo geral, devem ser adotados como referência os requisitos e critérios de desempenho de vedações externas estabelecidos na NBR 15.575-4 para edificações habitacionais (ABNT, 2013), conforme apresentado no capítulo 1 do presente manual.

3.2.1 - Desempenho mecânico

Painéis metálicos isolantes como sistemas de vedação para fachadas não tem função estrutural, mas devem ser capazes de resistir às ações externas de cargas horizontais de vento, bem como aos efeitos da dilatação térmica das chapas que o compõem.

A NBR 15.575-4 prevê o atendimento as resistências de impactos (de corpo mole e corpo duro).

O lado interno da vedação deve resistir ainda à ação de cargas devido a peças suspensas sem poder apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos ou deslocamentos horizontais residuais, lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento.

Em relação aos vãos livres ou espaçamentos máximos entre guias e montantes, cabe a cada fabricante recomendar valores para os diferentes tipos de painel, declarando os pressupostos utilizados. Caso as condições de projeto difiram dos pressupostos utilizados, a NBR 15.366-3 detalha um método para cálculo do vão autoportante máximo com base nas dimensões do painel e os módulos de rigidez dos componentes (metálico e isolante) do mesmo. (ABNT, 2006b).

3.2.2 - Desempenho acústico

Os requisitos de desempenho acústico para vedações podem variar consideravelmente, uma vez que o nível de ruídos sonoros é um fator mais crítico em ambientes onde se requer maior concentração para desenvolvimento das atividades planejadas, como hospitais e cinemas, e não tão importante em atividades de outras naturezas, como lazer, em shopping centers, ou em câmaras de armazenamento, como frigoríficos.

A Tabela 3.1 apresenta níveis de pressão sonora ponderado (Db(A)) para conforto acústico e aceitáveis, respectivamente, de acordo

com o tipo de atividade desenvolvida.

Caso seja necessário um melhor desempenho para que não se exceda os níveis de ruídos permitidos pela norma, pode-se valer da utilização de camadas adicionais compondo a vedação pelo lado interno, como com placas de gesso acartonado. Para vedações internas compostas por Drywall, por exemplo, eventualmente permeadas por um núcleo em lã mineral, o valor do índice ponderado de redução do som (Rw) obtido se encontrará entre 36 dB e 61 dB. (DE LUCA, 2011)

Tabela 3.1 – Níveis de ruído para conforto térmico de acordo com a natureza da atividade desenvolvida. *Valores aproximados. (Adaptado da NBR 10.152/1987)

Locais	Tipos de Ambiente	Db(A)
Residências	Dormitórios	35-45
	Salas de Estar	40-50
Hospitais	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45
	Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50
	Serviços	45-55
Auditórios	Salas de concertos, Teatros	30-40
	Salas de conferências, Salas de uso múltiplo	35-35
Shopping Centers*	Circulação, Serviços	45-55
	Restaurantes, Lojas	40-50
	Cinemas	35-45
Igrejas e Templos	Ambientes para cultos meditativos	40-50
Locais para esporte	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60

3.2.3 - Desempenho Térmico

O coeficiente global de transmissividade de calor (usualmente representado pela letra "U") dos painéis é função da espessura do núcleo isolante e do material que o compõe. Assim, os painéis devem ser dimensionados de modo que este coeficiente esteja de acordo com as necessidades de isolamento térmico do projeto.

Tabela 3.2 – Características de materiais isolantes térmicos utilizados no núcleo de painéis metálicos isolantes. (INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR)

PUR/PIR (Poliuretano/Poliisocianurato)	Menor condutividade térmica dentre seus substitutos (melhor desempenho), com resistência térmica garantida a temperaturas em torno de 90°C, para o PUR, e 160°C, para o PIR, sendo este mais resistente ao fogo também;
EPS (Poliestireno Expandido)	É uma alternativa ao PUR de características semelhantes, por também se tratar de um material polimérico, mas de custo inferior e com desempenho termoacústico relativamente satisfatório;
LDR (Lã de Rocha)	Trata-se de uma fibra de origem mineral. Difere-se por ser um material incombustível, imputrescível e quimicamente inerte, mas também por apresentar uma condutância térmica maior do que os anteriores.

O coeficiente de transmissividade de calor (ou térmica) diz respeito a porção do calor incidente que será propagada através do material e transmitida adiante. Quanto menor esse coeficiente para um dado material, melhor será seu desempenho como isolante térmico.

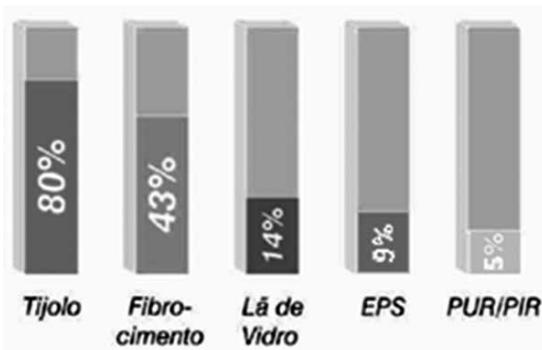


Figura 3.9 – Comparativo de transmissão de calor para diferentes tipos de materiais isolantes utilizados no núcleo dos painéis metálicos de vedação. (DÂNICA, 2013a)

A Figura 3.9 exibe um comparativo para ilustrar a eficiência no isolamento térmico do sistema com painéis metálicos isolantes, quer ele utilize EPS ou PUR/PIR, como material de preenchimento do núcleo, em relação às vedações tradicionais, para mesmas espessuras. Valores expressos para os materiais que tipicamente compõem os núcleos de painéis metálicos isolantes podem ser encontrados na Tabela 3.3.

Dessa forma, é possível entender como os painéis metálicos isolantes podem se valer

de pequenas espessuras para assegurar o desempenho requerido.

De modo geral, núcleos preenchidos por poliuretano com 50 mm de espessura são suficientes para satisfazer as necessidades de projeto de empreendimentos comerciais, como shoppings centers. (MCA, 2010).

Conforme disposto na NBR 16.401-2 (ABNT, 2008), salvo os casos de empreendimentos dedicados a atividades específicas, como câmaras frigoríficas, as temperaturas operacionais devem girar entre 22,5 °C e 26 °C, no verão, e 21 °C e 24 °C, no inverno.

Vale ressaltar que o isolamento térmico trabalha de forma colaborativa ao sistema interno de climatização, o que significa que para um melhor desempenho térmico da fachada, menor será o gasto energético para manutenção da temperatura de projeto.

3.2.4 - Segurança contra incêndio

Os níveis de inflamabilidade são definidos por normas específicas para cada material – como a NBR 7.538 (ABNT, 1989), no caso do Poliuretano, e a NBR 11.948, no caso do Poliestireno (ABNT, 2007) – que classificam os materiais de acordo com seu desempenho em ensaios sob condições padrões.

Define-se também outra propriedade, denominada reação ao fogo, como a contribuição dos materiais para o desenvolvimento de um

eventual incêndio, facilitando o seu crescimento e propagação, bem como às dificuldades que os materiais podem impor à extinção inicial e ao abandono do edifício. (ABNT, 2006a)

Os painéis metálicos isolantes devem ser capazes de proteger diretamente os usuários das edificações, dificultando a ocorrência e a propagação de incêndios e a geração de fumaça excessiva de forma a não impedir a fuga de seus ocupantes.

Em termos práticos, o objetivo é que os componentes do sistema de vedação atendam ao TRRF determinado pela Instrução Técnica nº08/2011 (PMSP, 2011), em função do tipo de ocupação e características da edificação, bem como que satisfaça os critérios de desempenho estabelecidos nas pelas normas relacionadas.

Ressalta-se o disposto na NBR 15.366-2 (ABNT, 2006a): “A avaliação de desempenho dos painéis deve ser feita no sistema completo, isto é, nas condições reais em que os painéis serão instalados, incluindo o produto com todos os seus revestimentos, selantes aplicados na fabricação, juntas padrão, acabamentos representativos e o método de instalação apropriado para o ensaio”.

A NBR 15.366-2 ainda dispõe os procedimentos para execução desses ensaios bem como os parâmetros para classificação dos painéis (ABNT, 2006a).

Isto implica que, apesar de os núcleos serem tipicamente compostos por materiais como Poliuretano e Poliestireno, que são relativamente vulneráveis ao fogo, deve-se considerar a atuação dos revestimentos em chapas de aço na proteção dos mesmos e o desempenho do sistema como um todo.

Ao contrário dos materiais poliméricos mencionados acima, encontram-se ainda disponíveis no mercado alternativas, como o Poliisocianurato, um material mais resistente a chamas que pode contribuir inclusive para a obtenção de certificações de desempenho contra incêndios (como o selo FM Global¹).

Outra solução, para situações de serviço mais críticas, seria o eventual emprego de materiais incombustíveis nos núcleos, caracte-

rística presente em alguns materiais de origem mineral, como a lã de rocha.

3.2.5 - Estanqueidade

Segundo a NBR 15.366-3 (ABNT, 2006b), painéis metálicos isolantes cujas faces metálicas atendam a uma inspeção visual podem ser considerados impermeáveis ao ar e a água, sendo a vedação do conjunto função de sua instalação.

Deve-se dar maior atenção aos detalhes críticos do sistema de fechamento, como juntas, fixações, cantos, quinas e topos, podendo valer-se do uso de selantes para garantir a estanqueidade do sistema por completo. Selantes a base poliuretano são os mais comumente empregados neste contexto

3.2.6 - Durabilidade do PMI

Fica sob responsabilidade dos diferentes fabricantes mencionar os cuidados a serem tomados na manutenção do sistema (ABNT, 2006b), como limpeza periódica e reparos na pintura.

Por se tratar de um material com a face externa metálica, ainda deve haver cuidado em relação à corrosão.

Para evitar a corrosão dos componentes metálicos devem-se tomar as seguintes medidas básicas:

- adequada especificação do revestimento do aço e/ou da pintura das chapas de acordo com a agressividade do ambiente onde o produto estará aplicado;
- a estanqueidade do sistema de fachada deve ser capaz de impedir a presença de fluidos condutores nas interfaces metálicas;
- regiões de interação entre metais diferentes, como juntas de fixação, demandam maior cuidado, tão maior quanto for a diferença de potencial eletroquímico entre os metais presentes.

¹ *Factory Mutual Global (FM Global)* é uma organização americana de gerenciamento de riscos e de resseguros industriais, que fornece selos de qualidade referentes à eficácia do desempenho de equipamentos.

É importante ainda observar que sempre existirá algum grau de corrosão entre dois metais em contato. Porém, a relação entre as áreas é extremamente importante para considerar se, mesmo havendo potencial de corrosão, é possível colocar os materiais em contato (por exemplo, em ligações parafusadas). A situação menos arriscada é aquela em que a área exposta que corrói (sofre redução) é significativamente menor em relação à região a ser corroída (sofrer oxidação).

Abaixo estão listadas algumas alternativas para que se garanta a durabilidade do sistema:

- aço zincado (galvanizado): o revestimento de zinco desempenha a proteção por dois mecanismos distintos: proteção por barreira exercida diretamente pela camada de revestimento e proteção sacrificial, operante nos casos de exposição simultânea do par aço-zinco (arranhões, cortes e bordas expostas).

- aço galvalume: este é o nome comercial dado para a chapa de aço revestida com liga de alumínio (55%)-zinco (43,5%)-silício(1,5% - porcentagens em massa), resultando em um material de alta resistência à corrosão e a altas temperaturas sem sofrer descoloração. Bom desempenho em áreas industriais e marinhas, além de menor absorção de calor em relação a outros tratamentos para o aço.

- aço pré-pintado (Figura 3.10): quando aplicada ao aço, a pintura age principalmente no sentido de inibir a corrosão, tendo ainda variadas paletas de cores para o design estético da fachada. Pode se valer de tintas de diferentes composições, bem como de camadas de revestimento de espessuras variáveis, para responder às necessidades de proteção contra a corrosão e a radiação solar.

- aço inoxidável: trata-se de uma liga metálica de aço que além dos típicos componentes contém também cromo e eventualmente outros

metais adicionais (e.g. níquel, tungstênio) em sua composição. Seus parâmetros de resistência mecânica, ductilidade e resistência à corrosão são função de sua composição e do tratamento térmico recebido.

- alumínio: por se tratar de um metal com baixo potencial corrosivo, pode-se empregá-lo na composição das chapas metálicas para operação em zonas de maior agressividade. Deve-se ter em mente, porém, seu decréscimo de resistência mecânica quando comparado ao aço.

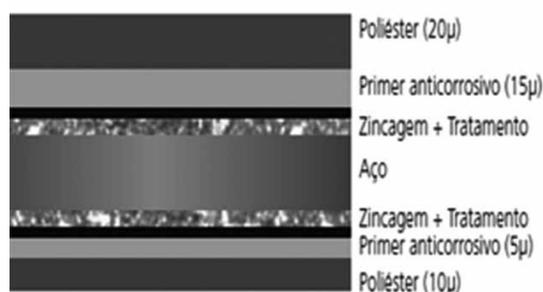


Figura 3.10 – Composição do aço pré-pintado, considerando a exposição a ambientes moderadamente agressivos (a face superior representa a face externa). O revestimento em zinco ou em liga de alumínio-zinco é opcional (PERFILOR, 2007)

3.3 - Projeto de vedações de fachada com PMI

3.3.1 - Especificação e dimensionamento

O sistema de painéis metálicos isolantes industrializados enquanto sistema de vedação externa é responsável por conferir a segurança requerida para a estrutura bem como a manutenção de condições para o desenvolvimento de atividades no interior da edificação.

É atribuição do projetista dimensionar os elementos desse sistema garantindo o desempenho esperado.

Em relação a conforto térmico, a fim de evitar alternativas com alto custo operacional, tanto energético quanto financeiro, dimensiona-se o núcleo do painel visando minorar a troca de calor entre meio externo e o ambiente in-

Painéis metálicos isolantes (PMI) para vedação de fachadas

terno.

Conforme mencionado no Item 2.3, quanto menor o coeficiente de transmissão global de calor de um sistema de vedação, mais eficaz do ponto de vista energético será a operação do sistema de climatização interna da edificação.

Aumentar a espessura de um núcleo reduz o coeficiente de transmissão de calor dos painéis como um todo, trazendo um ganho em desempenho térmico sem grande impacto no peso próprio do sistema, conforme ilustrado na Tabela 3.3

Tabela 3.3 – Características técnicas dos painéis de acordo com as propriedades do núcleo (revestido por chapas metálicas de 0,5mm de espessura). (Adaptado de TECTERMICA, 2013)

Material do Núcleo Isolante	Espessura (mm)	Coeficiente de Transmissão de calor (W/m ² .K)	Peso Próprio (Kg/m ²)
EPS	50	~0,6848	~9,82
	100	~0,3630	~10,54
	150	~0,2470	~11,27
PIR/PUR	50	~0,4905	~11,33
	100	~0,2557	~13,22
		~0,1732	~15,49

Na Tabela 3.2 (Seção 3.2.3) estão dispostas as principais características dos materiais dispostos acima.

Como se trata de um produto pré-fabricado, deve-se adequar, na etapa de projeto, as dimensões da estrutura à modulação dos painéis. Seu comprimento usualmente é definido na faixa de valores entre 1,00 m e 12,00 m, respeitadas as restrições de transporte.

Vale ressaltar que as chapas externas podem estar sujeitas a temperaturas de serviço em torno de 80°C, quando em cores escuras. A fim de reduzir a temperatura de serviço efetiva, pode se lançar mão de cores mais claras e revestimentos refletoras de radiação solar.

3.3.2 - Fixações de painéis

A fixação dos painéis é feita diretamente nas guias e montantes da estrutura metálica, podendo ser necessária à instalação de uma subestrutura de apoio para a fixação completa do sistema para que sejam respeitados os espaçamentos máximos permitidos.



Figura 3.11 – Estrutura e subestrutura em aço de um shopping center recebendo vedações externas em painéis metálicos isolantes. O sistema tem sido utilizado largamente no Brasil em obras como esta principalmente devido à facilidade de instalação e por ser uma solução construtiva acessível.

Os painéis metálicos isolantes formam um sistema de vedação vertical não-estrutural, de modo que o sistema estrutural da edificação deve ser responsável por resistir a todas as cargas dos mesmos.

A Figura 3.12 mostra a seção transversal de uma fachada com painéis metálicos isolantes. Notar a subestrutura auxiliar, a placa

interna de gesso acartonado e, por fim, a compartimentação vertical em material corta fogo, responsável pela segurança contra a propagação de incêndios.

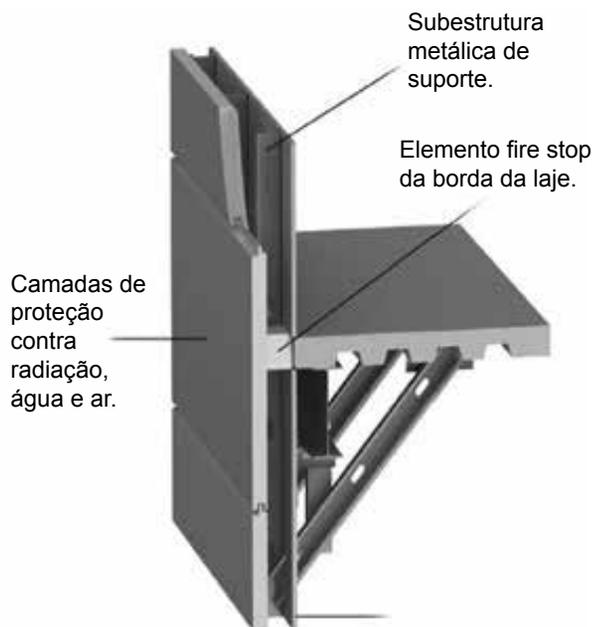


Figura 3.12 – Detalhe de interação entre o painel e a estrutura auxiliar de suporte. (MCA, 2013b)

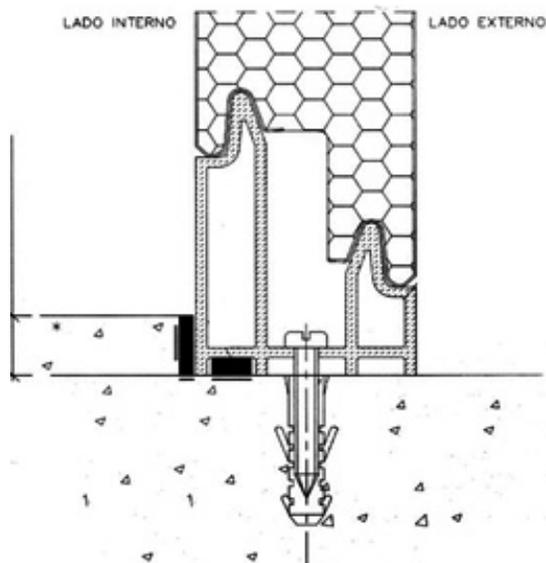


Figura 3.13 – Detalhe de projeto do elemento da subestrutura de apoio posicionado no piso e sua fixação. (DÂNICA, 2013a)

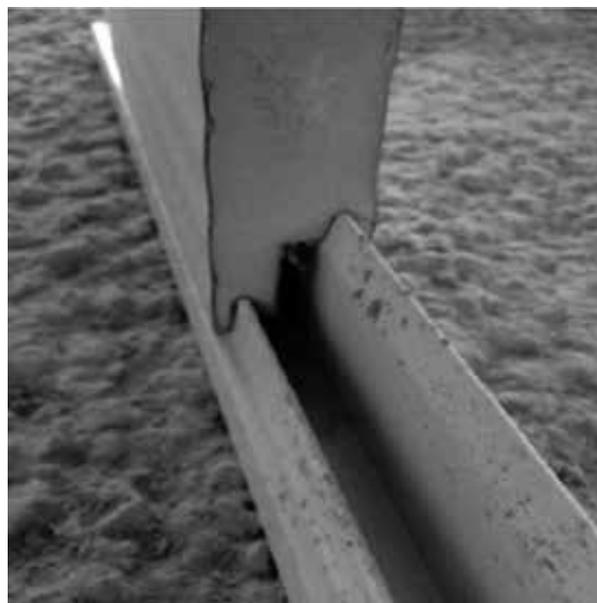


Figura 3.14 – Detalhe do perfil guia no piso e do encaixe com o painel metálico isolante. (DÂNICA, 2013b)

No caso de haver um sistema de fachada com mais componentes além dos painéis metálicos isolantes, pode-se executar um suporte intermediário suspenso, junto dos componentes adjacentes, em lugar de um apoio diretamente no piso (Figuras 3.15 e 3.16).

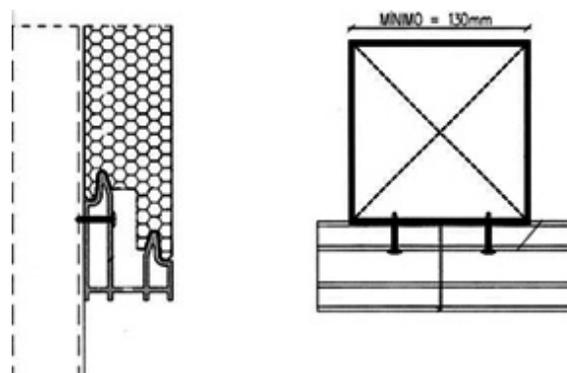


Figura 3.15 – Detalhe de fixação e emendas de apoio suspensos. (DÂNICA, 2013a)



Figura 3.16 – Detalhe de encaixe entre apoio suspenso e painel metálico isolante. (DÂNICA, 2013b)

É possível notar que as interfaces dos painéis com guias, estrutura auxiliar e estrutura principal não ficam aparentes do lado externo, protegendo os elementos de fixação, estes sendo pontos críticos no que diz respeito à ocorrência de corrosão galvânica.

3.3.3 - Detalhes e juntas entre painéis

As juntas de topo entre um painel e outro são feitas por encaixe, no sistema macho e fêmea (Figura 3.17), sem necessidade de vedações com selantes – uso a critério do projetista. Isso garante o desempenho a partir do instante da montagem.

As juntas de união lateral (Figura 3.18), por sua vez, são executadas com o auxílio de um perfil metálico intermediário, parafusado à estrutura principal da edificação ou à subestrutura metálica auxiliar, e vinculado aos painéis utilizando-se um meio mais simples, como fita adesiva, por exemplo.

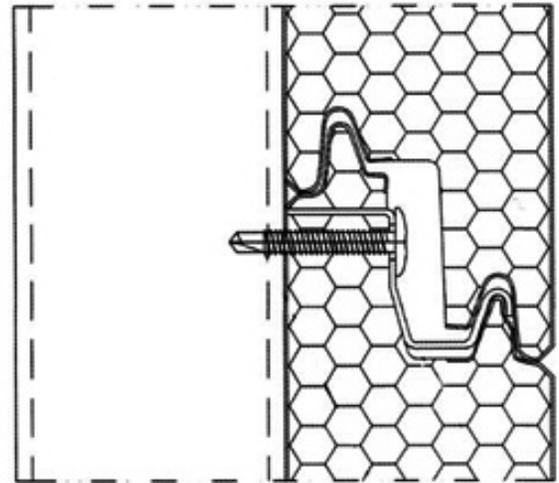


Figura 3.17 – Detalhe em corte de fixação e encaixe dos painéis. (DANICA, 2013a)

Deve-se fixar o painel inferior junto à estrutura metálica antes do posicionamento do painel superior, visto que os parafusos ficarão embutidos e conseqüentemente protegidos de agentes externos pelo encaixe.

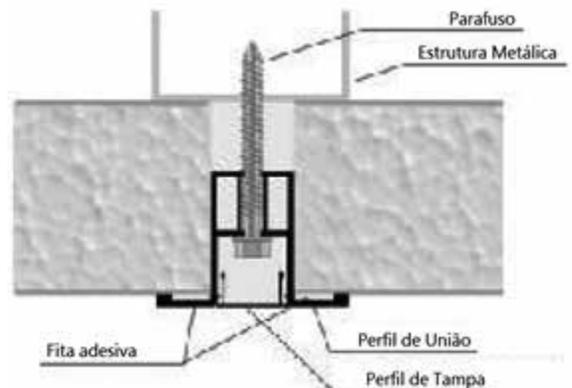


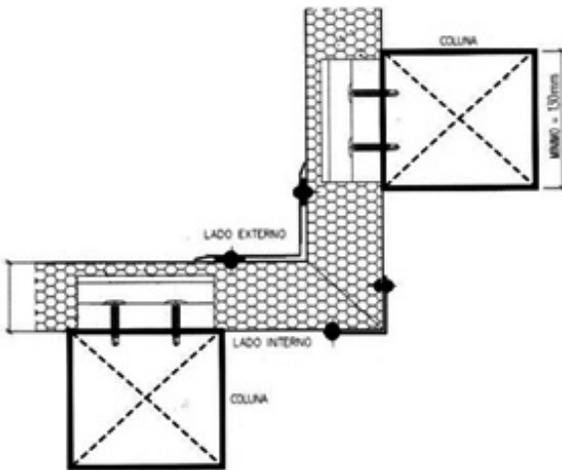
Figura 3.18 – Detalhe de corte em planta da união de painéis adjacentes e da fixação do perfil de união lateral. (DÂNICA, 2013a)

A Figura 3.19 ilustra de forma mais clara o fato de o sistema de fixação ser embutido, deixando aparente apenas o acabamento metálico das chapas que compõem os painéis, uma vez que estes não demandam revestimento externo adicional. Cantos e quinas, bem como fechamentos de topo, têm seu acabamento realizado com perfil metálico semelhante ao acabamento de união lateral de painéis adjacentes. Estas juntas especificamente podem

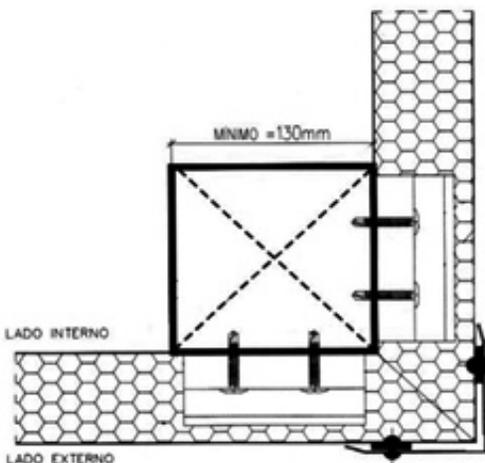
demandar o uso de selantes, para garantir a vedação da edificação.



Figura 3.19 – Detalhe dos encaixes vertical e horizontal. (DÂNICA, 2013b)



Figuras 3.20 - Detalhes em planta da fixação de painéis metálicos isolantes em um canto. (DÂNICA, 2013a)



Figuras 3.20 e 3.21 - Detalhes em planta da fixação de painéis metálicos isolantes em uma quina. (DÂNICA, 2013a)

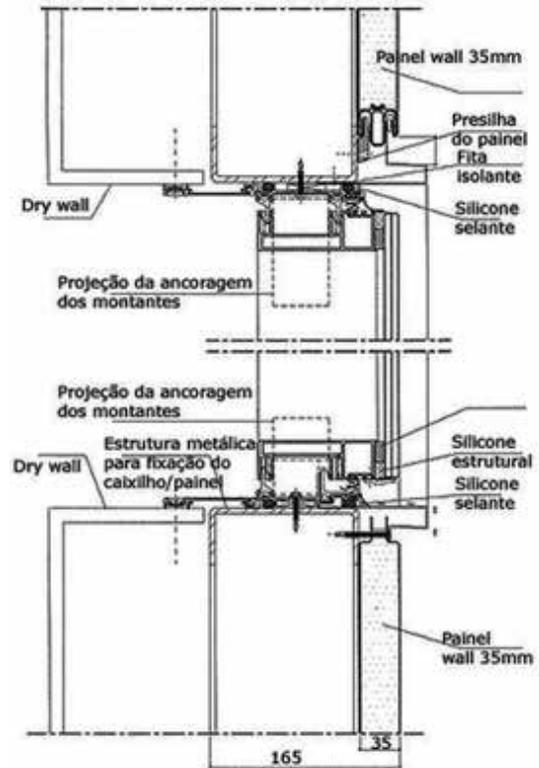


Figura 3.22 - Detalhe em corte de abertura para esquadria em fachada com painel metálico isolante. (FINESTRA, 2004)

3.3.4 - Sequência Executiva

A instalação dos painéis para composição da fachada, partindo da instalação das estruturas e subestruturas necessárias para tanto, é iniciada pelo encaixe da camada mais baixa de painéis, prosseguindo para o painel seguinte, na direção vertical. Entre dois painéis verticalmente adjacentes que já estejam fixados, executa-se a instalação do perfil de união lateral (Figura 3.23).

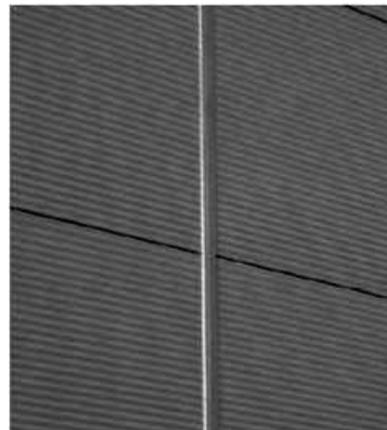


Figura 3.23 – Perfis de acabamento instalado na junta vertical entre painéis adjacentes. (DÂNICA, 2013b)

Painéis metálicos isolantes (PMI) para vedação de fachadas

Durante a instalação do sistema, recomenda-se que as seguintes verificações sejam efetuadas (ABNT, 2006b):

- verificar o posicionamento das longarinas da estrutura auxiliar para fixação dos painéis, de forma a obedecer o projeto;
- verificar o prumo logo após a instalação do primeiro painel na vertical, e repetir a verificação a cada cinco painéis montados;
- verificar os encaixes painel a painel;
- os acabamentos devem ser executados após a instalação dos painéis: aplicação de selantes, espuma de poliuretano em cavidades consequentes a instalação e, por fim, perfis de acabamento.

Capítulo 4

Painéis pré-fabricados de
concreto (PFC) para
vedação de fachadas

4.1. Contextualização e aplicações

4.1.1 - Painéis pré-fabricados de concreto (PFC) e sua utilização em fachadas

Os painéis pré-fabricados de concreto consistem em uma vedação executada por acoplamento de placas pré-fabricadas de grande massa. Os painéis apenas podem ser transportados e instalados com a utilização de equipamentos de grande porte e normalmente não têm função estrutural.



Figura 4.1 – Fechamento com painéis pré-fabricados de concreto. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Estes painéis são na maioria das vezes pré-fabricados fora do canteiro de obras e sua geometria segue quase sempre uma modulação definida no projeto de arquitetura.

Eles são ancorados à estrutura principal por meio de dispositivos metálicos que devem também permitir os ajustes de instalação.

É possível a utilização de diferentes tipos de revestimentos, como pintura, argamassas decorativas e placas cerâmicas, sendo comum por parte dos fabricantes a produção de amostras em diferentes tamanhos para aprovação prévia do cliente (vide Figura 4.2).

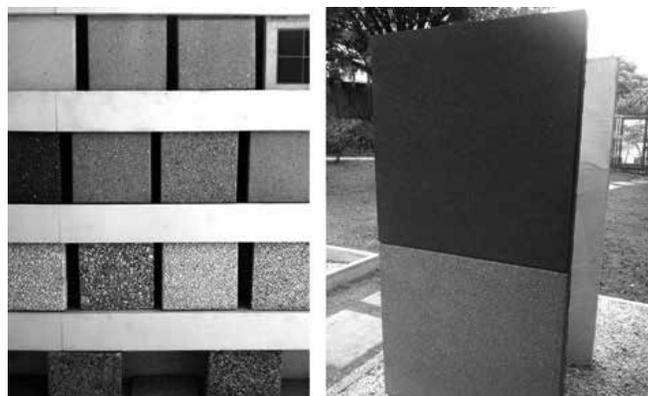


Figura 4.2 – Amostras em diferentes escalas para auxílio na escolha do revestimento aplicado ao painel pré-fabricado utilizado como vedação de fachada. (HISADA et al., 2013)

O sistema é considerado como uma vedação vertical pesada, uma vez que seu peso específico normalmente excede o limite para vedações leves convencionado em 60 kg/m^2 de acordo com NBR 15.575 (ABNT, 2013).

4.1.2 - Tipos de painéis para fechamento

De acordo com classificação do American Concrete Institute – ACI (1993), os painéis pré-fabricados de concreto para fachada podem ser divididos de acordo com a geometria de sua seção transversal em maciços - seção constituída de um único material - e alveolares - seção possui vazios longitudinais.



Figura 4.3 – Fechamento com painéis alveolares. (GRANDE, 2009)

Os painéis alveolares são produzidos no Brasil normalmente em concreto protendido com largura de 100 cm a 125 cm e com espessuras de 9, 12, 16, 20, 25 e 30 cm, eventualmente chegam a 50 cm.

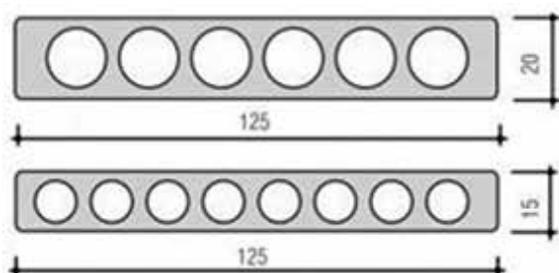


Figura 4.4 – Seção transversal de um painel alveolar com largura e espessuras típicas. (CASSOL, 2012)

O painel de 15 cm de espessura utilizado para vedação, por exemplo, possui peso de cerca de 240 kg/m². (CASSOL, 2012).

4.1.3 - Processo de fabricação e repercussões no desempenho

Os PFC são fabricados a partir de uma mistura de cimento Portland, agregados (brita e areia), aditivos como superplastificantes, água e, eventualmente, pigmentos inorgânicos, que conferem cor ao painel.

O emprego desses aditivos permite reduzir a relação água-cimento na dosagem do concreto, sem que haja prejuízo de sua trabalhabilidade, de forma que, ao final, obtenha-se um produto com baixa porosidade, elevada resistência mecânica e impermeabilidade.

O processo de produção é comum aos pré-fabricados de concreto de grande porte, mas a concretagem é dividida em duas etapas. Na parte final do processo pode-se introduzir algumas técnicas para obtenção do acabamento superficial desejado como jateamento e lixamento.

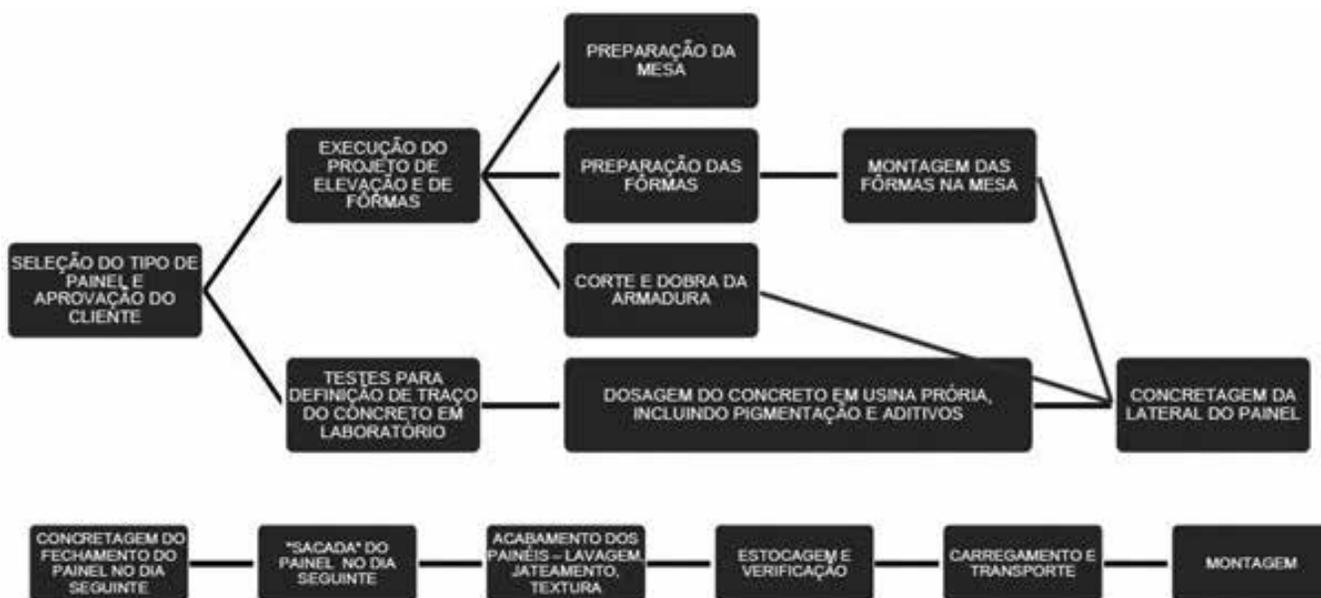


Figura 4.5 – Etapas do processo de fabricação dos painéis até sua instalação. (HISADA et al., 2013)

Painéis pré-fabricados de concreto (PFC) para vedação de fachadas

É possível confeccionar as fôrmas dos painéis já com previsão das aberturas definidas na arquitetura como ilustra a Figura 4.6.

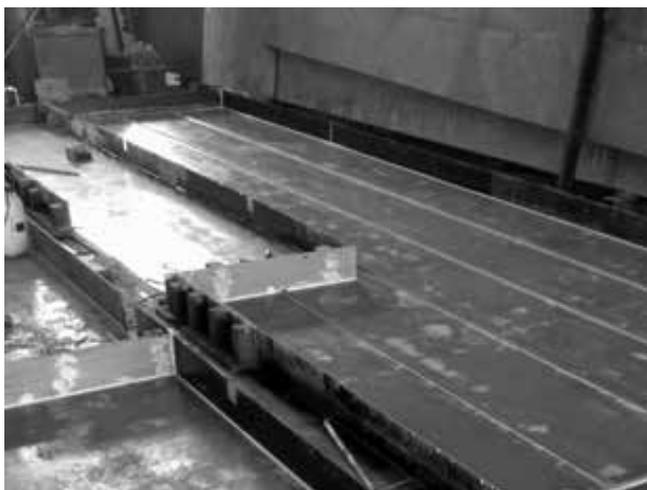


Figura 4.6 – Fôrma de aço customizada para atender projeto específico de painéis de fachada. (HISADA et al., 2013)

O concreto lançado na fôrma é vibrado, promovendo melhor adensamento da mistura. Os painéis recém-moldados passam por um processo de cura controlada até que atinjam a resistência desejada.

Para acelerar a desforma usualmente é utilizado cimento Portland tipo CP V ARI para dosagem do concreto.

O fabricante deve controlar cuidadosamente a qualidade da matéria prima e homogeneidade da produção para evitar variações de tonalidade dos painéis com função de vedação de fachada.

Além disso, devem ser controladas a resistência e a precisão dimensional dos painéis com o intuito de minimizar a dificuldade de montagem devido a imprecisões geométricas dos painéis como as verificadas na Figura 4.7.

Os fabricantes recomendam estocar os painéis na posição horizontal, utilizando-se calços de madeiras entre estes a uma distância mínima de 30 cm das extremidades. Também é possível armazená-los na posição vertical, desde que a borda inferior esteja devidamente protegida e calçada. (STAMP, 2013)

Os painéis têm instalados ganchos especiais para serem transportados do pátio da



Figura 4.7 – O afastamento entre painéis pré-fabricados precisa ser uniforme para facilitar a vedação e conferir estética adequada. (OLIVEIRA; SABBATINI, 2004)

fábrica por meio de pontes rolantes que carregam os veículos que farão o transporte até o canteiro.

4.1.4 - Onde e por que utilizar o sistema em PFC

O sistema de pré-fabricados de concreto pode ser utilizado para vedação de fachada em praticamente todo tipo de edificação, desde edifícios industriais e comerciais até mesmo residenciais.



Figura 4.8 – Edifício da biblioteca central da PUC, em Campinas. Uso de painéis pré-fabricados para fechamento de edificação em estrutura metálica de aço. (foto Bebeve Viegas. Projeto Arquitetura Piratininga Arquitetos Associados PAA)

A redução do custo fixo da obra propiciada pela possibilidade de se reduzir o prazo final do cronograma tem permitido que este sistema ganhe espaço no cenário da construção civil, sobretudo em relação ao sistema convencional de vedação em alvenaria de blocos. Tal redução pode ser ainda mais significativa quando a edificação também for executada em estrutura em aço e quando os painéis são fornecidos com acabamento final.



Figura 4.9 – Aspecto da montagem dos painéis da fachada da biblioteca central da PUC. Os painéis são suspensos, apoiados nas vigas metálicas e então fixados com cantoneiras de aço. (Acervo PAA)

4.1.5 - Características do sistema em PFC para fachadas

A instalação do sistema envolve basicamente três etapas principais, a saber:

- instalação das ancoragens na estrutura (lajes/pilares);
- içamento e acoplagem nas ancoragens;
- tratamento das juntas.

Com auxílio de grua ou guindaste, os painéis são descarregados no canteiro e então estocados até o momento do içamento e fixação na posição final. Durante a fixação é necessário alinhar e nivelar os painéis e as ancoragens devem permitir os ajustes previstos.

A produtividade da montagem pode variar bastante de acordo com a complexidade do projeto e com os tipos de dispositivos proje-

tados para permitir os ajustes. Por outro lado, uma equipe composta de 6 a 8 pessoas pode instalar 10 painéis por dia para uma carga horária diária de 6 horas em condições normais de operação. (STAMP, 2012).

A pré-fabricação não só permite a inspeção dos componentes antes da montagem na obra, como também traz racionalização ao canteiro de obras.

A racionalização obtida provém do uso mais efetivo da mão de obra alocada e da redução do espaço necessário no canteiro para o recebimento, estocagem, transporte e manuseio de materiais, quando comparado ao sistema convencional de vedação em alvenaria de blocos.

Limitações e soluções

A necessidade de equipamento de maior capacidade para a instalação do sistema, devido ao elevado peso dos painéis pode induzir a maiores custos, além de requerer uma logística mais elaborada no canteiro de obras.

Ainda assim, a possibilidade de redução do prazo final da obra pode trazer vantagens econômicas, de tal modo que a solução passe a ser viável.

Esse potencial competitivo só pode ser plenamente aproveitado a partir do momento em que se faz um planejamento da obra adequado às características e necessidades desse sistema de vedação. Para isso, vale destacar a importância de dois fatores.

O primeiro diz respeito à elaboração de um projeto detalhado, que tenha em vista a compatibilização das interfaces entre os subsistemas e o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho estabelecidos em norma (OLIVEIRA; SABBATINI, 2004).

Em segundo lugar, é possível colocar em evidência a adequação do planejamento e da logística no canteiro de obras, de modo a tornar o trabalho mais produtivo. Nesse sentido, destacam-se os seguintes pontos relevantes ao planejamento da obra:

- atenção à locação das gruas disponí-

veis, de modo que elas possam capacidade para transportar os painéis para pontos distantes do seu eixo;

- estabelecer, junto ao fabricante, procedimentos para solucionar casos em que houver peças fora das tolerâncias de montagem; e
- procurar dar sequência à montagem, pavimento por pavimento, de modo que haja disponibilidade das diferentes peças no momento em que são necessárias.

Um projeto em que não haja grande diversidade de painéis, no que diz respeito ao comprimento, forma, cor ou textura, é beneficiado. Pode-se assim antecipar ou eliminar etapas no processo de produção. Um exemplo disso é a possibilidade de se posicionar os apoios das fixações dos painéis no momento da concretagem da laje, no lugar de se realizar cortes após sua cura.

Outra preocupação diz respeito à eventual imprecisão geométrica dos painéis promovida durante o processo de fabricação, onde não somente o preenchimento das juntas entre painéis fica prejudicado, como também, por vezes, é possível perceber o desalinhamento dos painéis e juntas, trazendo prejuízos à estética do empreendimento como mostra a Figura 4.10.



Figura 4.10 – Desalinhamento das juntas entre painéis pré-fabricados em uma obra de um centro comercial. (Acervo: Inovatec Consultores)

4.1.6 - Relação custo-benefício

Encontra-se disposta no Anexo A deste manual uma tabela que elege fatores impactantes nos custos dos sistemas bem como avalia a magnitude deste impacto. Estes mesmos fatores são abordados aqui, mas do ponto de vista específico do sistema de vedação em painéis pré-fabricados, a saber:

- Impacto na logística da obra: executar a vedação com painéis pré-fabricados de concreto oferece uma montagem ágil, mas demanda o uso de equipamentos de grande porte. Esse sistema oferece ainda a opção de ser instalado previamente revestido, abreviando assim mais uma etapa da obra.

- Necessidade de equipamento: somente guindastes e gruas com alta capacidade podem transportar e posicionar os painéis;

- Nível de pré-montagem: os painéis pré-fabricados de concreto são fornecidos com acabamento final e solucionam o revestimento final da fachada e boa parte da vedação externa do edifício, restando somente o acabamento da vedação interna e o tratamento das juntas;

- Velocidade de montagem: atrelada ao nível de pré-montagem está o ganho na velocidade de execução do sistema em painéis pré-fabricados de concreto. Painéis de grandes dimensões garantem uma vedação rápida e definitiva;

- Viabilidade de ajustes durante a montagem: por se tratarem de painéis industrializados modulados de acordo com o projeto inicial, ajustes não previstos em projeto normalmente são inviáveis ou ocasionam custos consideráveis;

- Terminalidade: os painéis são produzidos já na configuração em que serão fixados à estrutura, inclusive com a aplicação de hi-

drofugantes, sendo necessário posteriormente apenas a aplicação de selante nas juntas;

- Necessidade de acabamento final: os painéis são fornecidos adequados ao projeto de arquitetura, de modo que não se faz necessária a execução de revestimentos adicionais em canteiro;

- Incremento de desempenho acústico: o ganho de desempenho acústico para o sistema de vedação se dá no simples aumento da espessura dos painéis que sendo de concreto atende com relativa facilidade este requisito;

- Incremento de desempenho térmico: análogo ao fator anterior. Cabe mencionar a alta inércia térmica do concreto frente às alternativas de vedação comumente disponíveis;

- Incremento de segurança contra incêndio: análogo ao fator anterior;

- Incremento em durabilidade: associada diretamente a durabilidade do concreto usado na fabricação dos painéis. Um ponto vulnerável pode ser os dispositivos metálicos de ancoragem;

- Manutenibilidade: os pontos críticos da manutenção são a necessidade de reaplicação de hidrofugante na superfície do concreto para preservar sua aparência e o tratamento das juntas com selante que tem vida útil limitada e por isso precisa ser removido e replicado depois de alguns anos;

- Cadeia Produtiva: a produção e o fornecimento de painéis pré-fabricados de concreto normalmente não sofrem restrições ou gargalos devido à grande disponibilidade de insumos, bem como o fato de ser uma tecnologia razoavelmente difundida no país;

- Contrato e responsabilidade técnica: a seleção dos materiais, dosagem, mistura;

moldagem, cura e demais processos envolvendo a fabricação do produto são executados pelo fabricante, além do projeto e da montagem da fachada;

- Estimativa de preço (R\$/m²): a faixa de preço fornecida engloba variações relacionadas às possíveis configurações dos painéis, estes podendo ser alveolares ou maciços e ter diferentes espessuras, e o emprego de diferentes materiais no tratamento dos painéis e na execução das juntas.

4.2 - Desempenho do pfc para fachadas

Ainda que a NBR 15.575 estabeleça critérios de desempenho para edificações habitacionais, é possível utilizá-los como referência para demais tipologias de edificações que façam uso do sistema em painéis pré-fabricados. Desta forma, os sistemas com painéis pré-fabricados de concreto também devem atender aos requisitos previstos na parte 4 da NBR 15.575.

4.2.1 - Desempenho estrutural

O sistema em painéis pré-fabricados de vedação para fachadas não tem função estrutural, mas deve ser capaz de resistir às ações externas de cargas horizontais de vento ou abalos sísmicos, bem como aos efeitos da dilatação térmica.

Os requisitos da NBR 15.575, expostos na introdução deste manual, preveem atendimentos às resistências de impacto de corpo duro e de corpo mole (lado interno e externo).

Quanto aos critérios a serem observados em relação à resistência ao impacto de corpo mole, por se tratar de uma vedação vertical pesada, deve ser superior a 60 kg/m², como mostra o capítulo introdutório do manual.

4.2.2 - Desempenho acústico

Os valores do índice de redução sonora obtidos pelo sistema por meio de ensaios de laboratório (R_w) devem atender aos valores descritos na NBR 15.575 e apresentados na introdução.

Alguns painéis pré-fabricados de concreto proporcionam um Índice de Redução Sonora (R_w) superior a 40 dB (HISADA et al., 2013).

4.2.3 - Desempenho térmico

A NBR 15.575 estabelece valores máximos para a transmitância térmica (U) e mínimos para a capacidade térmica (CT).

Uma solução para potencializar o isolamento térmico das vedações externas que fazem uso dos PFC é a utilização de lã de vidro no seu interior, evitando a concentração de calor, o que reduz o consumo de energia em

ambientes climatizados (ALMEIDA, 2010). Há ainda a possibilidade de se acrescentar espuma rígida de poliuretano entre as cavidades e o concreto exterior, de modo a potencializar o isolamento.

4.2.4 - Segurança contra incêndio

A NBR 14.432 estipula, em função do tipo de ocupação e das características da edificação, diferentes níveis de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) para vedações, tal como foi apresentado na introdução deste manual.

A resistência ao fogo do sistema, por sua vez, varia em função da espessura do painel de concreto e da natureza dos agregados que o compõem, conforme apresenta a Tabela 4.1.

Essa tabela permite inferir que o uso de agregados leves retarda a transmissão de calor, proporcionando maior resistência ao fogo.

Tabela 4.1 – Resistência ao fogo de painéis de concreto maciço em função do tipo de agregado. (OLIVEIRA; SABBATINI, 2004)

Tipo de agregado	Espessura em função da resistência ao fogo (mm)			
	1 hora (60min)	2 horas (120min)	3 horas (180min)	4 horas (240min)
Agregados tipo III	65	95	120	140
Agregados tipo II	85	120	150	170
Agregados tipo I	90	130	155	180

Consideram-se como agregados tipo III, os agregados leves como a argila expandida e a vermiculita.
Consideram-se agregados tipo II as pedras calcárias
Consideram-se agregados tipo I os quartzos, granitos e basaltos

Para atingir um TRRF de 120 minutos, um painel pré-fabricado de concreto, que utilize agregados tipo II, deve possuir espessura superior a 120 mm. Por outro lado, um painel que tenha agregados leves (tipo III), como a argila expandida e a vermiculita, em sua composição deve possuir espessura superior a 95 mm.

Outro aspecto a ser abordado é a integridade estrutural dos dispositivos de fixação, sendo possível elencar ao menos duas soluções para prevenir seu colapso em caso de incêndio. Na primeira solução, as fixações

estão embutidas na laje de concreto de cada pavimento, com cobertura mínimo de 3 cm. Na segunda solução, não apenas as fixações do sistema de vedação, mas também todos os perfis da estrutura metálica da edificação devem ser protegidos com argamassa de vermiculita projetada, como ilustra a Figura 4.11.



Figura 4.11 – Argamassa de vermiculita projetada sobre os perfis da estrutura metálica. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

4.2.5 - Estanqueidade

Ainda que o grau de fissuração nos painéis de concreto represente um potencial caminho para a infiltração de água e ar, conforme ilustrado na Figura 4.12, pode-se dizer que as juntas entre painéis constituem o ponto crítico do sistema do ponto de vista da estanqueidade.



Figura 4.12 – Painel pré-fabricado de concreto que apresentou fissura no sentido transversal a sua maior dimensão. Foi utilizada injeção de polímero na recuperação. (Acervo: Inovatec Consultores)

Nesse sentido, vale compreender como funcionam as juntas, as quais podem ser classificadas em (OLIVEIRA, 2002):

- abertas, cuja estanqueidade à água

é garantida pela geometria ou pela introdução de dispositivo de drenagem; e

- seladas, quando recebem um material selante que confere estanqueidade à junta.

Quanto às juntas abertas, uma possibilidade é fazer uso de encaixes do tipo “macho-fêmea” para as juntas horizontais, conforme ilustra a Figura 4.13. Esta junta tem uma geometria que permite dispensar o uso de materiais de preenchimento sem que a estanqueidade do sistema à água seja prejudicada.

Tendo em vista seu não preenchimento, a estanqueidade ao ar das juntas abertas é inferior quando comparadas às juntas seladas. Por outro lado, as juntas seladas apresentam uma desvantagem que decorre do fato do seu desempenho ser dependente da durabilidade do material selante.

Nesse sentido, o material de preenchimento das juntas seladas, normalmente um selante à base de silicone mono-componente, deve promover a estanqueidade do sistema e apresentar durabilidade adequada, não devendo ressecar e desagregar. Este pode receber pigmento, a fim de uniformizar com a cor dos painéis da fachada (OLIVEIRA; SABBATINI, 2004).



Figura 4.13 – Sistema macho-fêmea em juntas horizontais abertas. (Acervo: Inovatec Consultores)

A Figura 4.14 ilustra o processo de preenchimento das juntas entre painéis com tarugo e posterior selagem com silicone.



Figura 4.14 – Tratamento das juntas entre painéis com selante. Observar o uso de limitadores de fundo para definir adequadamente a seção do material. (Acervo: Inovatec Consultores)

Dessa forma, deve haver uma preocupação quanto à imprecisão dimensional dos painéis, uma vez que causam interferência no preenchimento das juntas.

Juntas estreitas, de espessura inferior a 10 mm, podem não acomodar as deformações resultantes da dilatação térmica, comprometendo o desempenho do selante. Juntas largas, por outro lado, além de apresentarem consumo excessivo de selante, podem oferecer dificuldades que impliquem em falhas de preenchimento.

4.2.6 Durabilidade

Apesar da inexistência de normas brasileiras que tratem especificamente da durabilidade dos painéis, pode-se chamar a atenção ao respeito do cobrimento mínimo de concreto, de modo a preservar a armadura, que é responsável por estruturar o painel.

O cobrimento de concreto visa proteger o aço contra corrosão e é definido em função da classe de agressividade ambiental a qual os painéis estão sujeitos. Deve-se tomar cuidado

com o uso de painéis muito delgados ou com cobrimentos reduzidos.

É importante ressaltar ainda os cuidados com relação à conservação das fixações, já que, uma vez comprometidas, podem trazer riscos de acidentes graves. Nesse sentido, caso as fixações metálicas estejam sujeitas à degradação por corrosão, deve-se prever algum tipo de tratamento.

Pode-se aplicar tinta de fundo anticorrosivo e pintura de acabamento com tinta à base de epóxi sobre dispositivos em aço-carbono, ou substituí-lo por aço zincado a fogo ou inoxidável, segunda a exigência do projeto.

A Figura 4.15 mostra os dispositivos de fixação dos painéis da cobertura em aço-carbono, pintados com tinta de fundo anticorrosiva (OLIVEIRA, 2004).



Figura 4.15 – Dispositivos de fixação dos painéis da cobertura pintados com tinta de fundo anticorrosiva. (OLIVEIRA; SABBATINI, 2004)

4.3 - Projeto de vedações de fachada com PFC

4.3.1 - Dimensionamento do painel

O painel pré-fabricado de concreto é responsável por conferir a segurança estrutural requerida às fachadas, de forma que seu dimensionamento resista à ação do vento, transporte e peso próprio ao longo de sua vida útil.

Durante sua fabricação, todavia, os painéis passam por várias etapas que podem introduzir tensões e fissuras caso o material ainda não tenha atingido resistência suficiente.

As principais etapas onde isso pode ocorrer são a desforma, transporte para armazenamento e transporte para a obra. É por isso que o projeto deve prever resistências específicas para o manuseio dos painéis em cada uma

destas etapas bem como reforços e detalhes próprios para evitar fissuras, danos e quebras.

4.3.2 - Fixações

OLIVEIRA (2002) sugere classificar as fixações em três tipos, a saber: as de apoio vertical, as de alinhamento e as de apoio lateral.

As fixações de apoio vertical visam transmitir o peso próprio do painel à estrutura suporte, sendo que de modo geral os painéis permanecem suspensos na viga do pavimento superior.

As Figuras 4.14 a 4.17 ilustram algumas possibilidades dentre as diferentes tipologias de fixações verticais dos painéis em estruturas de aço e concreto.

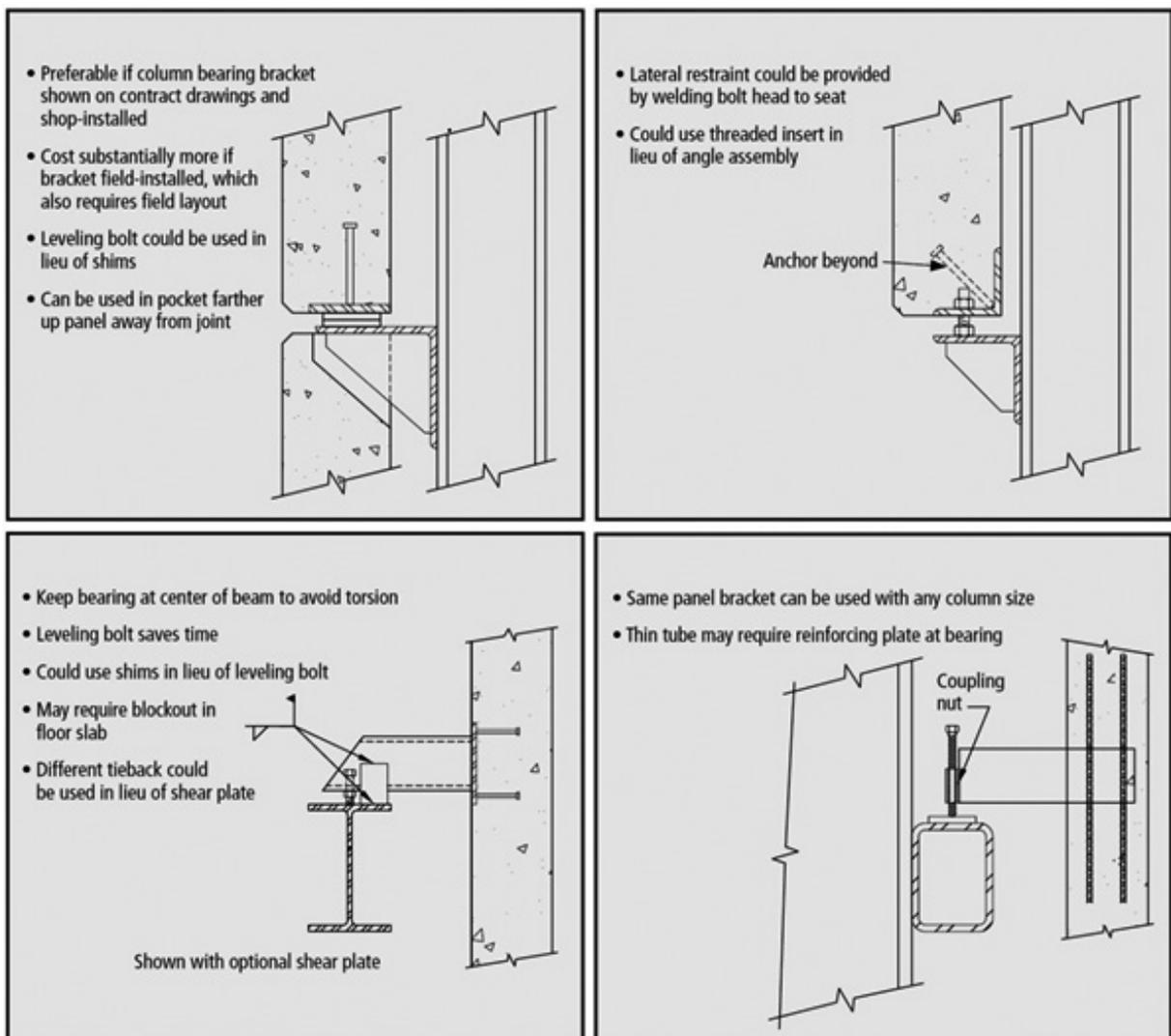


Figura 4.16 – Detalhes das fixações de apoio vertical em estruturas de aço e concreto. No detalhe superior à esquerda é preferível quando as cantoneiras de apoio do pilar são previamente instaladas. Parafusos de nivelamento podem ser usados no lugar dos espaçadores. No detalhe superior à direita, a restrição lateral pode ser obtida soldando-se a cabeça do parafuso à cantoneira inferior. No detalhe inferior à esquerda, o apoio deve ficar bem no eixo da viga para evitar torção na mesma. O parafuso de nivelamento permite precisão e rapidez no ajuste. Uma placa de travamento deve ser soldada para travamento. No detalhe inferior direito, o mesmo tipo de cantoneira pode ser utilizada para qualquer tamanho de pilar. O tubo de apoio pode requerer reforço e funciona como base para o parafuso de ajuste. (PCI, 2007)

Painéis pré-fabricados de concreto (PFC) para vedação de fachadas

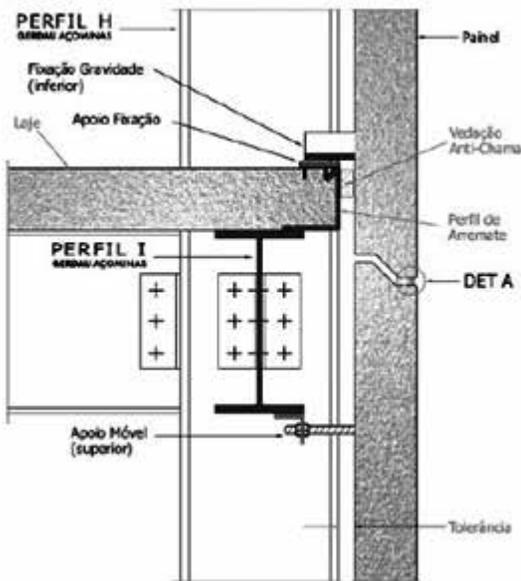


Figura 4.17 – Detalhe de fixação de apoio vertical. (COELHO, 2007)

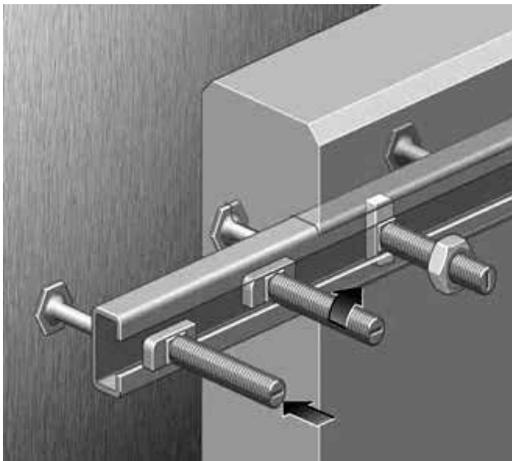


Figura 4.18 – Dispositivo de ancoragem tipo canal. (HALFEN, 2012)



Figura 4.19 – Dispositivo de fixação metálico com encaixe tipo macho-fêmea. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)



Figura 4.20 – Dispositivo com parafuso de regulagem de nível. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

A perspectiva mostrada na Figura 4.18 permite visualizar o sistema de ancoragem tipo canal, onde é possível realizar o ajuste na posição do painel pré-fabricado de maneira rápida. Já no caso da Figura 4.16, se faz uso de um sistema “macho-fêmea” no qual os painéis não se apoiam sobre a laje, mas nos pilares. Dessa forma, é possível dispensar a execução de um acabamento a fim de esconder a ancoragem.



Figura 4.21 – Irregularidade na tentativa de se ajustar o nível do painel. Também é possível notar a corrosão dos elementos de fixação que não receberam tratamento superficial de proteção. (OLIVEIRA, 2002)

O dispositivo mostrado na Figura 4.20, por sua vez, permite a regulação da altura do painel, dentro de certos limites, por meio do aperto do parafuso, posicionado na vertical. Vale dizer que os tipos de ancoragem apresentados também são viáveis em estruturas metálicas. A Figura 4.21 chama a atenção devido à instalação irregular do painel, cujo nivelamento só foi possível utilizando-se um calço de grande altura.

Quanto às fixações de alinhamento, além de contribuir para alinhar os painéis durante a montagem, elas impedem o deslocamento relativo entre os painéis. As fixações podem ocorrer por ligações aparafusadas ou soldadas, como mostra a Figura 4.22. As fixações de apoio lateral, usualmente são projetadas de modo a respeitar o alinhamento, são responsáveis por transmitir as forças horizontais, devido à ação do vento, à estrutura suporte e geralmente o fazem por meio de chapas metálicas, como mostra a Figura 4.23.

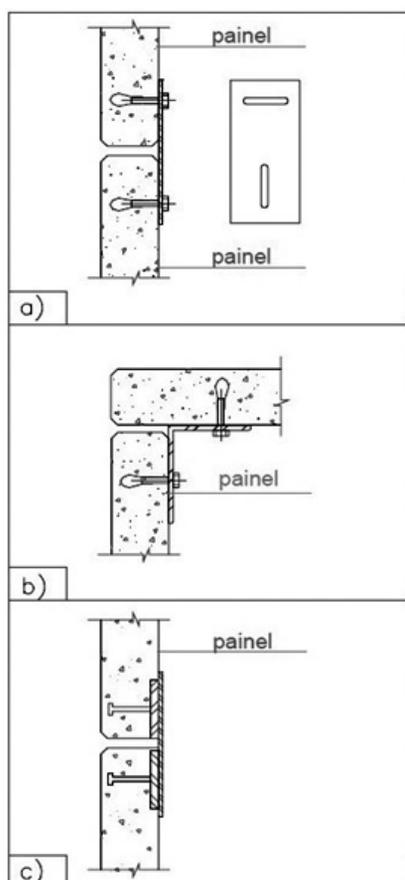


Figura 4.22 – Detalhes das fixações de alinhamento. (OLIVEIRA, 2002)

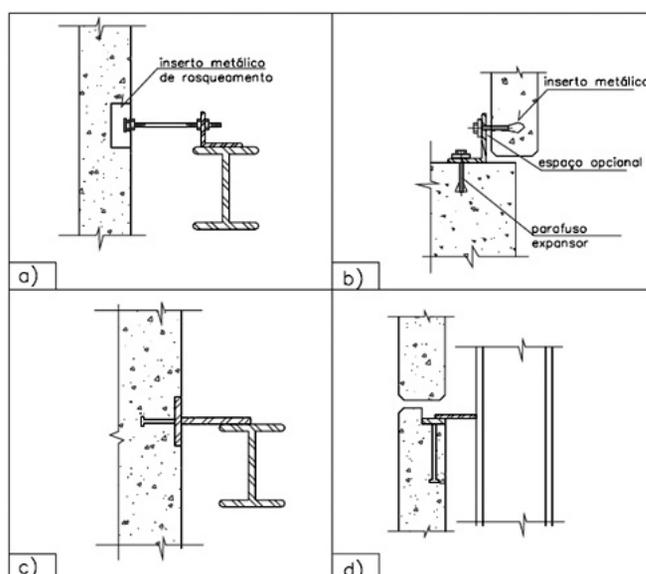


Figura 4.23 – Detalhes das fixações de apoio lateral. (OLIVEIRA, 2002)

A Figura 4.24 mostra duas opções de apoio lateral, sendo possível observar a utilização de uma barra flexível e de furos oblongos que permitem os ajustes de posicionamento.

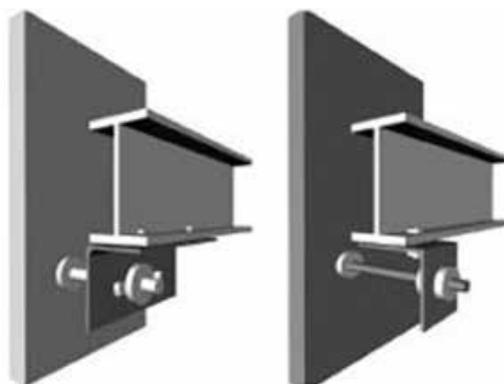


Figura 4.24 – Perspectiva das fixações flexíveis de apoio lateral. Este tipo de detalhe serve apenas como apoio para travamento e transferência de carga horizontal. (ARNOLD, 2009)

Em resumo, no intuito de evitar a ocorrência de problemas quanto à estabilidade estrutural, deve-se considerar os seguintes critérios:

- posicionamento de todas as fixações de apoio vertical localizadas no mesmo nível;
- transferência de cargas verticais de maneira integral para a estrutura, de modo que nenhuma parcela seja transmitida aos painéis adjacentes; e

- fixações de apoio lateral aparafusadas para acomodar deformações do painel, da estrutura e as tolerâncias de montagem.

A Figura 4.25 mostra como é feita a fixação dos painéis no caso em que ele não vence a altura de piso a piso. Pode-se observar que o painel se apoia na viga do pavimento superior e há uma fixação flexível na parte inferior da mesma viga.

A Figura 4.26, por sua vez, apresenta uma configuração menos usual para a fixação no pavimento tipo, onde o painel tem seu peso próprio suportado não pela viga do pavimento superior, mas pela do próprio pavimento. A fixação flexível é realizada com a viga do pavimento superior, mas caso ela falhe, existe o risco do painel se desestabilizar e girar.

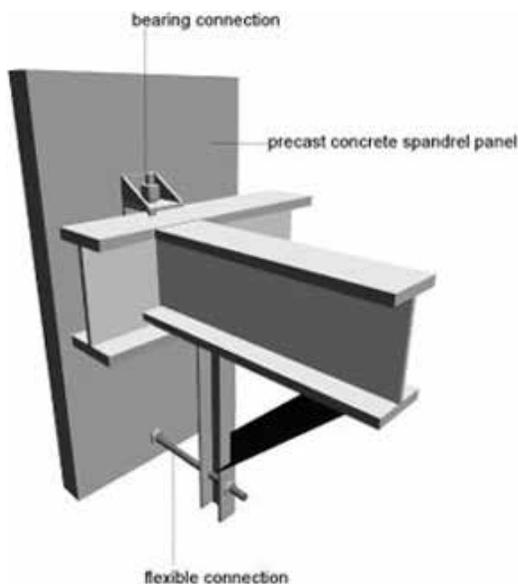


Figura 4.25 – Perspectiva de um esquema de fixação quando o painel não vai de piso a piso. (ARNOLD, 2009)

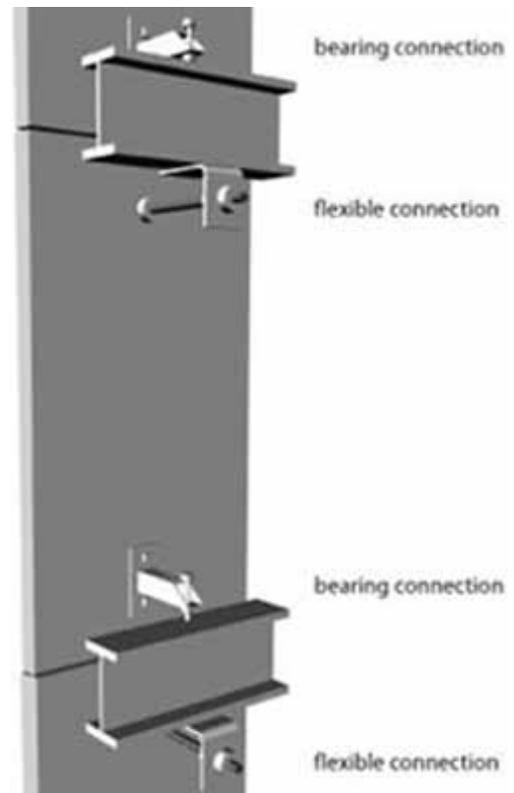


Figura 4.26 – Neste arranjo, a fixação flexível ocorre na viga do pavimento superior deixando a panel sujeito a instabilidade de caso ela falhe. (ARNOLD, 2009)

4.3.3 - Juntas

A estanqueidade do sistema de vedação é função do tipo de junta utilizada, podendo esta ser classificada como aberta ou selada, conforme descrito na seção 2.5.

Um princípio fundamental para o dimensionamento das juntas e a especificação do material de preenchimento, no caso das juntas seladas, reside no fato de que estas não devem proporcionar uma monolitização do sistema, de modo que as movimentações tanto dos painéis quanto da estrutura sejam acomodadas e não gerem tensões adicionais nos painéis.

No que diz respeito às juntas seladas, a escolha da forma dos painéis tem influência sobre a facilidade de preenchimento, de modo que elas são mais facilmente preenchidas quando estão localizadas nas extremidades, tanto em relação à espessura quanto ao comprimento, do painel. Além disso, juntas no meio

da abertura de vãos e sobre superfícies inclinadas devem ser evitadas, pois isso prejudica seu preenchimento. No caso das juntas abertas, a Figura 4.27 permite visualizar um detalhe que prevê um dispositivo de drenagem nas juntas verticais, permitindo denominá-las juntas de drenagem.

A drenagem nas juntas é fundamental para conferir estanqueidade ao sistema e preservar a estética requerida.

A eficácia desse tipo de junta se deve à existência de sulcos verticais, nos quais são colocadas faixas de neoprene, que funcionam como barreira estanque à água. Já no encontro das juntas horizontais e verticais, pode existir uma membrana impermeável que auxilia na garantia da estanqueidade (OLIVEIRA, 2002).

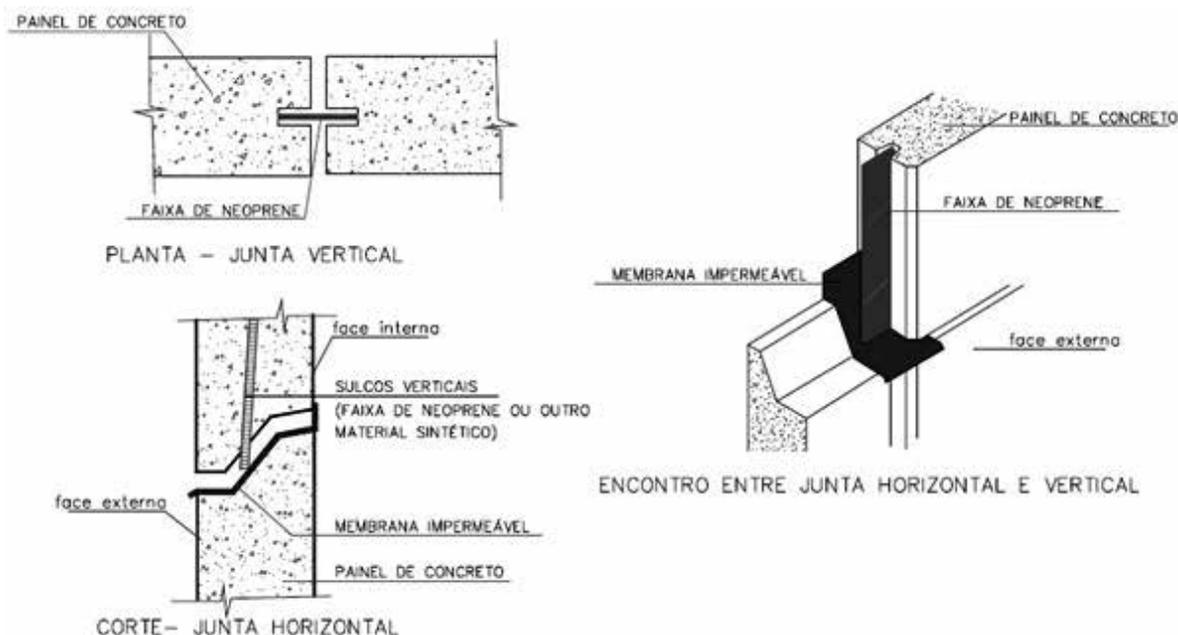


Figura 4.27 – Detalhe de junta de drenagem e membrana estanques utilizadas nas juntas horizontais. (OLIVEIRA, 2002)

Capítulo 5

Sistemas de vedação de
fachada com vidro - FDV

5.1. Contextualização e aplicações

5.1.1 - Sistemas de vedação de fachada com vidro e sua utilização

O vidro tem ocupado lugar de destaque na arquitetura contemporânea, sobretudo nos edifícios comerciais, onde recorrentemente são utilizados para compor as fachadas.

As fachadas com vidro foram inicialmente utilizadas no início do século XX. O edifício Hallidie do arquiteto Willis Polk, localizado em São Francisco, Califórnia, data de 1918 e é reconhecido como o primeiro a fazer uso de uma solução desse tipo.



Figura 5.1 – Hallidie Building do arquiteto Willis Polk. (GREAT BUILDINGS, 2013)

Além da motivação de caráter estético, o emprego cada vez mais difundido do vidro é fruto de uma antiga preocupação: o acesso ao sol e à luz natural. Tal preocupação passou a ser tratada cientificamente a partir da primeira metade do século XX, quando passou a ser associada a questões de sustentabilidade urbana e aproveitamento eficiente dos recursos naturais (BRANDÃO, 2004).

O uso do vidro objetivando melhor iluminação de ambientes com menor transmissão de calor entre ambiente interno e externo da edificação passou a ser um desafio.

Os sistemas para vedação de fachada que fazem uso do vidro evoluíram bastante ao

longo dos anos com ganhos em velocidade de instalação, qualidade dos componentes e, do ponto de vista estético, com a diminuição da exposição da subestrutura metálica.



Figura 5.2 – Hospital Albert Einstein, em São Paulo. (MEDEIROS, 2009)

Hoje é possível contar com soluções eficientes para controle solar, diminuindo a transmissão de calor para o interior da edificação sem prejudicar a iluminação dos ambientes. Também é possível beneficiar e compor lâminas de vidro de modo a obter vidros de segurança, decorativos, resistentes ao fogo, autolimpantes, com os mais variados níveis de desempenho.

O objetivo desse capítulo é apresentar as soluções disponíveis atualmente no mercado, as expectativas de desenvolvimento e como esses sistemas podem ser aproveitados para compor edificações que fazem uso de estruturas em aço.

5.1.2 - Tipologia de sistemas

Ao longo dos anos, as tecnologias de fachada-cortina que fazem uso do vidro evoluíram principalmente no que diz respeito à forma de montagem do sistema e fixação do vidro, conforme comentado a seguir.

Fachada Cortina Convencional

Foi o primeiro sistema disponível dentre as chamadas “fachadas cortina de vidro”. Este tipo é montado através de um método conhecido como *stick*, onde componentes individuais como colunas, travessas, vidros e outros componentes são enviados separados ao local de aplicação e instalados separadamente com auxílio de equipamento de acesso externo como andaimes (KHOURY, 2002).

Primeiramente são instaladas ancoragens na estrutura principal do edifício, para em seguida fixar as colunas e travessas que receberão quadros de alumínio com vidros encaixilhados também fixados mecanicamente através de ganchos não reguláveis. A vedação do sistema é proporcionada por gaxetas de EPDM (Borracha de Etileno-Propileno-Dieno).

A principal característica desse sistema é o fato da coluna de sustentação da subestrutura ficar exposta do lado externo da edificação, marcando verticalmente a fachada, algo muitas vezes indesejável por parte dos arquitetos (NAKAMURA, 2008).

Pele de Vidro

O anseio por fachadas mais neutras sem elementos que evidenciassem tanto a verticalidade como a horizontalidade da vedação motivou o desenvolvimento da pele de vidro. Este sistema também é montado pelo método *stick*, com a diferença de que agora as colunas de sustentação ficam voltadas para o interior do edifício, minimizando a área visível de alumínio na face externa, motivo pelo qual o sistema foi nomeado como pele de vidro (NAKAMURA, 2008). O vidro continua sendo encaixilhado e os quadros fixados mecanicamente com parafusos e presilhas. Os perfis de alumínio que sustentam os vidros são mais esbeltos do que os utilizados nas fachadas cortinas convencionais.

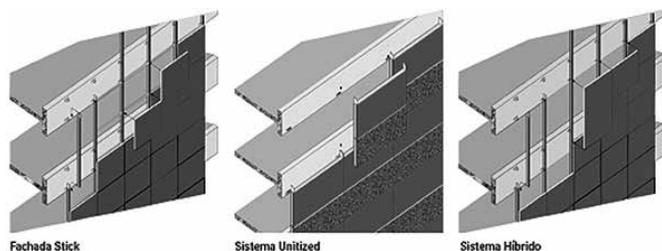


Figura 5.3 – Sistemas de fachada de vidro dos tipos *stick*, unitizado e híbrido. (ROSSO, 2007).

Structural Glazing

Com a intenção de eliminar por completo a interferência visual dos perfis de alumínio, foi desenvolvido o sistema conhecido por *structural glazing* onde os vidros passam a ser fixados pela face externa das esquadrias com silicone estrutural ou fita adesiva estrutural dupla face.



Figura 5.4 – Complexo WTJK, em São Paulo. Uso do sistema *structural glazing* para fachada das torres. (GELINSKI, 2013b)

Faz-se necessário o dimensionamento da profundidade e altura do silicone. Assim como os dispositivos de fixação mecânica utilizados nos sistemas comentados anteriormente, o silicone deve suportar o peso próprio do vidro e todas as demais cargas atuantes na fachada como esforços de vento (NAKAMURA, 2008).

Sistemas de vedação de fachada com vidro - FDV

No *structural glazing* as colunas e travessas ainda são contínuas e fixadas manualmente à estrutura em etapas distintas e com auxílio de andaimes.



Figura 5.5 – Ancoragens, colunas e travessas instaladas. (FINESTRA, 2013a)

A Figura 5.6 mostra detalhes do sistema de fachada do Complexo WTJK com vidros insulados com dupla camada de laminados.

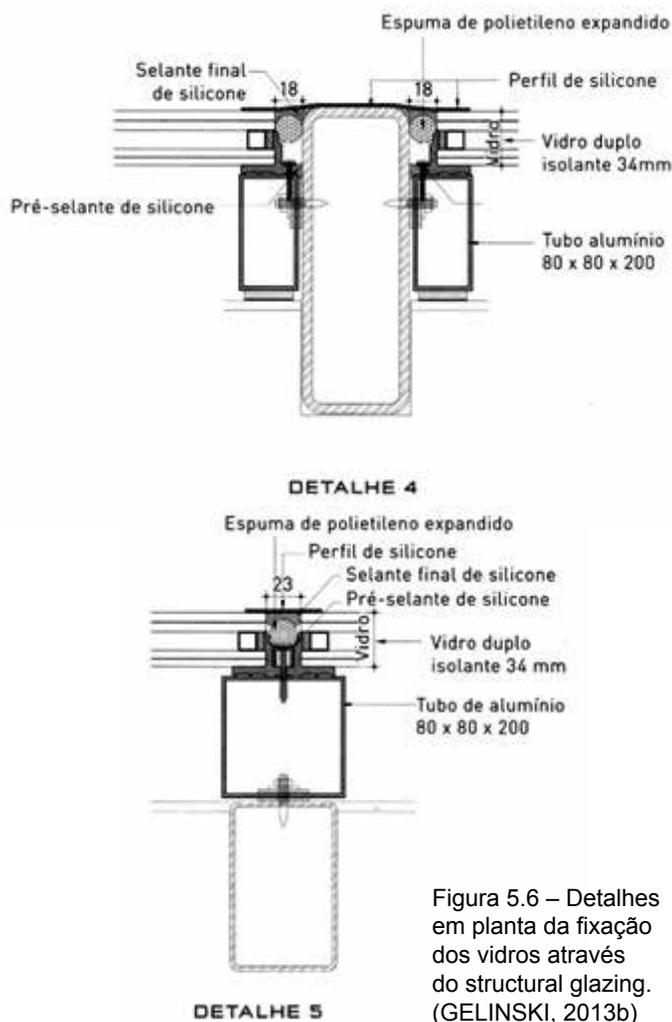


Figura 5.6 – Detalhes em planta da fixação dos vidros através do structural glazing. (GELINSKI, 2013b)

Sistema Unitizado

Neste tipo a fachada é montada através da instalação de módulos pré-fabricados com perfis de alumínio com encaixe macho e fêmea. Além do vidro, podem ser utilizados como materiais de fechamento o granito, porcelanato, alumínio composto (ACM) e outros, com função estética e de sombreamento. Normalmente os vidros são fixados com silicone estrutural ou com fita dupla face estrutural, como no sistema *Structural Glazing*, mas também podem ser encaixilhados.



Figura 5.7 – Complexo Morumbi Corporate, em São Paulo. Estrutura mista em aço e concreto com fachada de vidro unitizada. (MEDEIROS, 2013)

O sistema unitizado é composto pelos seguintes tipos de materiais: perfis estruturais de alumínio, chumbadores e ancoragens, parafusos para as esquadrias, gaxetas, mantas de borracha e fitas isolantes, selantes e vidros ou outro acabamento a ser definido em projeto.

Os módulos são montados previamente na fábrica ou na obra, permitindo o controle da

produção dos componentes fora do seu local de instalação, reduzindo não apenas os danos aos mesmos, mas também as perdas na aplicação do silicone estrutural.

Os módulos são içados e posicionados um a um no vão de determinado pavimento sobre ancoragens reguláveis previamente posicionadas na estrutura. Estas ancoragens são posicionadas ao longo do perímetro do edifício, usualmente sobre as lajes.



Figura 5.8 – Aspecto das ancoragens previamente fixadas na laje de concreto armado. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

posição em uma ou duas direções, dependendo do mecanismo concebido. O nivelamento do módulo é feito através de parafusos de regulagem.

São basicamente três as opções de manuseio dos módulos em obra, com auxílio de guindaste ou grua:

1. Içamento e instalação diretamente dos caminhões de entrega dos módulos;
2. Estocagem em área protegida para posterior içamento e instalação;
3. Içamento e estocagem no pavimento em que será instalado. Posterior instalação com auxílio de minigrua posicionada no pavimento superior.

Em condições normais, é possível instalar em média 25 módulos por dia, considerando uma área unitária de aproximadamente 4,37 m² por módulo. Uma fachada de 8.000 m², portanto, seria finalizada em cerca de 70 dias úteis, desconsiderados imprevistos como intempéries ou sobreposição de etapas (SILVA, 2011).

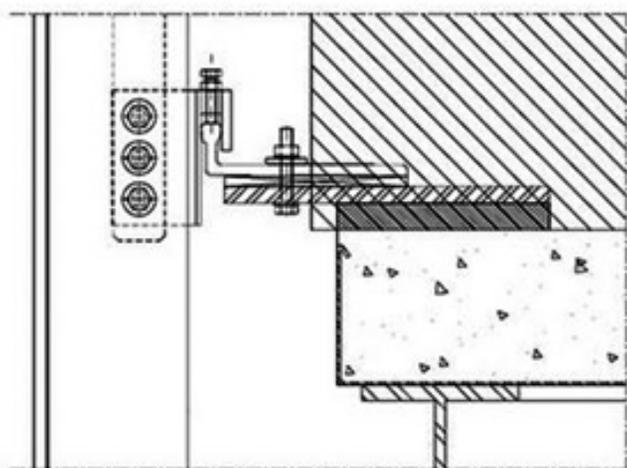


Figura 5.9 – Viabilidade de uso do sistema Unitizado em edificações com estruturas metálicas e laje de concreto. (GELINSKI, 2013a)

O posicionamento das ancoragens define a posição de instalação dos módulos e o prumo da fachada. Após a instalação, furos oblongos nestes elementos permitem o ajuste fino da



Figura 5.10 – Içamento e instalação de módulo de fachada unitizada. (PATTERSON, 2011)

Sistemas de vedação de fachada com vidro - FDV

Todo o processo é realizado sem necessidade do andaime suspenso. As operações de chegada e manuseio dos módulos são feitas pelo lado interno da obra, com a equipe de obra apoiada no piso.

Usualmente os módulos são fabricados com a dimensão da altura suficiente para vencer o pé-direito de um pavimento. Nas fachadas *stick*, *pele de vidro* e *structural glazing* faz-se uso de uma estrutura suporte composta por colunas e travessas. No sistema unitizado os módulos são quadros fechados com as travessas e colunas já incorporadas. As colunas são desmembradas em macho e fêmea, os quadros ficam encaixados uns aos outros na direção vertical garantindo a continuidade da estrutura.



Figura 5.11 – Módulo em sua posição final. Destaque para a extensão das colunas para fixação do módulo superior. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Além de ser montado em um menor número de etapas o sistema unitizado pode ser instalado à medida em que a estrutura do edifício é executada como mostra a Figura 5.12.

O sistema unitizado é indicado para obras com grandes volumes de painéis, de modo que a redução da mão-de-obra e os altos índices

de produtividade compensem o custo que representam os equipamentos de movimentação e infraestrutura necessários a esse método.



Figura 5.12 – Edifício The Shard cuja estrutura mista em aço e concreto foi envelopada com painéis de um sistema unitizado para fachadas. (FINESTRA, 2013)

Por estas razões este sistema tem sido rapidamente incorporado ao repertório de soluções para arquitetura comercial e institucional nos últimos anos (NAKAMURA, 2008). A primeira obra executada no Brasil foi o edifício sede do BankBoston, em São Paulo, em 2001, mostrado na Figura 5.13.



Figura 5.13 – Edifício BankBoston, em São Paulo. (Acervo Inovatec Consultores)

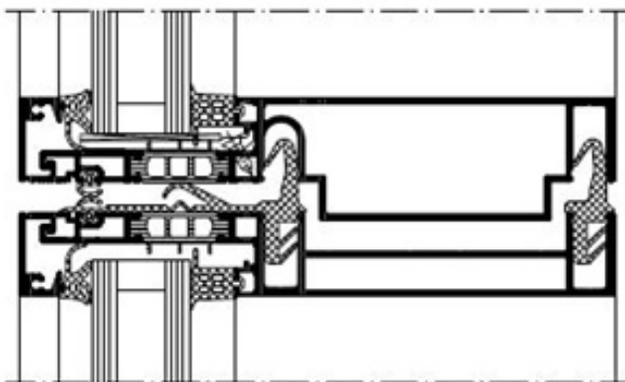
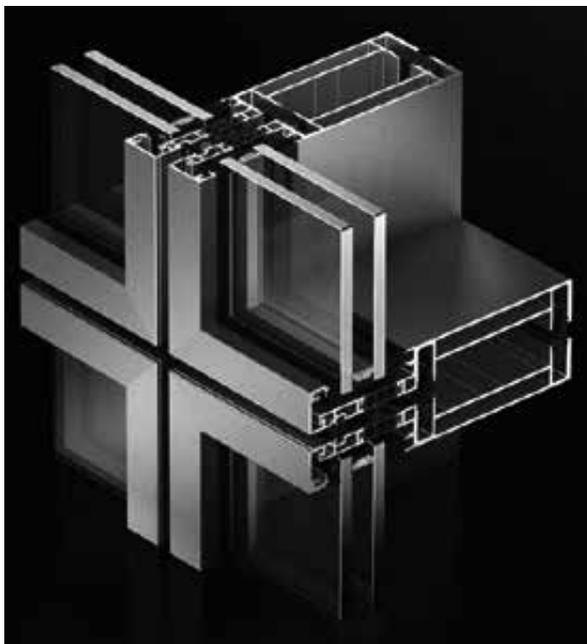


Figura 5.14 – *Mockup* de um módulo do sistema unitizado e seu detalhamento em planta. (SCHÜCO, 2010)

Spider Glass

O *Spider Glass* é um sistema de vedação de fachada que permite fixar o vidro à estrutura através de componentes especiais em aço inoxidável. Tem grande apelo estético por promover maior transparência quando comparado aos outros sistemas.

Nesse sistema, que dispensa caixilhos e silicone estrutural, os vidros são presos pontualmente por peças articuladas fixadas a uma estrutura portante metálica. Os componentes de fixação são compostos por braços e parafusos rotulares ou fixos, sendo possível encontrar no mercado dispositivos de fixação

de linha ou empresas que ofereçam soluções customizadas em função das necessidades de projeto (PATTERSON, 2011).

As rótulas podem ser em aço inoxidável ou alumínio e são fabricadas à prova de vandalismo, impedindo a remoção ou desmontagem do sistema pelo lado de fora.



Figura 5.15 – San Jose Civic Center. Fachada com sistema *Spider Glass* para fixação de vidros. (PATTERSON, 2011)

Os vidros precisam ser perfurados para a acoplagem aos sistemas de fixação. Como são utilizados vidros de segurança (laminados ou temperados), todo o processo de furação é realizado antes do beneficiamento do vidro *float* (para melhor entendimento sugere-se a leitura do item 1.3 Tipos de Vidros).



Figura 5.16 – Dispositivo de fixação do sistema *spider glass*. Neste tipo o vidro já é considerado um elemento estrutural da solução. (PORTAL METÁLICA, 2013b)



Figura 5.17 – Estrutura e fixação utilizada no sistema de fachada tipo *Spider Glass*. (PATTERSON, 2011)

No Brasil o *spyder glass* tem sido normalmente utilizadas em aplicações mais pontuais, cobrindo uma área relativamente pequena da fachada. É bastante comum sua utilização em vitrines de lojas e lobbys de entrada.



Figura 5.18 – Fachada em *spyder glass* de uma concessionária de automóvel. (SILVA, 2008)

Uma variação do sistema de fixação de vidros, conhecida como *point-fixed clamped* (vidro grampeado pontualmente) elimina a necessidade de perfuração dos vidros, com certa redução de custo. Esteticamente, o sistema original apresenta uma superfície de vidro ininterrupta, enquanto o *point-fixed clamped* expõem parte do componente de fixação.



Figura 5.19 – Edifício da Loyola University, em Chicago. Fachada com sistema de fixação para vidros tipo *point-fixed-clamped*. (PATTERSON, 2011)

Outras tecnologias

Os sistemas para fachadas que fazem uso do vidro continuam evoluindo, com soluções cada vez mais customizadas para cada projeto e orientadas principalmente pela busca da transparência e pelo uso de estruturas elegantes e minimalistas.

Essas novas tecnologias têm evoluído em aplicações ao longo dos anos e podem ser classificadas em função dos vários sistemas estruturais utilizados como suporte. Novas soluções para fixação dos vidros também fazem parte dessa evolução tecnológica, sendo comumente utilizados os vários tipos de fixação pontual como os do sistema *Spider Glass* (PATTERSON, 2011).

Dentre os sistemas estruturais atualmente utilizados é possível citar as treliças metálicas, treliças com cabos, rede de cabos, *grid shells* e sistemas que fazem uso do próprio vidro como estrutura. A integração entre vidro e estrutura suporte tem sido a essência de edifícios contemporâneos de grande expressão (PATTERSON, 2011).



Figura 5.20 – Complexo L.A. Live Tower & Residences, em Los Angeles. Sistema de fachada com estrutura suporte treliçada. (PATTERSON, 2011)



Figura 5.21 – Centro de convenções Jacob Javits, em Nova Iorque. (PATTERSON, 2011)

5.1.3 -Tipos de vidros

“O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência e a dureza.” (CEBRACE, 2013).

Na construção civil, quando utilizado em sistemas de vedação de fachada, o vidro desempenha um papel importante no controle das variáveis climáticas, devendo contribuir para o conforto dos usuários e eficiência energética da edificação.

Ao longo dos anos, esforços foram concentrados para o desenvolvimento tecnológico deste material, sendo possível contar hoje em dia com vidros que promovam melhor desem-

penho estrutural, térmico e acústico, sem que o desempenho lumínico seja prejudicado.

A NBR 7.199 estabelece que para até 1,10 m de altura da fachada de um determinado pavimento devem ser utilizados vidros de segurança, visando à integridade física dos usuários dos edifícios e dos transeuntes externos. São esses os vidros temperados, laminados e aramados, apresentados ainda neste capítulo do manual.

É importante frisar que existem duas formas de se beneficiar vidros. A primeira se dá por promover um tratamento para o vidro plano, produto inicial do processo de fabricação.

Outra forma é por compor lâminas de vidro, que receberam tratamento ou não, de uma forma conveniente, fazendo uso de outros componentes. Tal conceito ficará mais claro com a apresentação dos tipos de vidro disponíveis no mercado, mas antes também se faz importante a definição e alguns termos com base em GLASSEC (2013):

- Coeficiente de sombra: é a razão entre o ganho de calor solar quando transmitido através de um tipo específico de vidro e o ganho de calor solar através de uma lâmina de 3 mm de vidro incolor, sob condições idênticas. Quando o coeficiente de sombra diminui, o ganho de calor também é reduzido, o que representa um melhor desempenho do produto.
- Espectro Solar: o espectro solar, comumente chamado de luz solar, consiste de luz visível, de luz infravermelha (IV) e de luz ultravioleta (UV). A distribuição de energia no interior do espectro solar é de aproximadamente 2% de UV, 47% de luz visível e 51% de IV.

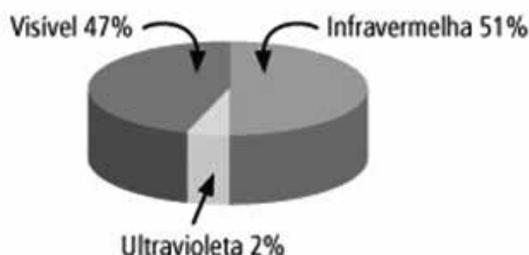


Figura 5.22 – Configuração do espectro solar (GLASSEC, 2013)

A luz visível, como o próprio nome indica, é a única parte do espectro solar visível a olho nu.

A luz IV também é invisível a olho nu. Esta produz uma sensação de calor penetrante. Suas ondas curtas se convertem em calor quando absorvidas por um objeto.

A parcela referente a luz UV é invisível a olho nu e os danos causados pela exposição a esta, a longo prazo, incluem o desbotamento de tecidos e a deterioração de plásticos.

- Energia Solar: quando a energia solar incide em um vidro, partes dela são refletidas, partes são absorvidas e outras partes são transmitidas como ilustra a Figura 5.23.

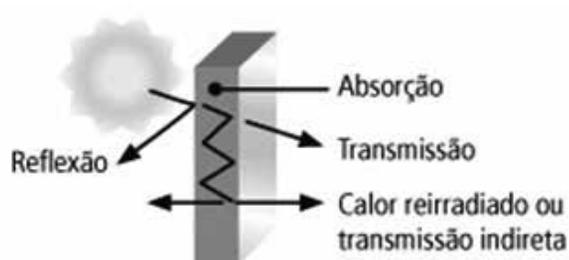


Figura 5.23 – Esquema representativo na energia solar incidente em uma lâmina de vidro (GLASSEC, 2013)

Para uma única lâmina de vidro incolor com 3 mm de espessura, 83% da energia solar é transmitida, 8% é refletida e 9% é absorvida pelo vidro. Desse percentual de energia solar absorvida, uma parte é emitida de volta para o exterior e a outra parte, para o interior do edifício.

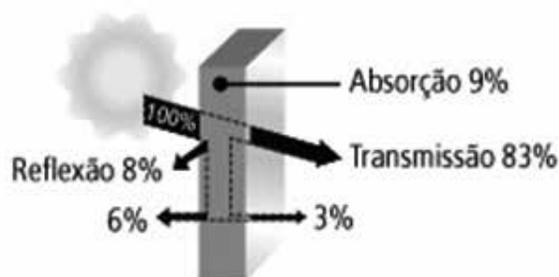


Figura 5.24 – Comportamento incidente de vidro incolor de 3 mm frente à energia solar. (GLASSEC, 2013)

- Reflexão de Energia (RE): é a parcela de energia solar refletida pela superfície do vidro.
- Reflexão Luminosa (RL): é a parcela de luz refletida pela superfície do vidro.
- Transmissão Luminosa (TL): é a parcela de luz visível transmitida através do vidro.
- Fator Solar — FS: é a parcela da energia solar diretamente transmitida e absorvida que penetra no ambiente através do vidro. Quanto maior o FS, maior o ganho de calor.
- Índice de Seletividade (IS): é a razão da transmissão luminosa dividida pelo fator solar. Segundo as especificações do Departamento de Energia dos Estados Unidos, o vidro precisa ter IS igual ou superior a 1,25 para ser considerado um “vidro verde”, ou de espectro seletivo. Tal conceito é conhecido como LSG (*Light to Solar Gain Ratio*).
- Métodos de Transferência de Calor: o calor é transferido de um ponto a outro através de convecção, de condução ou de radiação. A convecção ocorre como consequência de um movimento ascendente de correntes quentes e leves de ar. A condução ocorre quando a energia passa de um objeto a outro. A radiação ocorre quando o calor é enviado através

do espaço e consegue chegar a um objeto distante, de onde pode ser refletido, absorvido ou transmitido.

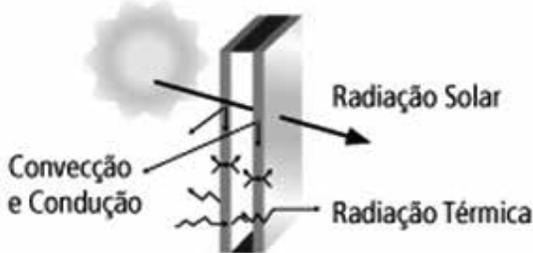


Figura 5.25 – Métodos de transferência de calor. (GLASSEC, 2013)

Vidro Monolítico / Plano

O vidro monolítico pode ser tido como o vidro básico ou comum. É o produto inicial da fabricação do vidro e constitui a matéria-prima para a obtenção dos outros tipos de vidro através de diferentes processos de beneficiamento. Trata-se de um vidro transparente, incolor ou colorido.

“Existem diferentes tipos de vidros planos, mas o mais utilizado na construção civil é do tipo *float* que leva esse nome porque é obtido pelo processo de “flutuação”. Composto de sílica, potássio, alumina, sódio, magnésio e cálcio, o vidro é fundido e derramado num tanque com estanho liquefeito, onde flutua e se espalha uniformemente” (GLASSEC, 2013).



Figura 5.26 – Linha de fabricação de vidros planos (PV PRODUCTION, 2013)

A espessura do vidro é definida em função da velocidade com que avança para o processo de resfriamento. No Brasil, as espessuras podem variar de 2 mm a 19 mm.

A seguir serão apresentados outros tipos de vidros, obtidos a partir do beneficiamento do vidro plano.

Vidros Termo endurecido e Temperado

São vidros tratados termicamente com o objetivo de melhorar as propriedades do vidro plano (*float*) como a resistência mecânica e a variações térmicas.

Ambos os tipos de vidro, termo endurecido e temperado, recebem um tratamento por calor num ciclo de aquecimento em forno de têmpera seguido de um resfriamento brusco. O vidro é então modificado fisicamente, o processo de resfriamento cria um estado de alta compressão superficial, enquanto o núcleo da peça exerce uma tensão de tração compensadora (GLASSEC, 2013). A Figura 5.27 ilustra esta configuração.

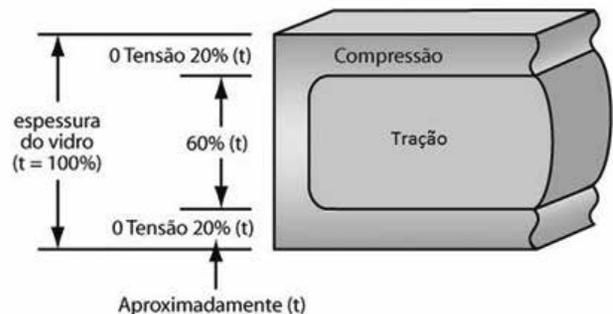


Figura 5.27 – Configuração de tensões do vidro após tratamento com calor. (GUARDIAN, 2013)

Devido ao estado de tensões impostas, não podem ser cortados ou perfurados após o tratamento (GUARDIAN, 2013).

Diferenças no tratamento por calor promovem diferentes propriedades de resistência mecânica aos tipos de vidro em questão. Para uma mesma configuração dimensional, os vidros termo endurecidos (também conhecidos por semi-temperados) são duas vezes mais resistentes que o vidro monolítico. Apesar desse ganho em resistência, não atendem aos

requisitos para envidraçamento de segurança, conforme as especificações das normas NBR 7199 e NBR 11706 e não devem ser utilizados para este tipo de aplicação (GLASSEC, 2013).

Os vidros temperados, por sua vez, são tidos como vidros de segurança e atendem aos requisitos especificados nas normas NBR 7199, NBR 11706 e NBR 14698.

Vidros temperados são cinco vezes mais resistentes que os vidros monolíticos e duas vezes e meia mais resistentes que vidros termo endurecidos (para uma mesma configuração dimensional). Em caso de ruptura, o vidro temperado se quebrará em pedaços relativamente pequenos e arredondados, reduzindo as chances de ferimentos e facilitando sua soltura dos caixilhos (GLASSEC, 2013).

Vidro Refletivo

Faz parte do grupo de vidros de controle solar ou vidros metalizados pois recebe um tratamento com óxidos metálicos numa de suas faces. A diferença básica entre o vidro refletivo e o vidro de baixa-emissividade está na forma com que se comportam frente a incidência dos raios solares, no que diz respeito ao nível de reflexão, absorção ou transmissão do calor e da parcela de luz visível.



Figura 5.28 – Aspecto da fachada quando utilizados vidros refletivos. (DNA VIDROS, 2013)

De modo geral, revestimentos para controle solar reduzem os ganhos de calor através de um alto nível de reflexão e de absorção. No caso dos vidros refletivos, a parcela da reflexão de luz visível tende a ser maior que a dos vidros baixo-emissivos, fazendo com que o vidro pareça um espelho. A transmissão de calor para o interior é reduzida consideravelmente o que permite a redução do consumo de energia elétrica com ar condicionado. Mas, em contrapartida, a transmissão de luz através do vidro é menos intensa (GLASSEC, 2013).

Vidro de Baixa-emissividade (*Low-e*)

A reflexão seletiva do vidro de baixa-emissividade (*low-e*) é mais eficiente, pois permite a passagem da luz visível aumentando a transmissão luminosa e, por outro lado, reflete eficientemente a radiação infravermelha de ondas longas, reduzindo a transmissão de calor para o interior do ambiente sem criar o “efeito espelho” (GLASSEC, 2013). Sua refletividade externa fica entre 8% e 10% e sua transmissão luminosa, entre 70% e 80% (ABRAVIDRO, 2013).

Dessa forma, o vidro de baixa-emissividade permite não só a redução do consumo de energia elétrica com ar condicionado, mas também da parcela destinada à iluminação artificial.

Vidro Serigrafado

São vidros com grande apelo decorativo que permitem criar um estilo diferenciado através de cores e desenhos variados.

O processo de serigrafia consiste na aplicação de uma tinta vitrificante (esmalte cerâmico) na face do vidro plano comum, incolor ou colorido na massa. Em seguida esse vidro passa por um forno de têmpera para fixação dos pigmentos cerâmicos. Ao final do processo, obtém-se um vidro temperado com textura extremamente resistente, inclusive ao atrito com metais pontiagudos (CEBRACE, 2013).

Os vidros serigrafados são amplamente utilizados em coberturas e fachadas, especialmente em frente a vigas – o chamado *sprandel glass*. O branco foi a cor predominante em aplicações decorativas durante muito tempo, mas hoje os esmaltes cerâmicos coloridos vêm sendo muito utilizados para conferir uma aparência mais sofisticada aos edifícios (GLASSEC, 2013).



Figura 5.29 – Vidros serigrafados coloridos. (ABRAVIDRO, 2013)

Outros tipos de vidro com maior apelo estético e decorativo são os vidros pintados a frio e os vidros impressos.

Vidro Aramado

Assim como o vidro temperado, o vidro aramado também é considerado vidro de segurança. Por possuir uma tela metálica incorporada durante o processo de fabricação, quando rompido os fragmentos permanecem presos a esta, mantendo a área “fechada” e intransponível até a reposição do vidro. Além disso, este tipo de vidro possui bom desempenho quanto a resistência ao fogo, protegendo o ambiente da passagem de chamas e fumaça por mais tempo (ABRAVIDRO, 2013).

Vidro Laminado

O vidro laminado também compõe o grupo dos vidros de segurança. Trata-se de uma

composição de duas ou mais lâminas de vidro unidas por uma película de intercalamento de polivinil butiral (PVB) por meio de calor e pressão, ou intercalamento com resina. A espessura das lâminas pode ser igual ou assimétrica. Vidros laminados são produtos duráveis e de alto desempenho, projetados para não se estilhaçarem caso sejam danificados (GLASSEC, 2013).

Como os vidros estão colados à película de PVB, quando rompido os fragmentos permanecem aderidos a esta, mantendo o vedado do ambiente até a reposição do vidro. Por este motivo são utilizados como vidros de segurança e antivandalismo (CEBRACE, 2013). Os blindados são exemplos de vidros laminados com múltiplas lâminas.



Figura 5.30 – Vidro laminado. (VIDROFORT, 2013)

Os vidros laminados podem ser fabricados com uma infinidade de cores. Estas variam de acordo com a combinação das cores dos vidros, o número de películas de PVB e as cores dessas películas ou resinas (ABRAVIDRO, 2103).

Os vidros laminados podem ser produzidos com o uso de vidros termo endurecidos, temperados ou aramados, promovendo uma maior resistência a impactos (GUARDIAN, 2013).

“Além disso, o vidro laminado possui outros benefícios, como a redução da entrada de ruídos externos (quando comparado aos vidros comuns) e a proteção contra os raios UV (Ultravioleta), pois o PVB barra 99,6% dos raios solares UV (Ultravioleta), protegendo as

peças dos danos causados por esse tipo de raio, evitando o desbotamento e envelhecimento dos móveis, cortinas, tapetes e outros objetos” (CEBRACE, 2013).

Vidro Insulado

Os vidros insulados são conhecidos como vidros duplos, pois são compostos por pelo menos duas lâminas de vidro – comum, temperado ou laminado – separadas por um perfil de alumínio, preservando uma câmara de ar vedada por dupla selagem.

A cavidade entre lâminas também pode ser preenchida com gás argônio possibilitando um considerável ganho no isolamento acústico, além de apresentar um bom desempenho térmico (GLASSEC, 2013).

O perfil separador de alumínio é fabricado com um material dessecante em seu interior que tem a função de impedir a formação de vapor entre as lâminas de vidro, garantindo que este não embace. O vidro insulado ainda permite que na câmara de ar preservada entre as lâminas de vidro seja instalada uma persiana.

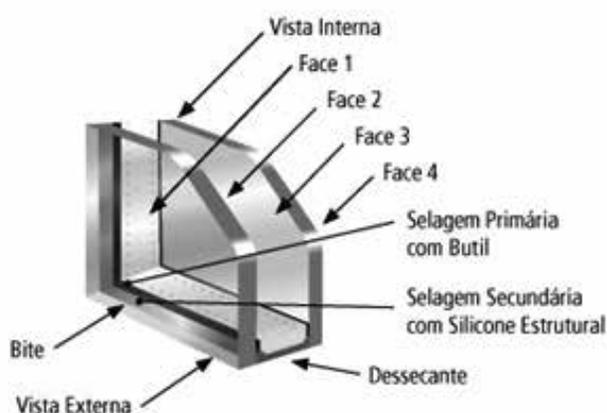


Figura 5.31 – Vidro insulado. (GLASSEC, 2013)

Os vidros insulados podem ser produzidos com uso de diferentes tipos de vidros. Por exemplo, para maior segurança pode-se utilizar vidros termo endurecidos, temperados ou laminados. Para reduzir a transmissão de calor sem afetar a transmissão de luz, pode-se utilizar um vidro refletivo ou baixo emissivo (*low-e*) (GLASSEC, 2013).

Vidro resistente ao fogo

Os vidros resistentes ao fogo, sem malha metálica (vidro aramado), são vidros laminados compostos por várias lâminas intercaladas com material químico transparente, como o gel intumescente, que se funde e dilata em caso de incêndio. Ou seja, no momento em que o vidro recebe calor procedente do fogo e a temperatura eleva-se, o processo de intumescência é ativado, criando uma barreira opaca ao fogo. Esse processo também pode ser ativado por um excesso de temperatura ou de raios ultravioleta derivados da radiação solar. Durante um incêndio, o gel é capaz de absorver a radiação térmica, detendo a pressão do incêndio e mantendo constante a temperatura sobre a face do vidro, oposta ao fogo (ABRAVIDRO, 2013).

Quanto maior a espessura das lâminas utilizadas na composição do produto, mais tempo ele resistirá às pressões térmicas e à passagem das chamas (GLASSEC, 2013).

Vidro Auto Limpante

O vidro auto limpante é produzido a partir de um vidro plano que recebe uma camada de dióxido de titânio (TiO_2) ainda durante seu processo de fabricação e, por estar integrado ao próprio vidro, permite um alto nível de durabilidade (GLASSEC, 2013). O dióxido de titânio baixa a tensão superficial do vidro, tornando-a hidrofílica e fazendo com que a água forme um fino filme que lava a sujeira. O resultado é um efeito “auto limpante” no qual a própria água da chuva incidente na fachada torna-se eficaz e colabora para a limpeza do vidro.

Isso não só reduz consideravelmente os custos com manutenção, por estender o prazo de lavagem da fachada, como contribui para a proteção ambiental e a conservação da estética da edificação.

Outro efeito promovido pela incorporação do dióxido de titânio ao vidro é a decomposição de microorganismos como algas, bactérias, fungos, musgos ou germes, através do efeito da fotocatalise. A luz do sol reflete sobre a superfície do vidro

e o oxigênio da atmosfera é ativado, decompondo tais microorganismos.

5.1.4 - Onde e por quê utilizar os sistemas de fachada com vidro

No Brasil, sistemas de fachada com vidro são frequentemente utilizados na composição das fachadas de edifícios comerciais, shopping centers e hospitais, principalmente pelos prazos reduzidos para execução desse tipo de empreendimento e pela estética que proporcionam.

No entanto, com a evolução dos sistemas e com o desenvolvimento tecnológico dos vidros, vislumbra-se a expansão de seu uso em empreendimentos onde normalmente não eram especificados. Na Europa, sistemas unitizados que permitem a abertura de janelas têm ganhado força inclusive para edificações habitacionais (Figura 5.32).

Os custos de implantação desse tipo de sistema ainda representam um entrave a essa expansão, mas é provável que, no curto prazo, ganhem espaço em edificações habitacionais de alto padrão.



Figura 5.32 – Sistema de fachada unitizado que permite a abertura de janelas. (SCHÜCO, 2013)

5.1.5 - Relação custo-benefício

No Anexo A do presente manual é dispo-

nibilizada uma tabela comparativa entre as diferentes tecnologias abordadas. A comparação trata dos fatores impactantes nos custos dos sistemas (a descrição de cada fator também é feita no anexo).

A seguir, é feita uma análise mais detalhada dos fatores considerados sob a ótica dos sistemas de fachada com vidro montados pelo método *Stick* ou Unitizado.

- Impacto na logística da obra: no sistema unitizado tem-se a vantagem dos módulos chegarem prontos e serem rapidamente instalados, sendo necessário equipamentos de grande porte para seu içamento. No método *stick* o tempo de execução da fachada é maior, sendo necessários ciclos de subida e descida de equipamentos de acesso à fachada para sua conclusão;

- Necessidade de equipamento: como no método *stick* o sistema é desmembrado em ancoragens, perfis e quadros de vidros, os equipamentos utilizados são de menor porte. Para execução do sistema unitizado, faz-se necessário o uso de um guindaste ou grua para içamento dos módulos;

- Nível de pré-montagem: o sistema unitizado possui um alto nível de pré-montagem, com os módulos entregues na obra prontos para instalação sobre as ancoragens, sendo necessário somente o preenchimento das juntas entre módulos. O método de instalação *stick* não leva essa vantagem, pois os componentes são desmembrados e instalados separadamente;

- Velocidade de montagem: o fato dos módulos chegarem prontos para instalação torna o sistema unitizado altamente produtivo. Com o método *stick* é possível atingir índices de produtividade semelhantes a outros sistemas com componentes desmembrados, caso dos revestimentos cortina e ventilados;

- Viabilidade de ajustes durante a montagem: no sistema unitizado, não há soluções simples para eventuais ajustes que se façam necessários, o que pode onerar o sistema em situações não previstas. No método *stick* o fator é menos impactante, pois a instalação dos componentes em separado permite a execução de ajustes. O dimensionamento deve ser revisto nesse tipo de situação;

- Terminalidade: após a instalação dos quadros de vidro (*stick*) ou dos módulos (unitizado), resta apenas a execução em canteiro das juntas preenchidas com silicone;

- Necessidade de acabamento final: não se faz necessária a execução de revestimentos adicionais;

- Incremento de desempenho acústico: é importante garantir a boa vedação do sistema através de componentes e encaixes bem resolvidos. Ainda é possível promover um ganho de desempenho na escolha do vidro, variando em função da espessura das lâminas e a configuração dos vidros;

- Incremento de desempenho térmico: a transparência dos sistemas de fachada com vidro os torna mais suscetíveis à troca de calor. A escolha do tipo de vidro e sua configuração são importantes para minorar esse efeito, sendo interessante o uso de vidros refletivos ou de baixa emissividade (*low-e*);

- Incremento de segurança contra incêndio: a solução mais simples é a opção por um vidro resistente ao fogo;

- Incremento em durabilidade: a durabilidade dos perfis metálicos está relacionada ao tipo de proteção que recebem;

- Manutenibilidade: a necessidade de limpeza recorrente da fachada, eventualmente com equipamentos de acesso fixos nas cober-

turas, impactam significativamente nos custos;

- Cadeia Produtiva: o mercado da construção civil conta com um número razoável de fabricantes e fornecedores de sistemas de fachada com vidro. Sua distribuição no país pode não ser homogênea, mas suficiente para atender os grandes polos urbanos, não sendo recorrentes deficiências no suprimento de empreendimentos;

- Contrato e responsabilidade técnica: o fornecimento dos componentes do sistema costuma ser centralizado. Pode-se citar ainda que alguns fornecedores executam serviços de projeto e montagem, centralizando ainda mais a responsabilidade técnica pela fachada e seu desempenho;

- Estimativa de preço (R\$/m²): o nível maior de industrialização e pré-montagem no sistema unitizado caracteriza os maiores valores para sua aquisição frente ao método *stick*. Ainda no Unitizado, o uso de soluções customizadas em detrimento dos produtos de linha também provocam impacto no custo. Para ambos, unitizado ou *stick*, a configuração e o tipo de vidro podem provocar grande impacto no preço final.

5.2 - Desempenho dos sistemas de vedação de fachada com vidro

5.2.1. Desempenho estrutural

Tanto a NBR 15.575 (desempenho) quanto as partes 2 e 3 da norma de esquadrias – NBR 10.821 – abordam a questão do desempenho estrutural dos sistemas de fachada com vidro.

Como o desempenho do sistema é resultante do desempenho estrutural de seus componentes, é importante que tanto os perfis, quanto as fixações (mecânicas, com silicone estrutural ou com fita dupla-face) e os vidros a serem utilizados tenham sido devidamente

especificados e dimensionados com base nas normas específicas (NBR 7199, NBR 15.737 e NBR 15.919) que basicamente levam em conta a pressão de vento de projeto e as propriedades mecânicas dos materiais em questão.

Visando avaliar a segurança promovida pelo sistema durante o uso, a NBR 15.575-4 determina limites de estado limite de utilização (deslocamentos, fissuras, impactos) e estado limite-último (estabilidade e resistência estrutural) – ver Capítulo 1).

Ainda no quesito de desempenho estrutural, a NBR 10.821-2 determina que as esquadrias devem resistir a cargas uniformemente distribuídas resultantes da ação dos ventos, definindo o método de ensaio a ser empregado na NBR 10.821-3.

5.2.2 - Segurança contra incêndio

O principal parâmetro para avaliação do desempenho de um sistema de vedação para esse critério de desempenho é o tempo de resistência ao fogo do sistema frente ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), estabelecido na NBR 14.432 e levado em conta nas Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros.

O desempenho das vedações em questão depende de muitos detalhes técnicos envolvendo a instalação e o tipo de vidro a ser utilizado. Ou seja, se o vidro precisar resistir a sessenta minutos de incêndio, a esquadria deverá seguir a mesma regra de resistência.

Isso significa que o comportamento dos diferentes materiais deve ser conhecido e projetado para que o sistema funcione de acordo com o esperado. Pode ser necessária a escolha entre o uso de um vidro pára-chamas (que impede a propagação do fogo, mas deixa o calor passar para outro ambiente) ou um corta-fogo (barra tanto a chama como o calor). Ou seja, o vidro é pára-chamas quando resiste, sem deformações significativas, o tempo para o qual foi classificado (estabilidade mecânica) e, também, é estanque às chamas e aos gases quentes (estanqueidade). O corta-fogo atende

à estabilidade mecânica e à estanqueidade e, ainda, impede a auto-inflamação da face não exposta ao fogo ou dos objetos mais próximos (isolamento térmico). Quanto mais espessas as lâminas de vidro, por mais tempo irá resistir ao fogo (ABRAVIDRO, 2013).

A NBR 14432 determina ainda que deverá haver um peitoril interno de 1,20 m (considerando a espessura da laje), em material resistente ao fogo, como por exemplo, a chapa do drywall resistente ao fogo, que também é admissível pelas Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros no Brasil.

5.2.3 - Estanqueidade

A falta de estanqueidade de um sistema de vedação de fachada com vidro pode originar problemas como: variação dimensional dos componentes e elementos construtivos, proliferação de microrganismos, corrosão de metais, condensação e comprometimento da habitabilidade (VEDOVELLO, 2012).

Os sistemas de fachada demandam o correto detalhamento construtivo de modo que as interfaces entre os componentes sejam bem resolvidas no sentido de promover a estanqueidade da vedação.

A deficiência na vedação é, na maioria das vezes, devida à falhas no projeto ou devido a erros durante a fabricação e instalação da fachada. Como a maior área de uma fachada-cortina é composta por materiais impermeáveis, o ponto-chave de sua eficiência são as interfaces entre componentes (ROSSO, 2007).

A eficiência do sistema depende da escolha da linha de perfis e da qualidade das borrachas. Os perfis de alumínio podem ser de boa qualidade e possuir desenho apropriado, mas se as gaxetas estiverem ressecadas, perdem flexibilidade e a capacidade de vedação.

Dentre os sistemas de fachada com vidro existentes, o sistema unitizado leva a vantagem de na ocorrência de um eventual vazamento, este fica restrito ao módulo em que ocorrerá, sem transmissão para outros pavimentos e

podendo ser tratado individualmente. Além disso, como uma das principais causas de vazamentos é a dilatação térmica dos materiais em épocas de muito calor, enquanto no sistema *stick* a dilatação entre colunas, travessas e esquadrias se dá de maneira integrada, no sistema unitizado o módulo fica normalmente confinado a dilatação na dimensão do pé-direito, sendo de menor intensidade e tornando-o menos suscetível à vazamentos.

A norma de desempenho NBR 15.575-4 trata somente da estanqueidade à água para sistemas de vedação, mas a NBR 10.821-2, específica para esquadrias, também aborda a questão da estanqueidade ao ar também muito importante do ponto de vista de desempenho térmico e acústico.

5.2.4 - Desempenho Térmico

Com o uso de vidros na composição de fachadas uma grande preocupação passa a ser o desempenho térmico. Isso devido às propriedades desse material em permitir um nível elevado de transmissão de luz e calor quando não beneficiado.

Os edifícios com fachadas de vidro em países tropicais sempre foram polêmicos em função do desconforto térmico gerado pelo calor e pela reduzida ventilação natural, uma vez que os modelos de fachada-cortina preveem a instalação basicamente de caixilhos fixos, maxim-ar e de venezianas fixas com ou sem ventilação (ROSSO, 2007). Esse conceito tende a mudar com a chegada de novos sistemas que permitem a abertura das esquadrias.

As consequências imediatas de um projeto ou especificação mal conduzidos são o desconforto dos usuários e o elevado consumo de energia elétrica com ar condicionado. Nesse sentido, a estimativa da energia consumida pelo sistema de refrigeração das edificações para compensar um eventual acréscimo de carga térmica provocado pela utilização de um sistema de vedação de fachada com menor inércia térmica passou a servir de parâmetro

de medida de desconforto (BRANDÃO, 2004).

Hoje, a tecnologia do vidro compensa no próprio material as situações adversas (ROSSO, 2007). Ainda que seja possível contar com vidros bastante eficientes no controle solar, é sempre recomendável o uso de técnicas passivas ao projetar. O objetivo é maximizar o conforto interno através de meios naturais sem o uso de meios mecânicos, sendo possível reduzir custos da construção. Essas técnicas estão intimamente relacionadas com as características naturais e climáticas da região da edificação, e, no clima quente e úmido do Brasil (maioria das cidades brasileiras) são utilizadas no intuito de reduzir a transmissão de calor para o interior da edificação e maximizar a ventilação natural (VEDOVELLO, 2007). Algumas dessas técnicas são:

- configuração da forma e do layout do edifício;
- orientação das fachadas principais;
- uso de aberturas nas fachadas;
- prever proteção solar das fachadas e caixilhos de grandes vãos;
- conceitos de obtenção de luz diurna;
- ventilação natural;
- utilização de cores claras nas fachadas;
- prever áreas de paisagismo;
- uso de sistemas de resfriamento passivo.

O uso de técnicas passivas somado ao uso de perfis com barreiras de fluxo térmico e vidros especiais passa a ser uma solução de grande potencial em atingir os requisitos de desempenho, sem inviabilizar o uso de sistemas de fachada com vidro.

Na questão do desempenho térmico, o índice tido como referência é o coeficiente de transmitância térmica (Valor U), uma medida do ganho ou perda de calor através da vedação devido a diferenças entre temperaturas internas e externas. Quanto menor o valor de U, menor a troca de calor pelo sistema de fachada. Os fabricantes de esquadrias afirmam ser possível construir fachadas com Valor U de até $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ já levando em consideração a contribuição dos elementos de fixação (SCHÜCO, 2013). Esse valor de transmitância térmica seria suficiente para atender ao critério da NBR 15.575-4 para qualquer região do Brasil.

O tipo de vidro utilizado tem forte contribuição no desempenho térmico. Como visto anteriormente, o espectro de luz solar consiste de duas parcelas principais, a da luz visível e a da luz infravermelha, sendo a segunda a principal responsável pela transmissão de calor.

Quando os raios solares incidem sobre um fechamento transparente, a energia é dividida em três partes: aquela que é absorvida pelo vidro e que pode ser reemitida para o interior, outra que é refletida para o exterior e uma terceira que é diretamente transmitida para o interior da edificação.

De modo geral, tem-se o interesse em poder controlar a incidência de luz visível diminuindo o uso de luz artificial e barrando a parcela de luz infravermelha. Para tanto, algumas soluções são possíveis com o uso de vidros de controles solar como os refletivos e de baixa-emissividade, tendo os de baixa-emissividade a vantagem de permitir maior transmissão luminosa.

Uma solução ainda mais interessante é a de poder combinar vidros de controle solar na composição de vidros laminados ou insulados.

“Quando utilizado como vidro duplo, isola termicamente até 5 vezes mais do que um vidro transparente monolítico” (CEBRACE, 2013). “Essa composição é tida como tendência em função da crescente exigência por conforto ambiental e economia de energia” (NAKAMURA, 2008).

5.2.5 - Desempenho acústico

Para se determinar o desempenho acústico de um sistema de fachada com vidro deve-se considerar não só a redução sonora permitida por este componente, mas das esquadrias como um todo.

Alguns sistemas de encaixilhamento podem ter um melhor desempenho acústico do que outros em função do projeto. Um atributo importante a considerar é a capacidade de vedação do ar. Sistemas de encaixilhamento que permitem maior infiltração de ar também acarretam maior transmissão de som (GLASSEC, 2013).

Como visto no capítulo introdutório do presente manual, há índices de redução sonora medidos em campo ($D_{n,t,w}$) e índices medidos em laboratório (R_w) que também podem ser tomados como referência na hora de especificar um sistema.

Uma vez resolvida as interfaces entre componentes do sistema de fachada, a escolha do tipo de vidro irá impactar nos diferentes níveis de redução sonora possíveis de serem alcançados.

A redução sonora depende da massa e das características de amortecimento de determinado material. Materiais duros e pesados evitam a passagem de ondas sonoras de um lado para outro.

Para uma simples chapa de vidro, a única maneira eficaz de melhorar seu desempenho é aumentando sua espessura, pois sua rigidez e características de amortecimento não podem ser alteradas. (GLASSEC, 2013).

Materiais mais macios têm menor potencial em impedir a passagem de ondas sonoras, mas contribuem para a absorção de ruídos em um ambiente. Assim, para se obter o máximo de desempenho acústico, utiliza-se o conceito de sistema massa-mola-massa.

A componente massa (vidro) tem maior potencial de isolamento acústico quanto maior for sua espessura. A componente mola intercalante – câmara de ar ou gás argônio nos

insulados e película de PVB nos laminados – funciona como um amortecedor do som.

Os vidros laminados proporcionam níveis mais altos de desempenho acústico que os monolíticos devido às características de amortecimento do som da película de polivinil butiral (PVB). E vidros insulados oferecem o maior potencial de redução sonora comparativamente a outros tipos devido à sua versatilidade em combinar camadas de vidro monolítico com camadas de vidro laminado. Podem reduzir entre 40 e 50 dB (ROSSO, 2007).

Ainda nos insulados, a substituição do ar pelo gás argônio no interior da câmara de vidro pode resultar num considerável ganho no isolamento acústico de frequências médias e altas, além de proporcionar uma melhora no desempenho térmico (GLASSEC, 2013).

5.2.6 - Desempenho lumínico

O conforto visual dos usuários está intimamente relacionado com o desempenho lumínico proporcionado por diferentes sistemas atuantes em determinado ambiente. As vedações externas têm papel importante nesse sentido.

Basicamente, influenciam na qualidade e necessidade de iluminação natural ou artificial: a orientação geográfica da edificação, quantidade de áreas translúcidas e o tipo de envidraçamento do sistema de vedação de fachada, a disposição dos cômodos, a rugosidade e cor de paredes, tetos e pisos e a influência de interferências externas como edificações vizinhas. (VEDOVELLO, 2013).

Por parte da vedação externa de fachada, o vidro passa a ser o principal componente determinante do desempenho lumínico do ambiente. Como já comentado, sua escolha deve sempre ser feita levando-se em consideração o desempenho térmico do sistema.

A NBR 15.575-1 define critérios para níveis de iluminação mínima natural e artificial de diferentes ambientes.

5.2.7 - Durabilidade

O conceito de sistema também vale para a questão da durabilidade. Individualmente os componentes da fachada devem ser duráveis de modo que o sistema como um todo submetido às intervenções de manutenção previstas atinja a vida útil esperada tendo sido mantidas suas características de funcionamento. Esse conceito é conhecido como Vida Útil de Projeto (VUP) e para o sistema de vedação externa, deve ser de no mínimo 40 anos, conforme definido na NBR 15.575-1.

Devido à sua composição rica em silicatos, o vidro possui boa resistência a inúmeras substâncias. Em especial, aqueles utilizados na construção, pois possuem aditivos em sua composição que lhes confere uma resistência ainda maior à maioria dos ácidos e álcalis. (SCHITTICH, et al, 2007)

A durabilidade do perfil está atrelada ao tipo de tratamento superficial que recebe, anodização ou revestimento orgânico, que deve ser executado com espessuras suficientes e em conformidade com as normas técnicas específicas, a saber, NBR 12.609 e NBR 14.125, respectivamente.

A NBR 10.821 trata ainda da corrosão das esquadrias. Inicialmente recomenda evitar os contatos bimetálicos de modo a minorar as chances de corrosão. Além disso, define métodos de avaliação e classificação do desempenho de esquadrias de aço quanto à corrosão através de ciclos acelerados.

Os perfis elastoméricos para vedação, normalmente em EPDM, devem estar em conformidade com a NBR 13.756 e permanecer íntegros. Quando ressecados, perdem flexibilidade e não garantem mais a vedação, devendo ser substituídos.

5.2.8 - Manutenção

No caso dos sistemas de vedação de fachada com vidros, deve-se promover sua lavagem periódica. O período de sua limpeza pode

variar, mas pode ser estendido pelo emprego de vidros auto limpantes. No caso de troca de vidros, deve-se promover com o corte do silicone estrutural, remoção dos vidros com uso de ventosas, remoção dos resquícios de silicone dos perfis, posicionamento do novo vidro com auxílio de calços e novo preenchimento com silicone estrutural (SILVA, 2011).

5.3 - Projeto de sistemas de vedação de fachada com vidro

A decisão pelo uso de um sistema de fachada com vidro normalmente é tomada pelo arquiteto juntamente com o empreendedor.

De acordo com (ROSSO, 2007) “o papel do consultor de fachadas é transformar as necessidades técnicas, comerciais e conceituais do cliente em um projeto único”. Este profissional é responsável inicialmente pelo desenvolvimento de um projeto técnico conceitual que deverá conter detalhes arquitetônicos e dados suficientes para que um fabricante consiga elaborar sua proposta para fornecimento do sistema e elaboração de um projeto pré-executivo.

O consultor orienta a definição e a seleção de componentes da fachada cortina, a fim de que atinjam o desempenho desejado. É importante que seja contratado na etapa de concepção do empreendimento para que possa atuar na compatibilização de seu projeto com os de arquitetura, estrutura e outros elementos com os quais interage diretamente. Evitam-se, dessa forma, improvisos e otimiza-se a produção.

Quanto a compatibilização estrutural, cabe salientar que, assim como os demais tipos de fachada cortina, esse sistema é fixado na estrutura do edifício e, portanto, extremamente dependente da planicidade da fachada e do prumo. Os corretos prumo e alinhamento garantem menor tempo de montagem e maior qualidade final do sistema.

As estruturas em aço levam vantagem frente às estruturas convencionais de concreto moldadas no local. Por se tratar de um sistema industrializado, a qualidade do controle de

execução é facilitada.

Os consultores devem especificar em contrato os desvios máximos aceitáveis de prumo e alinhamento. No caso do sistema unitizado é comum que antes da instalação dos módulos tenham de ser feitas correções no posicionamento das ancoragens sobre as lajes.

5.3.1 - Especificações e Dimensionamento

Sistema

Os detalhes fornecidos pelo arquiteto ajudam a definir o tipo de sistema a ser usado em função do tamanho da obra e sua complexidade e guiam a especificação e a definição dos custos (ROSSO, 2007). A seleção do sistema deve ser orientada pelo consultor de esquadrias e deve levar em conta:

- estágio, localização, porte e complexidade da obra;
- tipo de estrutura;
- logística de canteiro;
- particularidades da fachada (geometria com recortes e mudanças de planos; especificação de diferentes materiais para revestimento);
- estratégia de instalação;
- disponibilidade de mão-de-obra;
- dimensões dos módulos.

Nessa escolha devem ser definidos:

- método de instalação: *Stick* ou Unitizado;
- local de fabricação das esquadrias: fábrica ou obra;

Sistemas de vedação de fachada com vidro - FDV

- uso de esquadrias convencionais (de linha) ou de esquadrias especiais (customizadas).

De modo a auxiliar a tomada de decisão, foram sintetizadas nas tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 as principais vantagens e limitações de cada um desses fatores.

Tabela 5.1 – Vantagens e limitações dos métodos de instalação de stick x unitizado.

CARACTERÍSTICA DO SISTEMA	OPÇÕES	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
MÉTODO DE INSTALAÇÃO	STICK	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo custo de transporte e manuseio 2. Oferece certa flexibilidade para ajustes em obra; 3. Interessante para uso em edificações onde a estrutura já esteja bastante avançada; 4. Pode se mostrar uma solução tão eficiente em desempenho técnico quanto a unitizada; 5. Em função do porte e do estágio da obra, pode se mostrar uma solução mais econômica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instalação desmembrada em ancoragens, colunas, travessas e quadros; 2. Toda montagem é feita no canteiro, sem controle de típico de fábrica; 3. Demanda uso de balancins e acesso externo para montagem.
	UNITIZADO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solução de maior nível de produtividade com menos etapas de instalação; 2. Os módulos podem ser montados e armazenados fora do canteiro; 3. Possibilidade de compor os módulos com outros materiais além do vidro (granito e ACM, por exemplo); 4. É possível içar os módulos diretamente dos caminhões através de guindastes. Isso permite que a entrega dos módulos seja feita no momento de sua instalação; 5. Passa a ser instalado à medida em que é erguida a estrutura do edifício, antecipando a liberação de serviços elétricos, hidráulicos e de acabamentos internos; 6. Menor necessidade de espaço no canteiro; 7. Não há necessidade do uso de balancins e o manuseio dos módulos é feito pelo lado interno da obra. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deve ser adotado em obras com grande volume de painéis, de maneira que a redução da mão-de-obra e a velocidade de execução compensem o custo que representam os equipamentos de movimentação e infra-estrutura necessários.

Tabela 5.2 – Vantagens e limitações em função do local de produção das esquadrias para fachada cortina.

CARACTERÍSTICA DO SISTEMA	OPÇÕES	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
LOCAL DE PRODUÇÃO DAS ESQUADRIAS	FÁBRICA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menor necessidade de espaço no canteiro; 2. Qualidade da produção e controle de qualidade de fábrica tendem a ser melhores; 3. Mais propício para uso em conjunto com o método de instalação Unitizado. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transporte dos componentes pode provocar o danos nos componentes;
	OBRA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Em função da demanda de quadros, colunas e travessas, pode ser uma solução mais econômica se for transferida para uma área reservada dentro do terreno da obra, como as áreas dos subsolos; 2. Aumentam a produtividade de execução, pois eliminam o tempo de transporte do sistema da fábrica até a obra; 3. A ausência do transporte elimina o pagamento de taxas como o ICMS, imposto de circulação de mercadorias e serviços; 4. Mais propício para uso em conjunto com o método de instalação Stick. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não conta com controle de qualidade dos módulos tão eficiente quanto o de fábrica; 2. Demanda maior espaço no canteiro –aproximadamente 850 m² (SILVA, 2011); 3. Necessidade de equipamentos específicos para produção dos módulos (máquinas de corte pneumáticas, por exemplo).

Tabela 5.3 – Vantagens e limitações em razão do tipo de esquadria.

CARACTERÍSTICA DO SISTEMA	OPÇÕES	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
TIPO DE ESQUADRIA	CONVENCIONAL	1. Rapidez na especificação e detalhamento; 2. Facilidade de aquisição; 3. Soluções normalmente em conformidade com a normalização técnica.	1. Podem não fornecer soluções detalhes específicos do projeto.
	ESPECIAL	1. Projeto para esta última mais rico em detalhes técnicos, o que minimiza a necessidade de tomada de decisão em obra; 2. Fabricantes se responsabilizam pelos testes de laboratório para verificação do atendimento às exigências normativas;	1. Requerem projeto específico; 2. Custo superior ao das soluções convencionais.

Perfis

Definidas as dimensões dos vãos, o consultor em esquadrias é capaz de realizar o cálculo estrutural mínimo dos perfis de alumínio, levando em conta a pressão de vento (positiva e negativa) e as características do sistema a ser utilizado. Alguns fabricantes possuem linhas de sistemas com espessuras de perfis específicas para determinadas faixas de pressão de vento (SILVA, 2011). O mercado também oferece soluções customizadas para cada projeto. O que difere as linhas de esquadrias convencionais das soluções customizadas é a qualidade da solução adotada, sendo o projeto para esta última mais rico em detalhes técnicos. As empresas desenvolvedoras ainda se responsabilizam pelos testes de laboratório para verificação do atendimento às exigências normativas.

É preciso definir o tipo de tratamento superficial a ser empregado para esses componentes, dimensionando-se a espessura dessa camada de revestimento para que permaneça íntegro ao longo do tempo.

Ancoragens

Tanto no sistema *stick* quanto no unitizado a fixação das fachadas cortina é feita por meio de ancoragens de alumínio, fixadas por chumbadores químicos ou de expansão ou, no caso de estruturas em aço, por meio de

parafusos. Assim como os perfis, devem ser dimensionadas para resistir aos esforços de ação dos ventos, peso próprio do sistema e cargas acidentais.

Para atender a durabilidade requerida é obrigatório o emprego de chumbadores e parafusos de aço inoxidável, metal de maior potencial eletroquímico quando comparado ao alumínio, com o objetivo de evitar a corrosão bimetalica.

Deixar a fachada no devido prumo muitas vezes acaba sendo função dos sistemas de ancoragem. Em todo caso, deve-se estabelecer os limites aceitáveis de desvio de prumo, sendo as ancoragens dimensionadas para as situações mais desfavoráveis. No sistema *stick* o ajuste normalmente é feito através de furos oblongos existentes nas ancoragens e fixações com parafusos auto brocantes. No sistema unitizado são normalmente utilizadas ancoragens com perfil em forma de L, também com furos oblongos. Neste caso, quanto maior o desvio de prumo maior o momento resultante na base do perfil.

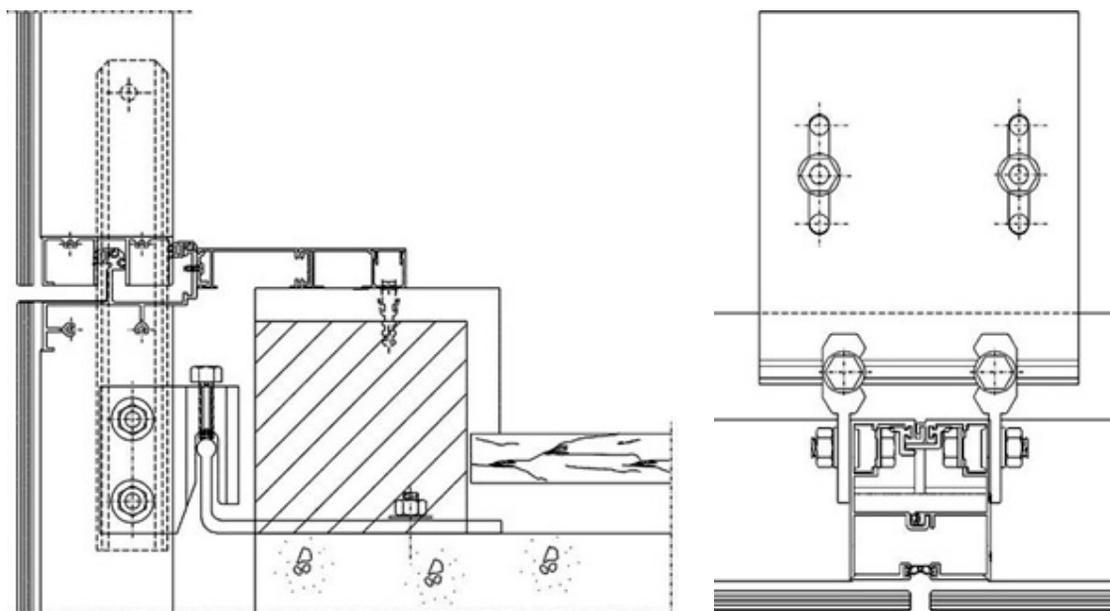


Figura 5.33 – Detalhe de sistema de ancoragem para sistema Unitizado. (FINESTRA, 2012)

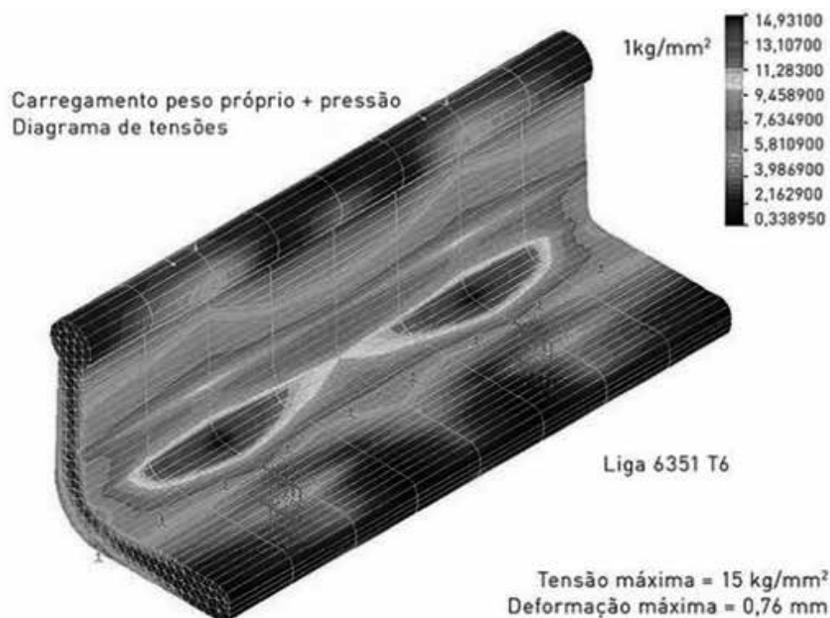


Figura 5.34 – Diagrama de tensões em perfil de ancoragem para sistema Unitizado. (FINESTRA, 2012)

Vidro

Os vidros ocupam a maior área das esquadrias de fachada, sua especificação deve ser cuidadosa e para que cumpram seu papel no atendimento aos critérios de desempenho, o consultor deve conhecer e trabalhar com diferentes soluções disponíveis no mercado.

Os vidros devem ser resistentes suficientemente para suportar os esforços dos ventos e eventuais impactos. Por este motivo a NBR 7199 determina que em fachadas, seja obrigatória a utilização de vidros de segurança de qualquer tipo, visando à integridade física dos usuários dos edifícios e dos transeuntes externos (ROSSO, 2007).

O desempenho lumínico e térmico da vedação caminham juntos e a escolha do vidro deve levar em conta como o mesmo se comporta quanto a reflexão, absorção ou transmissão das parcelas de luz visível e luz infravermelha (calor) do espectro solar. O vidro também influencia significativamente no desempenho acústico e sua escolha deve ser feita em função da localização da obra, da finalidade da edificação e do nível de redução sonora necessário para as vedações externas.

“Para o projetista, é importante analisar a fachada como um todo, atentando para a implantação, o sombreamento produzido pelo entorno e os detalhes do projeto de modo a propor soluções distintas para as diferentes fachadas. Além disso, deve-se encarar o problema fundamental, a incidência de radiação solar nos vidros para que se obtenha uma boa ponderação entre o desejado ingresso da iluminação natural e a barreira ao calor excessivo” (VEDOVELLO, 2012).

A estética também é importante. A composição dos elementos em função da cor e espessura dos vidros, da reflexibilidade, da escolha da película e da eventual utilização de câmaras internas, permite uma infindável gama de composições, que visam atender aos parâmetros técnicos requeridos no projeto de arquitetura. A seleção do vidro é primordial para a garantia do conforto do usuário (ROSSO, 2007).

A NBR 7199 determina o método de cálculo da espessura da lâmina de vidro em função da pressão do vento, suas dimensões laterais e tensão admissível.

Silicone estrutural ou fita dupla face de espuma acrílica

A colagem do vidro estrutural e consequentemente a integridade do sistema de fachada depende da aderência do selante ou fita-dupla face estrutural ao material de acabamento dos perfis, bem como da aderência do acabamento ao perfil metálico. Em geral, não apresentam boa adesão sobre perfis de alumínio revestidos com pintura eletrostática. Nesse caso, pode ser necessária a aplicação prévia de um promotor de aderência (primer). A adesão é maior em perfis anodizados (VIDRO IMPRESSO, 2011).

A especificação deve ser baseada em ensaios de adesão e compatibilidade, sendo a tensão de adesão mínima do selante ou fita-dupla face ao material de acabamento igual a 345 kPa. Esse ensaio é fundamental para evitar patologias como o descolamento de lâminas de vidro. Também são fundamentais os ensaios de envelhecimento, pois com o tempo, o módulo de deformação, capacidade de alongamento e aderência do silicone são afetados pela ação dos raios UV (VIDRO IMPRESSO, 2011).

Para o selante estrutural, a NBR 5.737 determina o método de cálculo da largura de selante, levando em consideração a resistência do selante, as dimensões e peso do vidro e a pressão de vento. No caso dos silicones, existe uma subdivisão entre aqueles de cura neutra e os de cura acética. O silicone utilizado para colagem de vidros laminados deve ser estrutural de cura neutra, jamais o de cura acética, pois este libera vapor de ácido acético que reage com o PVB causando manchas e descolamento próximo ao perímetro do vidro, fenômeno conhecido por delaminação (VIDRO IMPRESSO, 2011).

Para a fita dupla-face de espuma acrílica

Sistemas de vedação de fachada com vidro - FDV

o procedimento para cálculo da junta estrutural é semelhante ao do selante, conforme NBR 15.919.

5.3.2 - Exemplos de obras contemporâneas e de soluções de projeto.

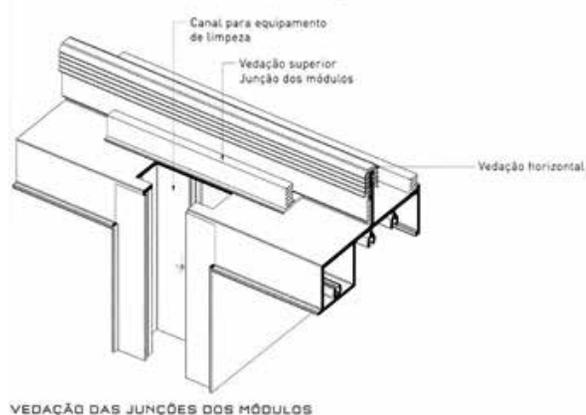
Infinity Tower

Concluído em 2012, o Infinity Tower, cujo projeto foi elaborado pela parceria dos escritórios Kohn Pedersen Fox Associates e Aflalo & Gasperini Arquitetos, conta com fachadas curvas, planas e inclinadas, viabilizadas pelo uso do sistema de fachadas-cortina unitizado. Este teve de ser integrado a painéis de alumínio composto (ACM), forros de varanda e gradis autoportantes de vidro e aço inoxidável.



Figura 5.35 – Vista geral da fachada do edifício Infinity Tower em São Paulo. (GELINSKI, 2012)

A execução das faces laterais curvas foi permitida pelo uso de módulos com 1,25 m de largura. Os vidros foram colados com silicone estrutural e para garantia da estanqueidade foram utilizadas gaxetas de EPDM e de silicone entre os quadros. (GELINSKI, 2012)



VEDAÇÃO DAS JUNÇÕES DOS MÓDULOS

Figura 5.36 – Detalhe das junções entre módulos. (GELINSKI, 2012)

Para atender às especificações de projeto, foram utilizados vidros laminados de controle solar com baixa emissividade (*low-e*) na cor azul. Estes possuem 12 mm de espessura, fator solar de 37%, coeficiente de sombreamento de 0,43 e transmissão luminosa de 35%. O uso de vidros de alto desempenho objetiva maximizar o conforto dos usuários, reduzindo, em longo prazo, os custos operacionais da edificação. (GELINSKI, 2012)

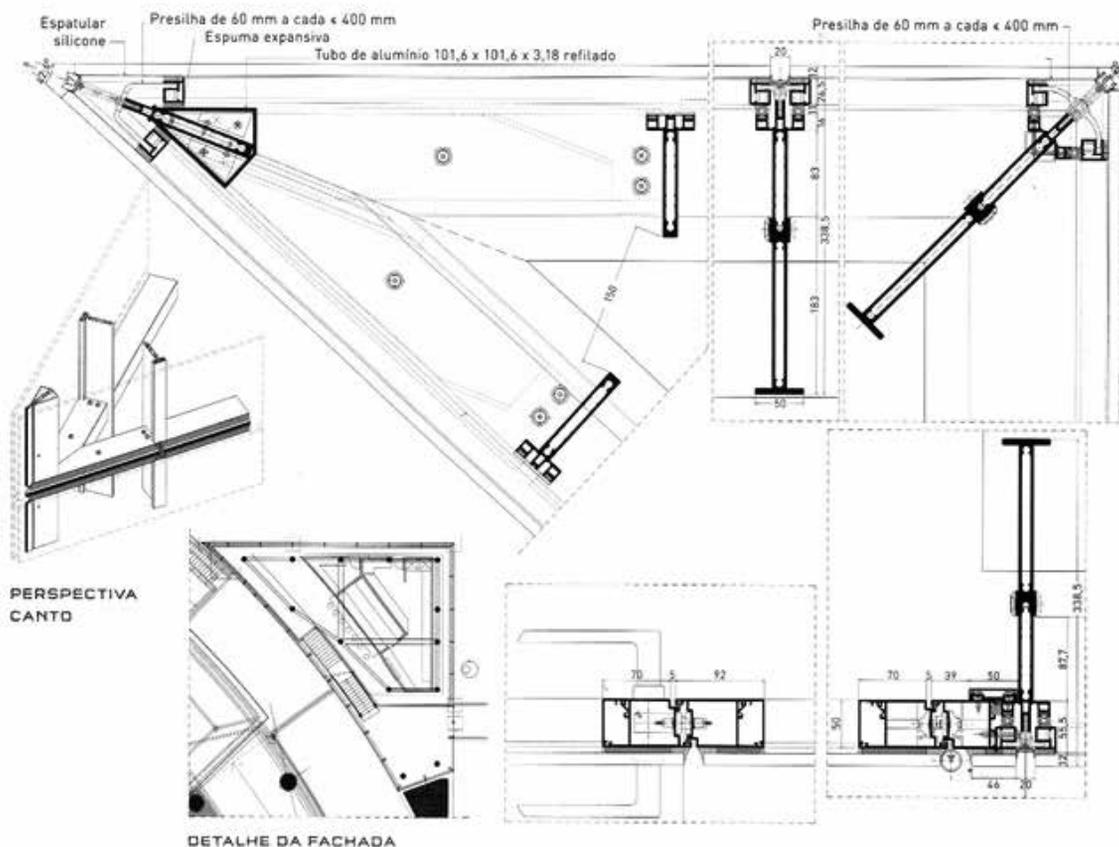


Figura 5.37 – Detalhes do sistema unitizado de fachada – Infinity Tower. (GELINSKI, 2012)

Por serem as faces mais expostas à incidência do sol, foi implementado um sistema de brises nas fachadas laterais curvas e devido à grande dimensão dos brises, foi necessário o desenvolvimento de um sistema fixação customizado para o equipamento de limpeza de fachadas, tendo sua operação sido testada em protótipo.

Para os terraços que compõem as faces frontal e posterior da fachada, foram utilizados vidros com 12 mm de espessura, laminados e temperados por questão de segurança. Já no pavimento térreo, o pé-direito de 10 m foi vencido com o sistema *Structural Glazing* de fachada executada pelo método *Stick* de montagem. Para uma maior transparência e menor refletividade, foram utilizados no lobby vidros laminados incolor e extraclaro, de 12 mm e 16 mm.

A instalação dos módulos exigiu um projeto logístico customizado que englobava a

implantação de unidade de montagem e cola-gem de vidros no primeiro subsolo da obra, a linha de subida de painéis e sistema de movimentação e instalação de módulos com trilhos longitudinais e motores elétricos. A execução da complexa fachada de 22 mil metros foi concluída em 18 meses.

Em cumprimento à norma NBR 10.821, foram verificadas as condições de desempenho de permeabilidade ao ar, estanqueidade à água e deformação à carga de ventos.

Modelos em escala reduzida também foram ensaiados em túnel de vento. Os resultados permitiram determinar as forças, momentos torçores e momentos fletores em cada pavimento, para cada ângulo de incidência testado, otimizando ao máximo o carregamento na estrutura.

Centro Empresarial Senado

O Centro Empresarial Senado, nova sede da estatal Petrobrás, foi projetado pelo escritório Edo Rocha Arquiteturas. Executado em estrutura mista de aço e concreto, o projeto conta com quatro soluções diferentes para as fachadas: sistema unitizado, fachada ventilada com painéis cerâmicos extrudados e painéis de alumínio composto (ACM) para as duas torres e sistema *Stick* para o átrio central.

Para a fachada das torres foram utilizados vidros colados com silicone estrutural. Estes são laminados de baixa emissividade (*low-e*), verde-azulados, com 10 ou 12 mm de espessura, transmissão luminosa de 30%, fator solar de 24% e coeficiente de sombreamento de 0,28. Nas faces voltadas para a área interna do átrio não houve necessidade de garantir o mesmo desempenho fotoenergético e optou-se por vidros de controle solar com baixa reflexão e maior transmissão luminosa (GELINSKI, 2013a).



Figura 5.38 – Centro Empresarial Senado, no Rio de Janeiro. (GELINSKI, 2013a)

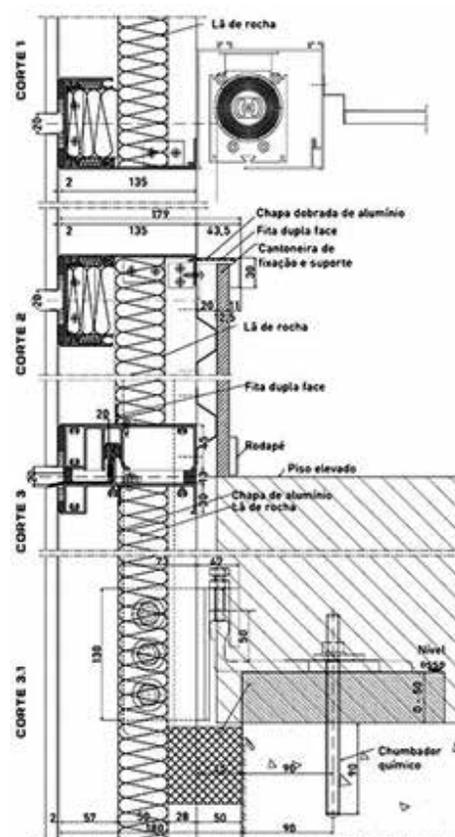


Figura 5.39 – Corte vertical do sistema Unitizado de fachada. (GELINSKI, 2013a)

O sistema *stick* utilizado nas fachadas do átrio também conta com vidros colados com silicone estrutural. A fachada foi fixada sobre estrutura em aço, composta por treliças horizontais a cada dois pavimentos, constituídas de perfis tubulares, apoiadas às vigas de piso dos edifícios com combinação de apoios fixos e móveis de modo a não vincular as duas edificações.

Os banzos dessas treliças possuem rigidez suficiente para suportar o peso da esquadria e as treliças horizontais resistem às cargas de vento (GELINSKI, 2013a).

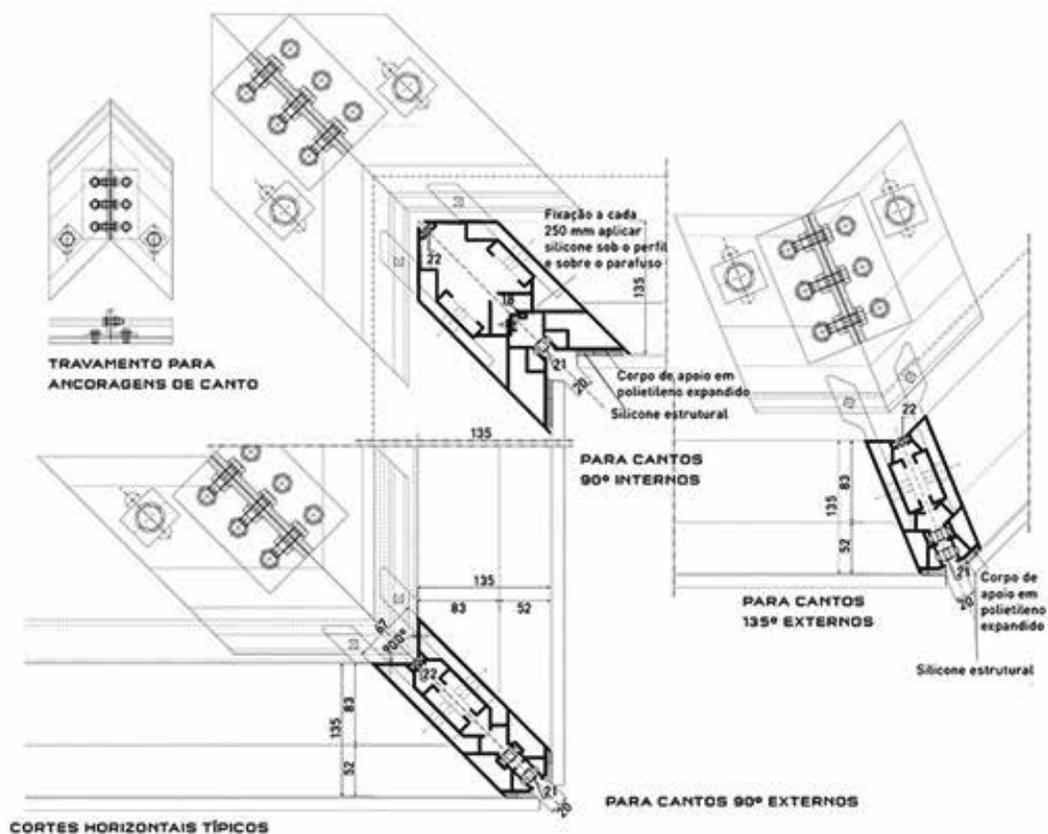


Figura 5.40 – Detalhes do sistema Unitizado e suas fixações. (GELINSKI, 2013a)

Por terem sido executadas pelo método *stick*, a montagem dos quadros da fachada do átrio foi realizada com balancins, sendo os quadros fixados à subestrutura suporte formada por montantes e travessas que, por sua vez, foram previamente fixadas à estrutura de aço principal. Por outro lado, nas fachadas das torres o uso do sistema unitizado permitiu sua instalação com equipamentos de içamento.



Figura 5.41 – Átrio do Centro Empresarial Senado. Destaque à fachada externa, executada pelo método de montagem Stick. (GELINSKI, 2013a)

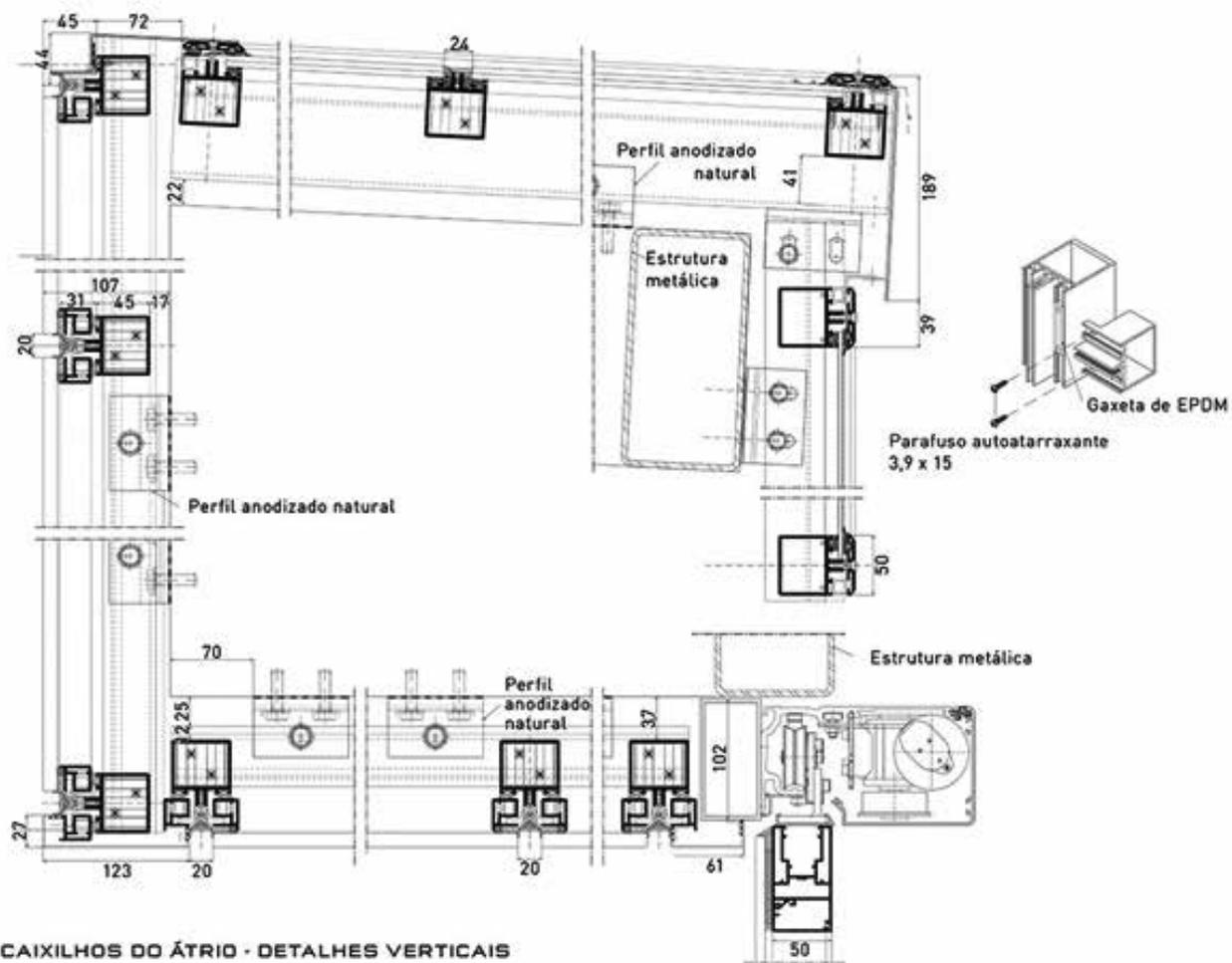


Figura 5.42 – Detalhes do sistema Structural Glazing e suas fixações. (GELINSKI, 2013a)

Capítulo 6

Sistemas de revestimento
cortina e ventilado (RCV)

6.1 - Contextualização e Aplicações

Granitos fixados por meio mecânico, painéis de alumínio composto e mais recentemente painéis cerâmicos de grandes dimensões são materiais cada vez mais utilizados para revestir fachadas de edifícios no Brasil.

A instalação destes materiais convive bem com as vedações tradicionais de alvenaria, tanto para estrutura de concreto como para estrutura em aço.

Embora estas soluções de revestimento aplicadas a seco não tenham como função principal ser a vedação externa do edifício, elas possuem papel importante no desempenho, conferem características arquitetônicas e colaboram diretamente para reduzir os prazos de uma obra.

Por este motivo estas soluções devem ser consideradas como revestimentos cortina ou ventilado e não de fachada ventilada ou fachada cortina - como comumente se denomina no mercado local – principalmente para diferenciá-las das demais já tratadas aqui e que têm a função de vedação externa principal.

6.1.1 - Revestimento ventilado e cortina

Os revestimentos ventilados e cortinas são fixados por meios mecânicos às estruturas e paredes externas do edifício. A maior parte das soluções construtivas faz uso de uma subestrutura metálica ancorada à estrutura principal da edificação e sob a qual são fixados os painéis de fechamento.

Para ser chamado de “ventilado”, o revestimento do tipo cortina precisa de uma camada de ar circulante entre o corpo do edifício (paredes externas) e o revestimento provocado pelo fenômeno denominado “efeito chaminé” (LIU, 2010). Em outras palavras, todo revestimento ventilado pode ser considerado do tipo cortina, mas nem todo revestimento do tipo cortina pode ser dito ventilado. Adota-se aqui, portanto, o termo revestimento para designar estas

tecnologias e não o termo “fachada ventilada” que remete a vedação externa como um todo.

O “efeito chaminé” consiste no movimento ascensional do ar aquecido, promovendo sua renovação natural, como ilustrado na Figura 6.1. A eficiência do movimento do ar depende do correto dimensionamento das aberturas de entrada e saída da câmara de ar, das aberturas entre os painéis de fechamento e do afastamento entre estes painéis e a estrutura principal, além das condições de ventilação atuante sobre a fachada.

O afastamento típico para esta finalidade normalmente se situa entre 10 a 20 cm e é determinado também em função do tipo de ancoragem, da subestrutura e da necessidade de alinhamento vertical da fachada.

A câmara de ar ventilada não apenas forma um espaço livre que pode eventualmente drenar a água que se infiltra, mas permite a eliminação natural da umidade por evaporação.

A solução ventilada pode contribuir de forma determinante para uma maior eficiência energética do edifício uma vez que não apenas melhora o isolamento térmico, mas também permite a troca de calor entre o revestimento e a vedação e o sombreamento do paramento interno, como explica VEDOVELLO (2012).

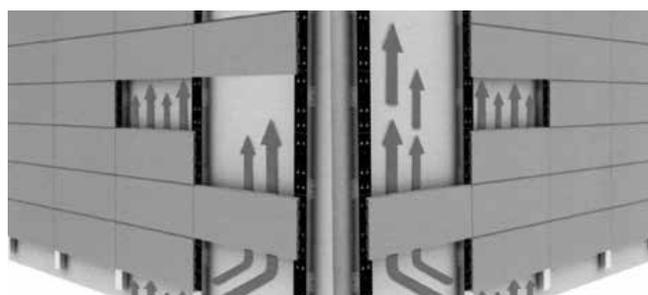


Figura 6.1 – Esquema de funcionamento do “efeito chaminé” cujo princípio de funcionamento permite a circulação do ar da cavidade de um revestimento ventilado. (GAIL, 2013)

O esquema da Figura 6.2 apresenta os principais componentes de um sistema de revestimento ventilado com sua subestrutura metálica ancorada à estrutura principal e alvenaria, a impermeabilização e proteção térmica da parede e o paramento externo de painéis modulares.

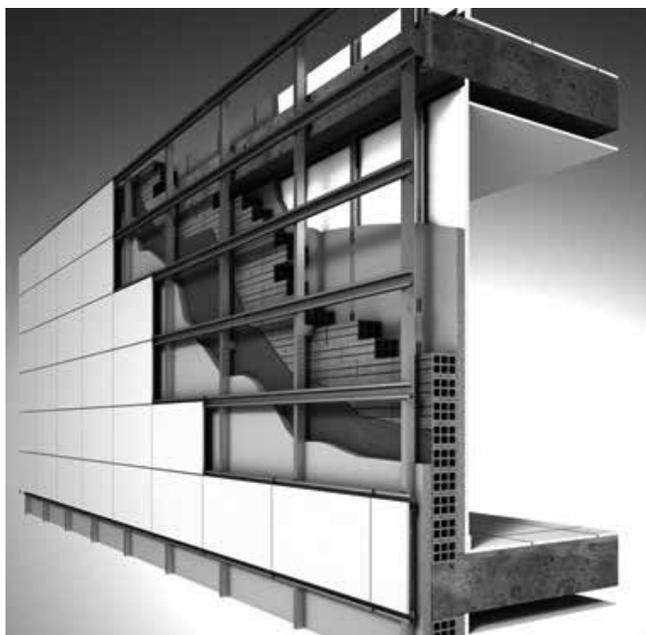


Figura 6.2 – Esquema de um revestimento ventilado com painéis cerâmicos mostrando o paramento exterior e a vedação interna em alvenaria. (FAVENK, 2013)

A subestrutura metálica de revestimento deste tipo é normalmente constituída de perfis extrudados de alumínio, ancoragens também de alumínio, parafusos e chumbadores de aço inoxidável.

A distribuição dos perfis pode ser vertical e/ou horizontal em função do tipo de fixação adotado para os painéis e da própria resistência dos painéis aos esforços do vento, peso próprio e impacto.

Uma utilização corrente e interessante dos revestimentos ventilados se dá nos projetos de reabilitação de edifícios que apresentam comprometimento de seu desempenho – por exemplo, de isolamento térmico e acústico, falta de estanqueidade à água, ou de fissuração – ou perda de sua vida útil. A estas vantagens soma-se também a redução do consumo de energia destinado aos sistemas de ar condicionado e o controle da exposição da estrutura e seu risco de degradação. Esta solução permite uma execução não destrutiva, limpa e mais rápida quando comparada à convencional, o que a faz ser adotada em projetos de reforma.

6.1.2 - Tipos de painéis de fechamento

Os painéis de fechamento podem ser de diferentes materiais e são acoplados à subestrutura por meio de dispositivos de fixação de tipos bem diversos. Várias soluções contam com acessórios para arremates e acabamento. Os tipos de painéis presentes no mercado brasileiro e tratados aqui são:

- painéis de alumínio composto;
- laminados melamínicos;
- painéis de concreto polimérico;
- placas de rocha;
- painéis cerâmicos (extrudados e prensados).

Painéis de alumínio composto

O painel de alumínio composto ACM – *aluminum composite material* – é obtido através da laminação do alumínio em duas chapas sob pressão controlada com um núcleo de polietileno de baixa densidade.

Os painéis de ACM usualmente comercializados no Brasil têm espessuras de 3, 4, 5, 6 e 8 mm, sendo constituídos de duas chapas de alumínio com espessura de 0,3 mm ou 0,5 mm cada e um núcleo de polietileno de espessura também variável, compondo assim a espessura final das placas. Estas variações de espessura das camadas obviamente interferem na qualidade e desempenho dos painéis e devem ser cuidadosamente consideradas no projeto.

As larguras usualmente disponíveis são de 1.250 mm e 1.500 mm, mas os fabricantes podem oferecer larguras customizadas.

Sistemas de revestimento cortina e ventilado (RCV)



Figura 6.3 – Painéis de ACM instalados em fachada de edifício comercial com vedação convencional de alvenaria. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

O produto final é um revestimento pré-fabricado extremamente leve com peso entre 5 e 10 kg/m².

A face externa das chapas recebe em geral uma camada de pintura aplicada por rolos eletrostáticos, mas há vários outros acabamentos disponíveis onde são utilizados o poliéster e o PVDF - fluoreto de polivinilideno, por exemplo. (BELMETAL)

Laminados melamínicos

Tratam-se de painéis compostos cuja parte interna é de papel kraft impregnado de resina fenólica e o revestimento constituído de papel decorativo e resina melamínica. (TRESPA, 2014)

A resina melamínica é utilizada largamente na construção civil e conhecida pela alta resistência à umidade, abrasão, riscos e mesmo a radiação UV.

Os painéis laminados são produzidos em alta pressão o que lhes confere durabilidade, e mesmo de madeira, resistência ao ataque de organismos vivos. A garantia dos painéis em geral é de 10 anos.

As características dos painéis de madeira melamínica são previstas pela norma ISO 4586 Parte 1 e 2 (ISO, 2004) e as várias partes da EN 438 (EN, 2005). As espessuras variam de 6

a 16 mm e as dimensões padronizadas variam conforme os fabricantes, mas podem-se encontrar painéis de até 4270 x 2130 mm.



Figura 6.4 – Revestimento de painéis de laminado melamínico sendo aplicado em edifício com estrutura de aço. (acervo CODEME)



Figura 6.5 – Fachada revestida com painéis decorativos de laminado melamínica. (TRESPA, 2014)

Painéis de concreto polimérico

Os painéis de concreto poliméricos são produzidos a partir de uma mistura de agregados com resinas sintéticas, normalmente de poliéster.

Embora não exista normalização nacional, todas as características destes painéis são determinadas pelos métodos de ensaio prescritos pela norma EN 14617 (EN, 2012). São cobertos vários critérios importantes, entre eles a absorção de água, resistência à flexão, resistência ao gelo e degelo, resistência a mudança de temperatura e ancoragem.

Já na ISO 12572 (ISO, 2001) são previstos ainda os critérios para aceitação da permeabilidade e resistência ao valor de água entre outras propriedades.

As espessuras dos painéis variam de 9 a 14 mm e as dimensões padronizadas situam-se entre 300 x 600 mm até 900 x 1800 mm. O painel de concreto polimérico é denso e pesa entre 23 a 33 kg/m².

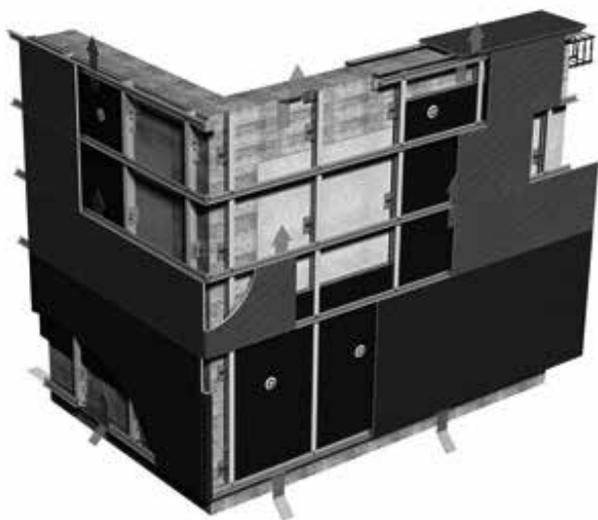


Figura 6.6 – O esquema de utilização dos painéis de concreto polimérico para um revestimento cortina ou ventilado, apresentando uma subestrutura de alumínio ancorada à estrutura principal. (ULMA, 2014)

Placas de rocha

As placas de rochas para revestimento são comercialmente subdividas em dois grupos do ponto de vista do enquadramento técnico: granitos (rochas silicáticas) e mármore (rochas carbonáticas).

Os granitos brasileiros apresentam maior

resistência ao desgaste superficial, menor absorção de água e menor reatividade química que o mármore e por isso seu uso é mais indicado para os revestimentos externos. (ABI-ROCHAS, 2009).

A NBR 15.844 (ABNT, 2010a) define granitos como sendo “toda rocha silicática magmática ou metamórfica, não xistosa, portadora ou não de quartzo e passível de polimento, usada como revestimento de edificações ou como elemento ornamental”. Esta mesma norma ainda especifica as características físicas e mecânicas requeridas para granitos destinados ao uso em edificações como revestimentos, tanto externos como internos.

SIQUEIRA JÚNIOR (2003) explica que a fixação dos revestimentos em placas pétreas é feita no Brasil “quase que exclusivamente por ancoragens pontuais ou diretas encaixadas através de perfurações executadas nas bordas laterais das placas [...] que eliminam quase que por completo a subestrutura auxiliar de suporte, mantendo-se esta apenas onde não há presença do elemento de vedação vertical externo”. Esses elementos de ancoragem são conhecidos como insertos metálicos.

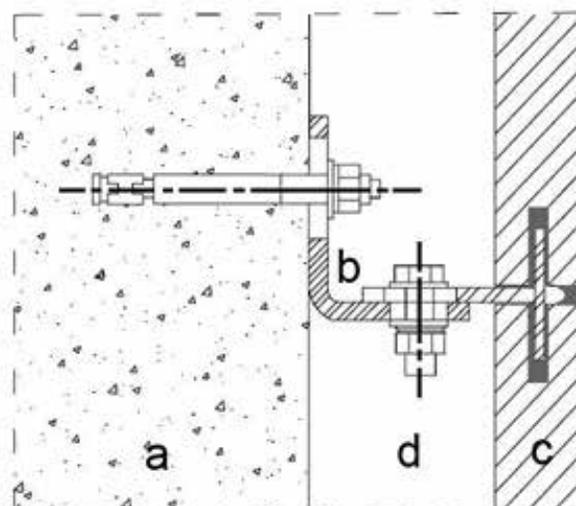


Figura 6.7 – Detalhe de fixação de placa de rocha em estrutura de concreto através de inserto metálico, onde: (a) estrutura da edificação, (b) inserto metálico, (c) placa de rocha e (d) colchão de ar. (MOREIRA, 2005)

Sistemas de revestimento cortina e ventilado (RCV)

Os insertos são geralmente constituídos de três partes, com as seguintes características e funções:

- uma parte a ser fixada na estrutura de suporte (parafusos, chumbadores e barras passantes);
- uma parte constituída por barra, cantoneira ou outro perfil metálico, com eventual dispositivo de regulagem para ajuste do posicionamento da placa; e
- uma parte responsável pela união com as placas (parafusos encaixados em perfurações executadas nas bordas laterais das placas).



Figura 6.8 – Revestimento em granito instalado com insertos metálicos em fachada de edifício comercial. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Apesar dos insertos reduzirem os custos dos materiais de fixação, seu uso eleva o risco de problemas e exige controle mais rigoroso quanto à resistência das ancoragens, o que, por sua vez, diminui a produtividade da execução e dá margem a improvisações.

Painéis cerâmicos

As soluções com painéis cerâmicos são mais leves que as de granito, porém mais pesadas que as demais alternativas de revestimento cortina apresentadas neste manual. O peso

médio dos sistemas comercializados no Brasil varia entre 30 e 40 kg/m².

Os painéis cerâmicos podem ser extrudados ou prensados como os porcelanatos. Os painéis extrudados são formados a partir da passagem por uma extrusora, de modo que sua seção transversal permanece constante e não é necessário fazer cortes ou furos para encaixe dos componentes ou acessórios de fixação.



Figura 6.9 – Sistema de fachada ventilada com painéis cerâmicos extrudados em processo de instalação. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Os porcelanatos, da mesma forma que os granitos, precisam ser beneficiados com furos ou cortes para permitir o encaixe de fixações ocultas. No entanto é possível utilizar fixações aparentes evitando os furos ou cortes.



Figura 6.10 – Revestimento ventilado com painéis extrudados e sua subestrutura de alumínio. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

6.1.3 - Características dos revestimentos ventilado e cortina

Os revestimentos ventilados e cortina apresentam uma série de vantagens que justificam sua utilização, mesmo diante de um maior custo direto em relação às técnicas convencionais de revestimentos aderidos, a saber:

- montagem com elevada produtividade, sem desperdício de material, e mesmo com a estrutura em andamento ou ainda sobre revestimento pré-existente, no caso de retrofit;
- fachada livre de eflorescências, descolamentos, trincas e infiltrações, oriundos de movimentações térmicas e estruturais;
- facilidade de manutenção e trocas não destrutivas de painéis;
- estanqueidade à água da chuva sem a necessidade de aplicação de silicone nas juntas;
- eliminação de condensações devido a rápida evaporação e transporte de umidade;
- reflexão de ruídos externos e excelente desempenho térmico graças à camada circulante de ar;
- possibilidade de utilização do espaço vazio entre os paramentos para alojar tubulações elétricas, hidráulicas e hidrossanitárias.

MATEUS (2004), entretanto, cita duas importantes limitações dos revestimentos ventilados que também são comuns na maior parte dos revestimentos tipo cortina: maior dificuldade na execução de arremates e maior risco de degradação por vandalismo.

6.1.4 - Relação custo-benefício

Encontra-se disposto no Anexo A deste

manual uma tabela que elege fatores impactantes nos custos dos sistemas, bem como avalia a magnitude deste impacto através de diferentes critérios.

Na sequência analisa-se os sistemas de revestimento ventilado e cortina com placas cerâmicas, painéis de ACM e placas de granito. Nesta análise não é levado em conta a etapa complementar de execução de uma vedação interna.

- **Impacto na logística da obra:** a opção por um sistema de revestimento industrializado, como os ventilados ou cortina, em detrimento às soluções convencionais podem provocar grandes impactos na logística das obras, permitindo a redução do número de atividades em obra, dos prazos de execução e da geração de resíduos. Os componentes são leves, de fácil manuseio e transporte;

- **Necessidade de equipamento:** a instalação do revestimento não aderido é feita manualmente e não implica em grandes investimentos, seja para o transporte seja para a montagem. O sistema é desmembrado em ancoragens, perfis e painéis de acabamento, os equipamentos utilizados são de menor porte;

- **Nível de pré-montagem:** apesar de possuir alta velocidade de montagem, os revestimentos ventilados e cortina não possuem um alto nível de pré-montagem e não levam vantagem nesse fator, pois os componentes são desmembrados e instalados separadamente. Por outro lado, isso confere maior flexibilidade arquitetônica, sendo possível a criação de formas mais complexas;

- **Velocidade de montagem:** apesar do baixo nível de pré-montagem as soluções em revestimento ventilado e cortina permitem uma alta velocidade de montagem, com a redução de prazos de obras quando comparadas às soluções convencionais;

- **Viabilidade de ajustes durante a montagem:** o baixo nível de pré-montagem deste sistema de revestimento e a instalação separada dos componentes facilita a execução de ajustes em obra, ainda que limitados e com possibilidade de indução a improvisos;

- **Terminalidade:** o tipo de painel de fechamento é o maior impactante no fator terminalidade. Após a instalação das ancoragens, dos perfis e das placas cerâmicas extrudadas, o sistema de revestimento está finalizado, não havendo nenhuma outra etapa subsequente. O uso de painéis em ACM ou placas de rocha normalmente demandam a execução das juntas que devem ser preenchidas com silicone;

- **Necessidade de acabamento final:** para esse fator, somente as placas de rocha podem demandar algum tratamento superficial para proteção das mesmas;

- **Incremento de desempenho acústico:** o incremento não é significativo e a esta função precisa ser exercida pela vedação externa do edifício;

- **Incremento de desempenho térmico:** para esse requisito de desempenho a contribuição do sistema de revestimento cortina ou ventilado é altamente significativa, podendo ser otimizada no projeto da cavidade de ar circulante;

- **Incremento de segurança contra incêndio:** análogo ao item sobre desempenho acústico;

- **Incremento em durabilidade:** tem-se como principais fatores contribuintes para a durabilidade do sistema o revestimento dos perfis e acessórios e a qualidade dos painéis. Para os painéis em ACM ainda é possível escolher diferentes tipos de revestimento;

- **Manutenabilidade:** o principal procedimento de manutenção é relativo aos painéis de revestimento, sua limpeza ou substituição. Para que se preservem as características de desempenho é necessário a realização de limpezas periódicas. O tipo de painel e seu sistema de fixação impacta diretamente na facilidade de substituição;

- **Cadeia Produtiva:** as características da cadeia produtiva estão intimamente relacionadas com o tipo de painel de acabamento. O uso de placas de rocha com insertos ou painéis em ACM é mais tradicional quando comparado ao uso de painéis cerâmicos e consequentemente flexibiliza a cadeia produtiva;

- **Contrato e responsabilidade técnica:** comumente esse tipo de revestimento é comercializado como um sistema construtivo, ou seja, são fornecidos todos os componentes do revestimento e sua instalação. A não exigência de um projeto executivo e a montagem realizada por terceiros pode depor contra a solução;

- **Estimativa de preço (R\$/m²):** a necessidade de uma subestrutura metálica mais robusta e o tipo de painel de acabamento são os principais impactantes na faixa de preço dos revestimentos em consideração.

6.2 - DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS CORTINA VENTILADO

Ainda que a NBR 15.575 estabeleça critérios de desempenho para edificações habitacionais, é possível utilizá-los como referência para demais tipologias de edificações que façam uso do sistema de fachada ventilada.

Dessa forma, o sistema deve atender aos requisitos previstos na parte 4 da NBR 15.575.

6.2.1 - Desempenho estrutural

Ainda não há normas específicas no Brasil para estes sistemas de revestimento, por essa razão, seu dimensionamento é baseado em normas e diretrizes internacionais. A norma alemã DIN 18.516-1, por exemplo, estabelece considerações gerais com relação ao projeto, às cargas atuantes, às variações volumétricas, à execução do sistema de fachada ventilada e à realização de ensaios.

Os requisitos da NBR 15.575 preveem atendimentos às resistências de impacto de corpo duro e de corpo mole. Tais exigências estão expostas na introdução deste manual.

Para o caso de revestimentos ventilados em cerâmica ou rocha, a existência de uma tela de fibra de vidro aderida ao tardoz deve funcionar de forma a impedir a queda de partes do painel em caso de quebra, algo semelhante ao que ocorre com os vidros laminados e aramados.

6.2.2 - Desempenho acústico

O revestimento ventilado leva a vantagem de poder dissipar a energia sonora incidente sobre a fachada uma vez que é descontínuo.

Os valores do índice de redução sonora obtidos pelo sistema por meio de ensaios de laboratório (R_w) devem atender aos valores descritos na NBR 15.575 e apresentados na introdução deste manual.

6.2.3 - Desempenho térmico

A NBR 15.575 estabelece valores máximos para a transmitância térmica (U) e mínimos para a capacidade térmica (CT), os quais são apresentados no capítulo introdutório deste manual.

Este tipo de solução de revestimento pode contar com uma camada de isolante térmico aplicado sobre a parede de vedação externa para atingir os requisitos de projeto.

Em função ainda das condições climáticas

do local pode ser necessário ainda se prevenir de pontes térmicas. É por isso que se observa em regiões mais frias e onde existe sistema de aquecimento, cuidado para evitar contato direto entre a subestrutura do revestimento e a estrutura principal do edifício.

6.2.4 - Segurança contra incêndio

A principal preocupação em relação à resistência a ação do fogo diz respeito a prevenir a propagação vertical por meio da cavidade do revestimento. Deve-se, portanto, compartimentar a cavidade na altura dos peitoris, por meio de barreiras horizontais, resistentes ao fogo, colocando-se o *fire stop*, que pode ser em lâmina mineral, e sobre ele um peitoril de acabamento, conforme ilustrado na Figura 6.11. O mesmo recurso pode ser utilizado na parte superior das aberturas.

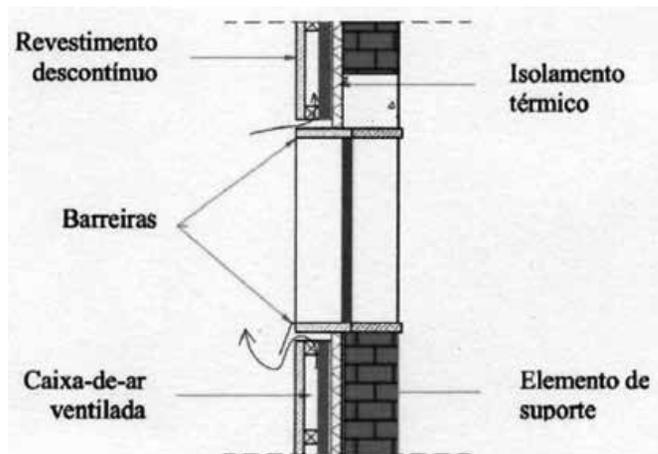


Figura 6.11 – Esquema de barreira contra a propagação vertical do fogo. (MATEUS, 2004)

6.2.5 - Estanqueidade

As juntas abertas dos sistemas de revestimento ventilado estão sujeitas a infiltração de água em função das condições de exposição da região. Por outro lado, a cavidade ventilada tem o potencial de neutralizar a pressão do vento e turbulências responsáveis por forçar a passagem da água para o interior da vedação externa do edifício.

Sistemas de revestimento cortina e ventilado (RCV)

Na Figura 6.12 apresentada pela MARAZZI (1997) com base em ensaios em revestimentos de juntas abertas, pode-se observar que a fração da água incidente que efetivamente se infiltra na cavidade de ar entre o painel de fechamento e vedação interna é apenas uma pequena fração da chuva incidente.

Os revestimentos ventilados com painéis cerâmicos extrudados apresentam a importante vantagem de proporcionar juntas horizontais do tipo macho e fêmea minimizando sensivelmente as possibilidades de passagem da água. Isso não ocorre com as soluções que utilizam placas de rocha e porcelanatos, por exemplo.

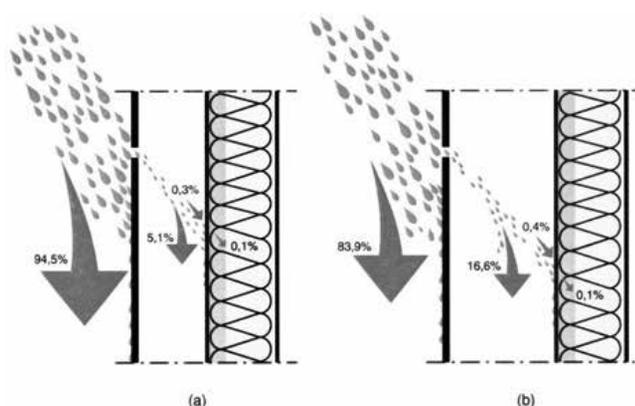


Figura 6.12 – Porcentagem de água incidente sobre a parede do edifício no caso de juntas abertas (8 mm) em placas de 600 x 600 mm: a) Apenas as juntas horizontais abertas e b) Ambas as juntas abertas. (MARAZZI, 1997)

Deve haver uma preocupação quanto ao correto dimensionamento da câmara de ar. Esse dimensionamento visa garantir que a pressão interna à câmara seja maior do que a externa, de modo que a água, ao passar pelas juntas, escorra por trás dos painéis, sem atingir o substrato.

6.2.6 - Durabilidade e manutenção

O fato do revestimento ventilado ou cortina ser descontínuo previne o risco de fissuração devido às amplitudes térmicas, além de não haver transmissão de esforços entre as placas, visto que as fixações são independentes.

Ainda assim, há de se considerar em

projeto cuidados que garantam uma aparência mais duradoura do edifício, após certo período de utilização. Nesse sentido, alguns detalhes devem ser pensados de modo a reduzir a frequência de manutenção, por levarem em conta:

- acúmulo de sujeira e poluição trazidas pelo ar;
- água da chuva que escorre pela fachada (prever pingadeiras);
- pontos de drenagem em superfícies horizontais nos painéis;
- dispositivos de acesso utilizados pela equipe de limpeza.

Outro ponto a se destacar no que diz respeito à durabilidade do sistema se refere à dilatação dos painéis, de modo que devem ser respeitadas dimensões mínimas de juntas, bem como pontos que possibilitem a movimentação relativa entre componentes.

Painel de alumínio composto

A durabilidade do sistema está intimamente relacionada ao tratamento superficial empregado. As figuras 6.13 e 6.14 apresentam esquemas dos tratamentos com poliéster e com PVDF.

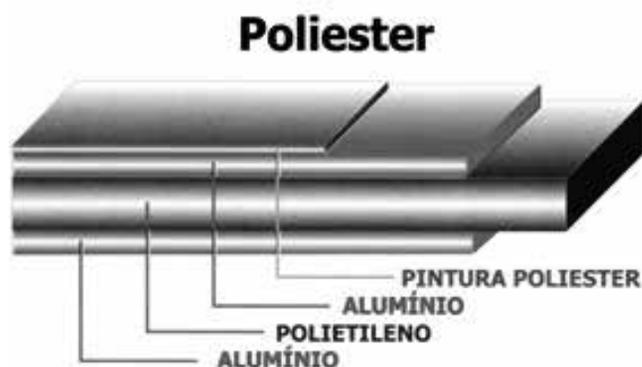


Figura 6.13 – Camadas que compõem a placa ACM, com pintura de poliéster. (BELMETAL)

PVDF

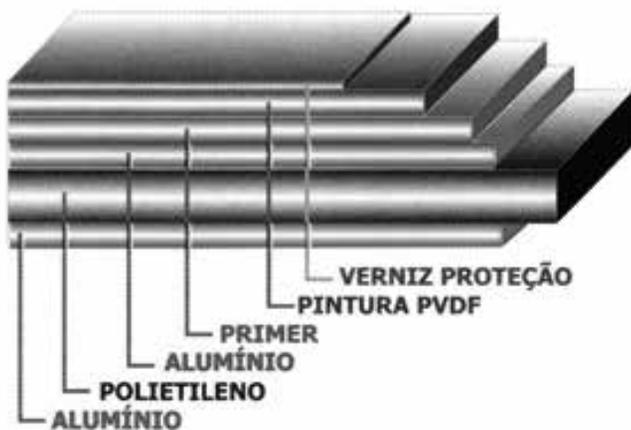


Figura 6.14 – Camadas que compõem a placa ACM, com pintura de PVDF. Este revestimento se apresenta mais adequado ao uso de placas de ACM em revestimentos externos. (BELMETAL)

Tipicamente, o tratamento em PVDF é mais adequado para uso em fachadas de edificações dado que oferece uma maior proteção ao alumínio e às características estéticas dos painéis ao longo dos anos. A manutenibilidade das condições estéticas dos painéis situa-se em torno de 5 anos para tratamento em poliéster e 15 anos para tratamento em PVDF.

Placas de rocha

No que diz respeito a placas de rochas, tem-se que as patologias mais frequentes são a formação de manchas e a lixiviação superficial nas placas, ambas regidas pela absorção de água da rocha empregada.

Selantes e impermeabilizantes agem de modo a evitar essas patologias. Selantes agem penetrando na superfície das rochas, sendo a quantidade de selante absorvido proporcional à capacidade de absorção de água da rocha, além de proporcional à fluidez do próprio selante.

Por serem substâncias hidrofugantes, a quantidade de água permeada nos poros da placa será reduzida, diminuindo a ocorrência de patologias relacionadas. Ressalta-se que

seu uso não deve alterar a textura e o aspecto estético da superfície tratada. (ABIROCHAS, 2009).

Quanto à ação de agentes químicos mais agressivos, o uso de selantes não oferece proteção suficiente. Por sua vez, os impermeabilizantes constituem uma camada sobre a superfície que inibe a interação direta dos agressores com o material.

Ressalta-se que o uso de algum destes produtos em fachadas com placas de rochas só pode ser efetuado mediante testes preliminares em amostras da rocha objetivada, com os mesmos acabamentos de face especificados na obra ou projeto. (ABIROCHAS, 2009).

Mesmo em superfícies não tratadas com selantes e impermeabilizantes, a ação de produtos quimicamente agressivos e/ou manchantes, a partir do contato com a superfície de uma rocha, quase nunca é imediata. Assim, a rápida remoção desses produtos previne a ocorrência de patologias. Desta forma, uma das medidas requeridas para manutenção das placas são serviços periódicos de limpeza. (ABIROCHAS, 2009).

A NBR 15.846 (ABNT, 2010b) recomenda que seja apresentado no projeto do revestimento os procedimentos e a periodicidade para as inspeções da fachada, visando verificar, aspectos como:

- selantes (quando aplicável), quanto à continuidade, adesão às superfícies, coesão e presença de fissuras;
- insertos, quanto à eventual ocorrência de corrosão; e
- eventual deslocamento de placas na fachada.

Os insertos metálicos devem ser constituídos por ligas metálicas em aço inoxidável para apresentar elevada resistência mecânica e à corrosão. As ligas metálicas devem ser em aço inoxidável tipo ABNT 304 (AISI 304) para

atmosferas urbanas e industriais isentas de cloreto. Para atmosferas urbanas, marítimas e industriais que contenham cloretos recomenda-se a liga ABNT 316 (AISI 316). (ABNT, 2010b).

Placas cerâmicas

As placas cerâmicas podem receber um tratamento com dióxido de titânio, o qual, devido a suas propriedades fotocatalíticas, confere características de autolimpeza ao componente, o que permite reduzir a periodicidade de limpeza da fachada (GAIL).

Importante ressaltar que a independência entre os elementos de revestimento proporcionada pelo sistema de fachada ventilada permite a substituição isolada de peças danificadas, o que torna a manutenção mais simples e rápida.

6.3. Projeto de revestimentos cortina e ventilado

Através do cálculo estático se determina o espaçamento entre os pontos de ancoragem e dimensionamento dos perfis da sua subestrutura e das ancoragens. Os pontos de apoio dos painéis, suas dimensões máximas e espessuras são normalmente resultado de ensaios de laboratório.

Os dois parâmetros mais importantes para o dimensionamento são o peso próprio do conjunto e o regime de ventos da região.

6.3.1 - Especificação e dimensionamento

A especificação do sistema de fachada ventilada, portanto, é função de uma série de variáveis a serem ponderadas, como:

- altura da edificação;
- geometria da fachada;
- disposição das esquadrias;
- material do painel e, eventual tratamento superficial;
- sistema de fixação; e
- medidas dos painéis.

De acordo com MOURA (2009), “o espaçamento das juntas deve ser de 4 mm a 10 mm (em função da dimensão das placas), o suficiente para absorver os desvios geométricos dos painéis e eventuais imprecisões de montagem”.

Com relação às medidas dos painéis, pode-se buscar uma modulação que evite recortes, apresentando um ganho de produtividade, e que permita composições harmônicas com as esquadrias e outros detalhes da fachada.

Quanto à instalação dos painéis, o projetista tem liberdade quanto à determinação da sequência de execução, no entanto ela tem o ajuste de nível facilitado quando se dá a partir dos pavimentos superiores (ROCHA, 2011).

Quanto ao sistema de fixação dos painéis de ACM, por exemplo, de acordo com Oliveira e Fernandes (2009), algumas tipologias possíveis para o sistema de revestimento ventilado são:

- Sistema rebitado;
- Bandeja parafusada;
- Bandeja pendurada (gancho e pino);
- Sistema de encaixe (macho-fêmea);
- Prensado com duplo ômega.

Ainda a respeito dos painéis de ACM, fabricantes sugerem que, dado o uso de selantes seja evitado o contato entre estas substâncias e a superfície dos painéis, a fim de se evitar manchamentos. O uso de filme plástico de proteção pode ser empregado com esta finalidade.

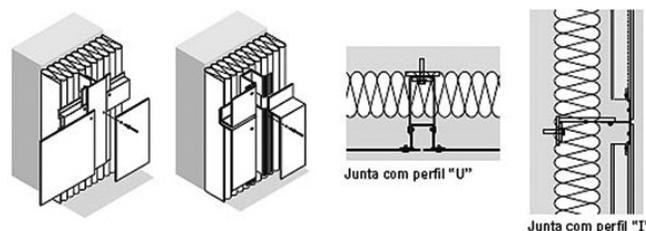
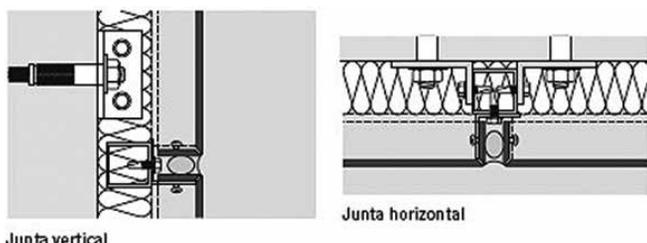


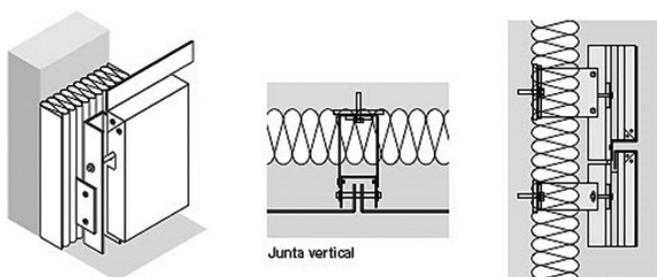
Figura 6.15 – Sistema com painéis de ACM – Sistema rebitado. (MOURA, 2009)



Junta vertical

Junta horizontal

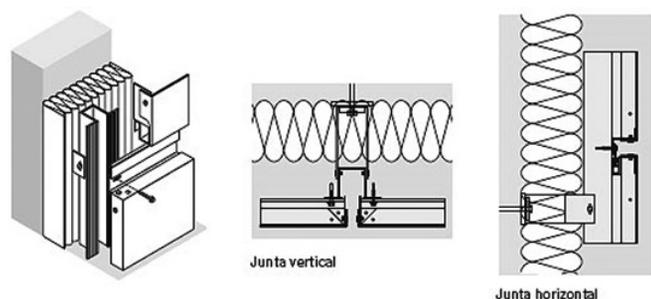
Figura 6.16 – Sistema com painéis de ACM - Bandeja para-fusada. (OLIVEIRA, 2009)



Junta vertical

Junta horizontal

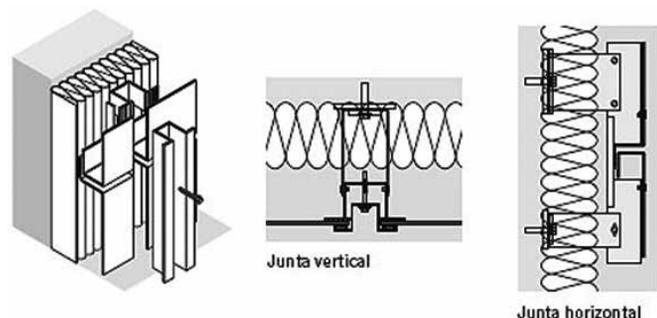
Figura 6.17 – Sistema com painéis de ACM - Bandeja pendurada. (OLIVEIRA, 2009)



Junta vertical

Junta horizontal

Figura 6.18 – Sistema com painéis de ACM – Sistema de encaixe (macho-fêmea). (OLIVEIRA, 2009)



Junta vertical

Junta horizontal

Figura 6.19 – Sistema com painéis de ACM – Prensado com duplo ômega. (OLIVEIRA, 2009)

6.3.2 - Detalhes de projeto

O projeto dos revestimentos do tipo cortina ou ventilado deve ser elaborado e detalhado de modo a facilitar a execução e permitir atingir os níveis de desempenho fixados pelas normas.

Embora muitos destes revestimentos sejam de fácil montagem, somente um projeto bem elaborado é capaz de assegurar uma execução racional e segura.

A seguir apresentam-se para alguns dos tipos de materiais utilizados nestes revestimentos e detalhes relevantes de projeto. Nem todos os tipos são particularizados mais a maioria dos critérios tem aplicação comum.

Painéis de alumínio composto

Os painéis de ACM são mais versáteis que seus concorrentes sendo possível obter formas curvas de tal modo a revestir um pilar de seção retangular como mostra a Figura 6.21.

Para dobrar os painéis e realizar os detalhes do projeto é necessário prever ranhuras no seu verso como mostra a Figura 6.20.

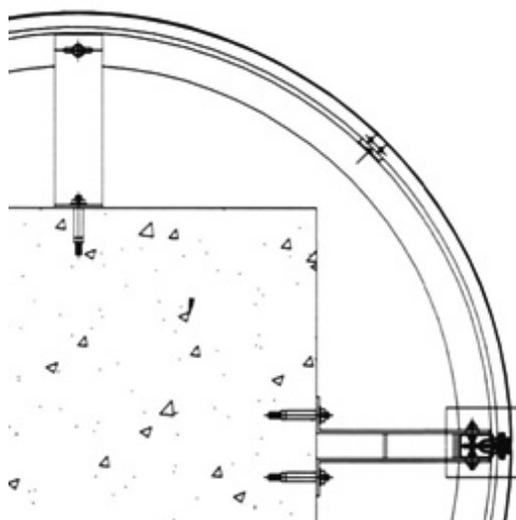


Figura 6.21 – Flexibilidade do ACM no revestimento de pilares retangulares. (BELMETAL)

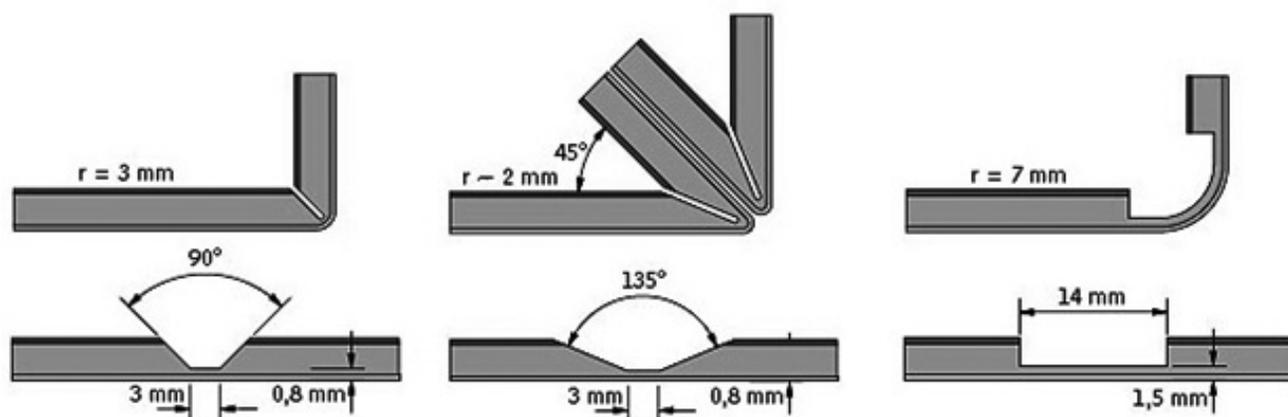


Figura 6.20 – Formas das ranhuras realizadas no verso dos painéis de ACM. (OLIVEIRA, 2009)

Placas de rocha

Para a instalação de insertes os orifícios nas bordas dos cantos das placas pétreas precisam ser executados com precisão para evitar a ocorrência de excentricidade e de diâmetros excessivos dos furos, o que poderia trazer prejuízo à resistência da parede da placa. É por isso que em muitos projetos se proíbe o uso de placas com espessura inferior a 30 mm.

A NBR 15.846 (ABNT, 2013b) especifica ainda que deve ser adotado um coeficiente de segurança de no mínimo três no cálculo da espessura das placas de rocha. Os insertos devem ser concebidos de modo a evitar a transmissão de tensões adicionais ao revestimento em função de movimentações diferenciais entre placa e suporte.

Eles devem ser dimensionados considerando-se as funções de sustentação (resistir às cargas paralelas ao plano da placa) e retenção (resistir às cargas perpendiculares ao plano da placa), adotando-se um coeficiente de segurança de 2,5, no mínimo.



Figura 6.22 – Sistema de fixação de placas de granito. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Esta mesma norma especifica ainda, no caso das juntas, que deve haver uma coincidência, em comprimento e largura, entre as juntas no revestimento e as juntas de dilatação existentes no suporte, bem como premissas em geral a serem seguidas na etapa de elaboração do projeto.

As Figuras 6.23 e 6.24 trazem alguns detalhes de sistemas de fixação de placas de rocha.

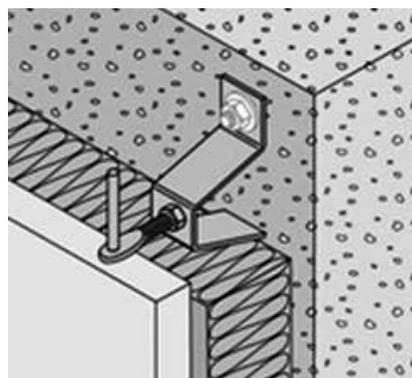


Figura 6.23 – Corte esquemático com esquema de fixação de placas de rocha em fundo de viga. (ENOX, 2014)

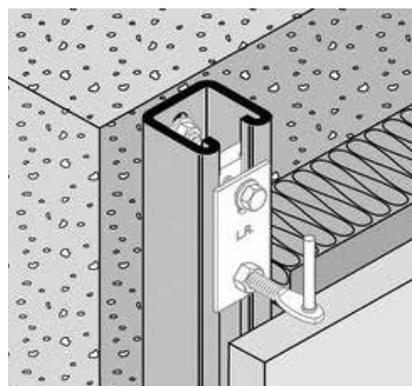


Figura 6.24 – Detalhe do chumbador e do sistema de fixação de placas de rocha. (ENOX, 2014)

Placas cerâmicas

Existem ainda sistemas de fixação de placas cerâmicas que dispensam o uso de furos ou cortes, pois a fixação se dá por meio de encaixe entre ranhuras presentes na face posterior dos painéis e acessórios próprios. Dessa forma, a subestrutura fica oculta, não comprometendo o caráter estético da fachada, além de permitir a troca rápida de um único painel.

Parafusos e chumbadores devem ser especificados em aço inoxidável, ao passo que as cantoneiras L e os perfis T devem ser produzidos com liga de alumínio adequada à durabilidade exigida e a agressividade a que serão expostas. Todo o cálculo estático e dimensionamento devem seguir as normas de estruturas da ABNT.

O uso de tais metais busca garantir vida útil ao sistema, pois procura inibir a formação de “pontes galvânicas”, que acarretariam corrosão, conforme comentado no capítulo inicial deste manual.

As Figuras 6.25 e 6.26 mostram detalhes de projeto de um sistema de revestimento ventilado com painéis extrudados.

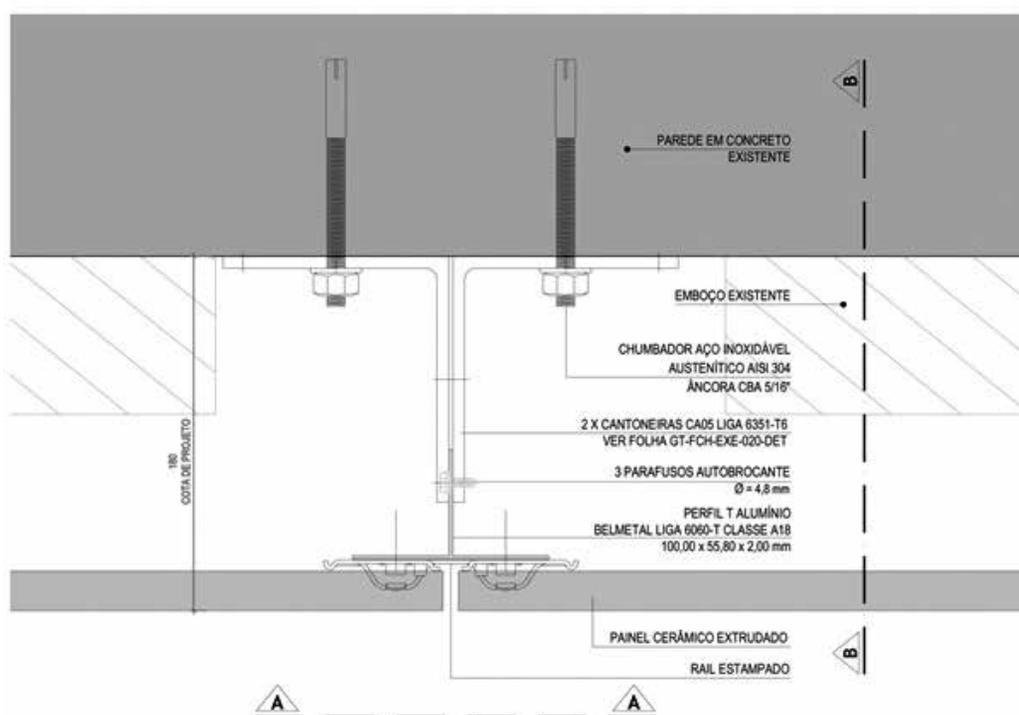


Figura 6.25 – Detalhe em planta da ancoragem de um sistema de revestimento de fachada ventilada com painéis cerâmicos extrudados. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Sistemas de revestimento cortina e ventilado (RCV)

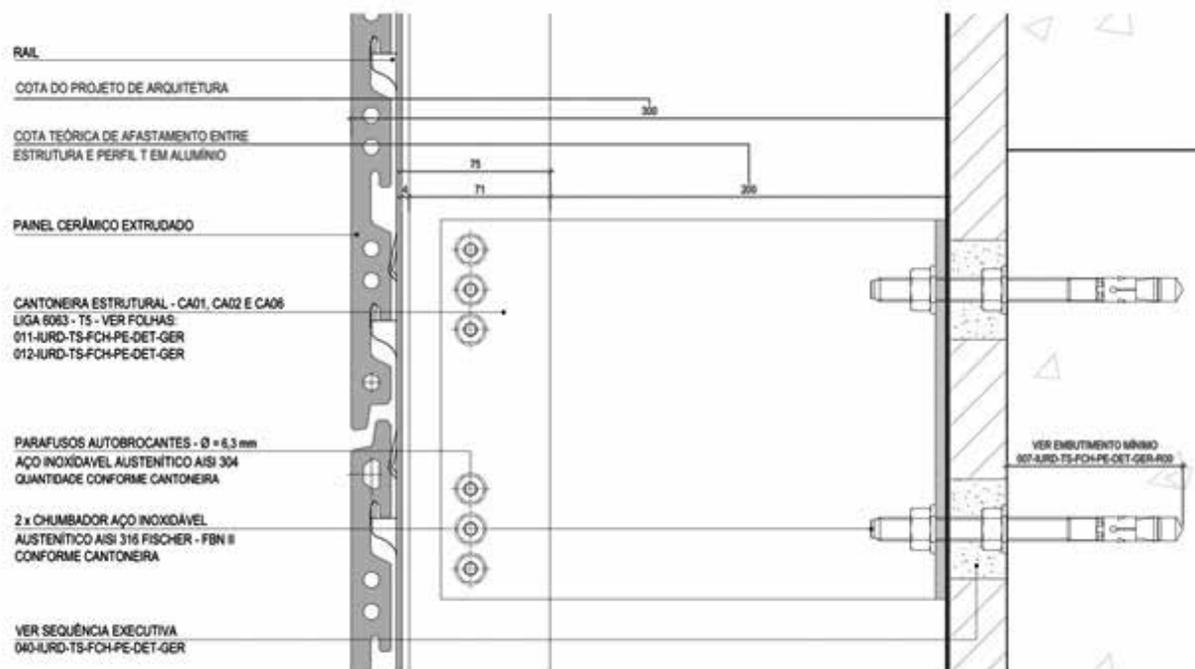


Figura 6.26 – Vista da ancoragem estrutural de um sistema de revestimento de fachada ventilada com painéis cerâmicos extrudados. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

A Figura 6.27 ilustra uma elevação da fachada, indicando a paginação dos painéis cerâmicos utilizados.

A Figura 6.28, por sua vez, apresenta um detalhe executivo em corte do mesmo.

Já a Figura 6.29 mostra uma planta do sistema de fixação dos painéis no encontro de dois planos.

	3.96			
410/C02	P30/410	P30/410/C03	P30/410	P30/410/C04
410/C02	P30/410	P30/410/C03	P30/410	P30/410/C04
410/C02	P30/410	P30/410/C03	P30/410	P30/410/C04
410/C02	P30/410	P30/410/C03	P30/410	P30/410/C04
410/C02	P30/410 A1	P30/410/C03 A1	P30/410 A1	P30/410/C04
	P30/410 A2	P30/410/C03 A2	P30/410 A2	
	P30/410	P30/410/C03	P30/410	
	P30/410	P30/410/C03	P30/410	
	P30/410	P30/410/C03	P30/410	
	P30/410	P30/410/C03	P30/410	
	P30/410	P30/410/C03	P30/410	

Figura 6.27 – Elevação apresenta paginação de um trecho da fachada com painéis cerâmicos. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

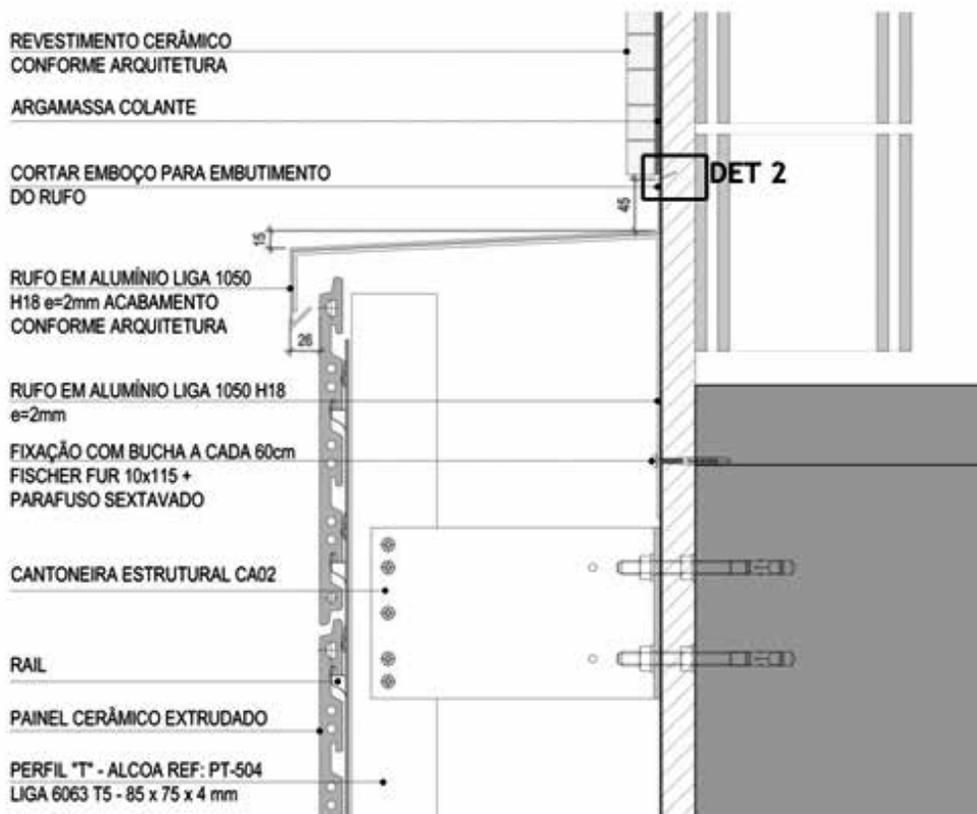


Figura 6.28 – Detalhe executivo em corte do sistema de revestimento ventilado com painéis cerâmicos extrudados. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

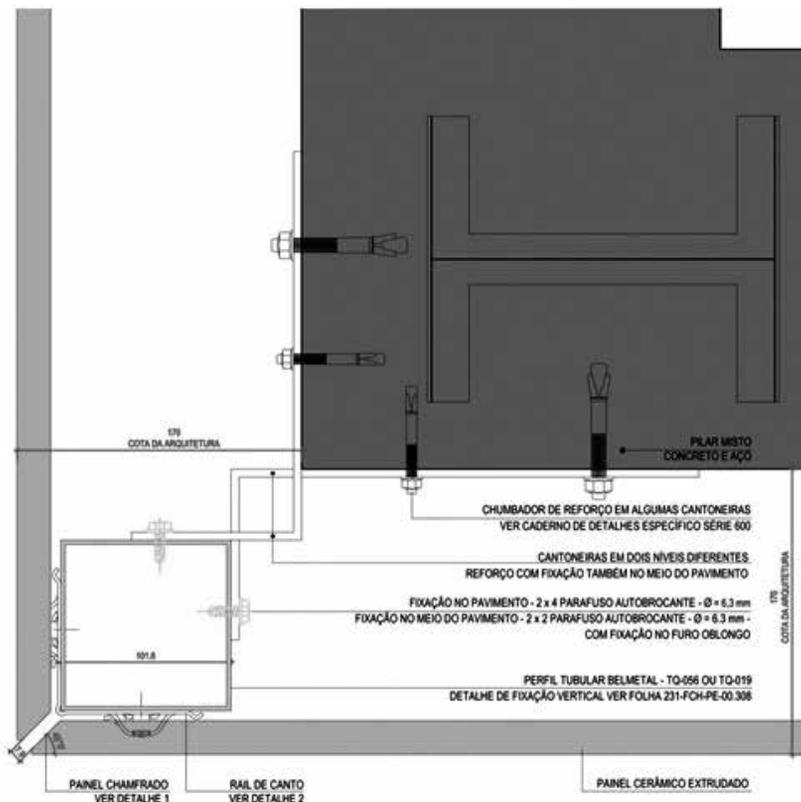


Figura 6.29 – Detalhe em planta do encontro de dois painéis cerâmicos de um revestimento ventilado. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)



Referências Bicliográficas

Referências bibliográficas

ABRAVIDRO. Tipos de vidro. Disponível em : < <http://www.andiv.com.br>>. Acesso em: 22 out.2013.

ALELUIA Cerâmicas. Sistema Fachada Ventilada. Disponível em: <<http://www.aleluia.pt/index.php?cat=61&marca=48&tipologia=53&serie=6431>>. Acesso em: 28 out. 2013.

ALMEIDA, M. C. Fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha: comparativo dos processos de execução. Trabalho de Diplomação (Graduação) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide for precast concrete wall panels – ACI 533R. Detroit, 1993.

ARNOLD, Chris. Seismic safety of the building envelope. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/env_seismicsafety.php?r=envelope>. Acesso em: 19 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Guia de aplicação de rochas em revestimento. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR 5674 : Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 6355 : Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7008 : Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7013 : Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7199: Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 7358 : Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – Determinação das características de inflamabilidade. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 8995 – 1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 9442 : Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 10152 : Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 10821 : Esquadrias externas para edificações. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 10821 – 1: Esquadrias externas para edificações – Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 10821 – 2: Esquadrias externas para edificações – Parte 2: Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2011. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10821 – 3: Esquadrias externas para edificações – Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 11364 : Painéis termoisolantes à base de lã de rocha - Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR 11706: Vidros na construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 11948 : Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da flamabilidade. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 12609: Alumínio e suas ligas – Tratamento de superfície – Anodização para fins arquitetônicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 13756: Esquadrias de alumínio – Guarnição elastomérica em EPDM para vedação – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 14125: Alumínio e suas ligas – Tratamento de superfície – Revestimento orgânico para fins arquitetônicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 14432 : Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 14697: Vidro laminado. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 14698: Vidro temperado. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 14762 : Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15253 : Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 15366-2 : Painéis industrializados com espuma rígida de poliuretano. Parte 2: Classificação quanto à reação ao fogo. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 15366-3 : Painéis industrializados com espuma rígida de poliuretano. Parte 3: Diretrizes para seleção e instalação em edificações e câmaras frigoríficas. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 15446: Painéis de chapas sólidas de alumínio e painéis de material composto de alumínio utilizados em fachadas e revestimentos arquitetônicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 15498 : Placa plana cimentícia sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR 15575-1 : Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575-4 : Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15578 : Bobinas e chapas de aço revestidas com liga 55% alumínio – zinco pelo processo contínuo de imersão a quente - Especificação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15737: Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial – Colagem de vidros com selante estrutural. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 15844: Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Rio de Janeiro, 2010.

Referências bibliográficas

_____. NBR 15846: Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15919: Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial – Colagem de vidros com fita dupla-face estrutural de espuma acrílica para construção civil. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 16401-2 : instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários – parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR NM 293: Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios a sua aplicação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR NM 295: Vidro aramado. Rio de Janeiro, 2004.

BAZZOCCHI, F. Facciate Ventilare: Architettura, prestazioni e tecnologia. Firenze: Ed. Alinea, 2002.

BELMETAL. Inovando seus projetos – Alu Composite Coat.

BRANDÃO, R. S. Acesso ao Sol e à Luz Natural: Avaliação do impacto de novas edificações no desempenho térmico, luminoso e energético do seu entorno. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2004.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desempenho de edificações habitacionais – guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CANADIAN SHEET STEEL BUILDING INSTITUTE. Lightweight steel framing: architectural design guide. Canadá: Cambridge, 2002.

CEBRACE. Tipos de vidros. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro/tipos-vidros>>. Acesso em: 20 out. 2013.

COELHO, R. A. Interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares. Gerdau. 2007.(Coletânea do Uso do Aço).

DÂNICA. Dânica presentation – civil construction, 2013.

DÂNICA. Divisão construção civil: coberturas, fechamentos portas e acessórios – PUR / PIR, 2013 .

DAYBRASIL. Produtos para Arquitetura e Construção Civil. 2013.

DE LUCA, C. R. Desempenho acústico em sistemas Drywall. São Paulo: Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall. 2011.

DETAIL Engineering. Building design at Arup. Vol 2. Munich : DETAIL, 2013.

_____. Bollinger + Grohmann. Vol 3. Munich : DETAIL, 2013.

_____. Schlaich bergermann und partner. Vol 1. Munich : DETAIL, 2011.

DETAIL. Review of Architecture and Construction Details – Steel Construction. Vol 5. Munich : DETAIL, 2013.

DNA VIDROS. Disponível em: <<http://www.dnavidros.com.br/produtos-vidro-refletivo.php>>. Acesso em: 01 nov. 2013.

EUROPEAN STANDARDS. EN 14617: Agglomerate stone. 2012.

EUROPEAN STANDARDS. EN 438: High-pressure decorative laminates (HPL). Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates). Compact laminate and HPL com-

posite panels for internal and external wall and ceiling finishes. 2005.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. Dicas para especificação de sistemas de fachadas. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitetura.com.br/noticias/416/Dicas-para-especificacao-de-sistemas-de-fachadas.aspx>>. Acesso em: 28 out. 2013.

ENOX. Disponível em: <http://www.enox.co.uk/page4.html>. Acesso em: 02 jun. 2014.

FARIA, R.; MARTINS, J. Usados em obras industriais e comerciais, painéis termoisolantes devem ser especificados com base em propriedades térmicas e mecânicas. Revista Técnica, São Paulo, Editora Pini, n. 197, ago. 2013.

FAVENK. Disponível em: <<http://favenk.com/images/fachadaventilada/FACHADA-VENTILADA-1.jpg>>. Acesso em: 28 out. 2013.

FIGUEROLA, VALENTINA. Structural Glazing: Fachadas. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/structural-glazing-fachadas>>. Acesso em: 10 out. 2013.

FONTENELLE, J.H. Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção, 2012.

FREITAS, A.M.S ; CASTRO, R.C. Steel framing: arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual de Construção em Aço).
GAIL. KeraGail – Fachadas Ventiladas.

GELINSKI, G. Átrio une torres e cria prisma de vidro. Revista Finestra, n. 79, 2013.

_____. Desenho inova em planta e fachadas. Revista Finestra, n. 75, 2012.

_____. Megacomplexo abriga torres e shoppings. Revista Finestra, n. 79, 2013.

_____. Vidros definem desenho das fachadas. Revista Finestra, n. 78, 2013.

_____. Volumes definem fachada. Revista Finestra, n. 42, 2005.

GEROLA, G.; FERREIRA, K. Como especificar fachadas ventiladas. Rev. Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, Editora Pini, n.231, jun. 2013.

GLASSEC VIRACON. Glassec Viracon: Soluções inovadoras em vidros de alto desempenho. São Paulo, 2011.

GRANDE, F. M. Desenvolvimento de painel alveolar de concreto armado pré-moldado para habitações de interesse social. Tese (Doutorado) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

GREAT BUILDINGS. Disponível em <http://www.greatbuildings.com/buildings/hallidie_building.html>. Acesso em: 10 out. 2013.

GUARDIAN SUNGUARD. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro/tipos-vidros>>. Acesso em: 23 out. 2013.

GUIA DA CONSTRUÇÃO: revista mensal de construção civil. São Paulo: Editora Pini, n.144,jul.2013.

GUIA DA CONSTRUÇÃO: revista mensal de construção civil. São Paulo: Editora Pini, n.146, set.2013.

GUIA DA CONSTRUÇÃO WEB: revista mensal de construção civil. São Paulo: Editora Pini. Disponível em: <<http://www.guiadaconstrucao.pini.com.br>>. Acesso em: 15 out. 2013.

Referências bibliográficas

HALFEN. CAST-IN CHANNELS. 2012.

HISADA, R.; FUKUMOTO, S.; SHIMURA, S.; CHIGAMI, V. Sistemas com painéis pré-fabricados de concreto. In: SEMINÁRIO NA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 12572: Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4586-1: High-pressure decorative laminates. Sheets made from thermosetting resins. Part 1: Classification and specifications. 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4586-2: High-pressure decorative laminates. Sheets made from thermosetting resins. Part 2: Determination of properties. 2004.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR. Isolamento Térmico. Tomar: Escola Superior de Tecnologia, [entre 2001 e 2013].

KHOURY, J. Curtain Walls. In: KOHN, A. E.; KATZ, P. Building type basics for office buildings. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 139-181.

KINGSPAN BENCHMARK. Disponível em: <http://www.kingspanbenchmark.com/products.aspx> . Acesso em: 20 fev.2014 .

KISS, P. Pulmões Prediais. Revista Técnica, São Paulo, Editora Pini, n. 39, mar.1999.

KNAUF. Aquapanel outdoor. Hoja técnica W38 E. 2009.

_____. Aquapanel – Cement board exterior systems.

_____. Aquapanel exterior wall – Technical solutions for drywall exteriors.

_____. Revestimento de fachadas. Hoja técnica W68 E 2010.

LIU, A. W. Diretrizes para projetos de edifícios de escritórios. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2010.

MARAZZI TECNICA ENGINEERING. Parete Ventilata. Italy, 1997.

MATEUS, R. F. M. S. Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2004.

MEDEIROS, HELOÍSA. Fachada ajustável. Revista Técnica, São Paulo, Editora Pini, n. 197, 2013.

_____. Módulos unitizados criam fachada dinâmica. Revista Finestra, n. 59, 2009.

METAL CONSTRUCTION ASSOCIATION. Environmental product declaration for Insulated Metal Panels. Chicago, 2013.

METAL CONSTRUCTION ASSOCIATION. Insulated Metal Panels. Disponível em: <<http://www.metalconstruction.org/insulated-metal-panels>>. Acesso em: 23 out. 2013.

_____. Selection guideline for insulated metal panels. Chicago, 2010.

MOURA, E. Fachadas respirantes. Revista Técnica, São Paulo, Editora Pini, n. 144, mar. 2009.

MOREIRA, S. T. F. Estudo sobre o revestimento de fachadas de edifícios altos com placas de granitos ornamentais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NAKAMURA, J. Envelope transparente. Rev. Arquitetura e Urbanismo, n. 166, 2008.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. Bimetallic corrosion – Guides to good practice in corrosion control. NPL, 2000.

OLIVEIRA, L. A.; SABBATINI, F. H. Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto: Estudo de caso. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1 / Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2004. Anais... S.L., 2004.

OLIVEIRA, S.; FERNANDES, R. Instalação de painel de alumínio composto em fachadas. Rev. Técnica, São Paulo, n. 150, set. 2009.

PAIVA, C. Recortada, escalonada e com planos inclinados. Revista Finestra, São Paulo, Editora Arcoweb, n. 39, 2004.

PATTERSON, M. Structural glass façades and enclosures. Ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2011.

PERFILOR. Guia de Especificação. São Paulo, 2007.

PORTAL METÁLICA. Fachadas “Pele de Vidro”. Disponível em: <<http://www.metlica.com.br/fachadas-pele-de-vidro>>. Acesso em: 20 out. 2013.

PORTAL METÁLICA. Materiais para fachada: sistema Spider Glass. Disponível em: <<http://www.metlica.com.br/materiais-para-fachadas-sistema-spider-glass>>. Acesso em: 20 out. 2013.

Prestressed Concrete Institute. Architectural Precast Concrete. MNL-122, Third Edition, 2007.

Prestressed Concrete Institute. Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete. PCI Publication 121, 1977.

PV PRODUCTION. High Tech Solutions for Thin-film Module Production. Disponível em: <<http://www.photovoltic-production.com/2209/high-tech-solutions-for-thin-film-module-production/>>. Acesso em: 05 nov. 2013.

REIS, M. N. Processo de produção e uso do alumínio na construção civil: contribuição à especificação técnica das esquadrias de alumínio. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2006.

ROCHA, A. P. Fachada Ventilada. Revista Técnica, São Paulo, Editora Pini, n. 176, nov. 2011.

RODRIGUES, F.C. Steel framing: Engenharia. Rio de Janeiro: IBS / CBCA, 2006. (Série Manual de Construção em Aço).

ROSSO, S. Cortina de vidro. Revista Técnica, São Paulo, Editora Pini, n. 122, 2007.

SABBATINI, F. H. et al. Notas de aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais. A industrialização na produção de vedações. – TG-004. São Paulo: Epusp, 2002. 30p.

SANTIAGO, A.K. O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural. Dissertação Mestrado – Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

Referências bibliográficas

São Paulo(Estado) . Polícia Militar - Corpo de Bombeiros. Instrução técnica N° 08/2011 – Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2011.

São Paulo(Estado). Polícia Militar – Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica no 09/11 – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, 2011 .

SCHITTICH, C.; STAIB, G.; BALKOW, D.; SCHULER, M.; SOBEK, W. Glass Construction Manual. 2nd edition revised and expanded. Munich: DETAIL, 2007.

SCHÜCO. Energy²: Poupar energia – Gerar energia. Alemanha, 2010.

SCHÜCO. Fachadas modulares. Alemanha, 2013.

SIQUEIRA JUNIOR, A. A. Tecnologia de fachada-cortina com placas de grés porcelanato. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2003.

SILVA, FERNANDO B. Sistema unitizado de fachadas. Revista Técnica, n. 181, 2011.

SILVA, JAIME. Estrutura metálica define volume. Revista Finestra, n. 54, 2008.

Sistema compensa diferença de prumo. Revista Finestra, n. 77, 2012.

STAMP. Painéis Arquitetônicos. Disponível em: <<http://www.stampffa.com.br/painel-arquitetonico>>. Acesso em: 10 out. 2013.

TECTERMICA. Painel Frigorífico. Disponível em: <<http://www.tectermica.com.br/painel-frigorifico.htm>>.

TRESPA. Disponível em: <<http://www.trespa.com/uk/product/trespar-meteor-facades>>. Acesso em: 02 jun. 2014.

ULMA. Disponível em: <http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/linha-de-produtos/vanguard/sistemas-de-fixacao/>. Acesso em: 02 jun. 2014.

VEDOVELLO, C. A. da Silva. Gestão de Projetos de Fachadas. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2012.

VIDROFORT. Disponível em: <<http://www.vidrofortlondrina.com.br/produos/vidro-laminado>>. Acesso em: 05 nov. 2013.

VIDRO IMPRESSO. Esquadrias e vidros na construção civil. Rev. Vidro Impresso, n. 05, 2001.

WELLER, B.; HÄRTH, K.; TASCHE, S.; UNNEWEHR, S. Glass in Building – Principles, Applications, Examples. Munic: DETAIL, 2009.

Anexo A

Tabela comparativa do
impacto de fatores no custo
final dos sistemas de
vedação e revestimento
entre sistemas

Tabela comparativa do impacto de fatores no custo final dos sistemas de vedação e revestimento entre sistemas

Neste anexo é apresentada uma tabela que elenca e compara os principais fatores relevantes ao custo associado a cada tecnologia de vedação e revestimento de estruturas em aço e seu impacto para cada um dos diferentes sistemas.

O impacto nos custos é avaliado de forma qualitativa e relativa, tendo como referência uma média virtual da influência de cada fator, seja no custo final do sistema, seja no custo global da obra. A avaliação se dá pela estimativa do nível desta influência para cada sistema construtivo, numa escala de 1 a 5.

Nesta análise, não são levados em conta a execução de etapas complementares a cada tecnologia, como a execução de paramentos internos, no caso dos painéis metálicos termoisolantes, e a execução de vedações, no caso dos revestimentos cortina e ventilado.

Por se tratarem de sistemas e tecnologias diversificados e eventualmente com finalidades distintas (vedação e revestimento), alguns fatores que foram considerados importantes para uma dada tecnologia não eram aplicáveis para outras. Neste caso, a avaliação de impacto não foi realizada e nestes campos, portanto, constará o valor "N.A."

Por fim, ressalta-se que, para que quaisquer conclusões sejam derivadas da análise desta tabela, atribua-se ponderações a cada fator, de acordo com os contextos de realização de cada empreendimento

FATORES IMPACTANTES NO CUSTO FINAL DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO E REVESTIMENTO		ALVENARIA CONVENCIONAL REVESTIDA ^A	LIGHT STEEL FRAMING ^B	PAINÉIS METÁLICOS ISOLANTES ^C	PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ^D	FACHADA COM VIDRO	FACHADA COM VIDRO	REVESTIMENTOS VENTILADO E CORTINA		
						STICK ^E	UNITIZADO ^F	PLACAS CERÂMICAS ^G	PAINÉIS DE ACM ^H	PLACAS DE GRANITO ^I
CONSTRUTIBILIDADE	Logística da obra ¹	●●●●●	●●●	●●	●●●●	●●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
	Necessidade de equipamento ²	●	●●	●●●	●●●●●	●●●	●●●●	●●	●●	●●
	Nível de pré-montagem ³	●●●●●	●●●●	●	●	●●	●	●●●	●●●	●●●
	Velocidade de montagem ⁴	●●●●●	●●●●	●	●●●	●●●	●●	●●●	●●●	●●●
	Ajustes durante a montagem ⁵	●	●●	●●●●	●●●●	●●●	●●●●●	●●●	●●●	●●●
	Terminalidade ⁶	●●●●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●	●	●●	●●●
	Necessidade de acabamento final ⁷	●●●●	●●●	●	●●	●	●	●	●	●●
DESEMPENHO	Incremento de desempenho acústico ⁸	●	●●●	●●●	●●	●●●●	●●●●	N.A.	N.A.	N.A.
	Incremento de desempenho térmico ⁹	●	●●	●●	●●●	●●●●●	●●●●●	●●	●●	●●
	Incremento de segurança contra incêndio ¹⁰	●	●●	●●	●	●●●●	●●●●	N.A.	N.A.	N.A.
	Incremento em durabilidade ¹¹	●●	●●●	●●●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	Manutenabilidade ¹²	●●●	●●●	●●	●●	●●●●	●●●●	●	●●●	●●
MERCADO	Cadeia Produtiva ¹³	●	●●●●	●●●	●●	●●●	●●●	●●●	●●	●●
	Contrato e responsabilidade técnica ¹⁴	●●●●●	●●●●	●	●●	●	●	●●	●●	●●
	Estimativa de preço (R\$/m ²) ¹⁵	140,00-180,00	270,00-320,00	160,00-400,00	350,00-500,00	700,00-1900,00	900,00-2200,00	350,00-700,00	250,00-350,00	300,00-500,00

Legenda: ●●●: Impacto financeiro médio;
 ● Impacto financeiro muito abaixo da média; ●●●●: Impacto financeiro acima da média;
 ●● Impacto financeiro abaixo da média; ●●●●●: Impacto financeiro muito acima da média.

^A Alvenaria com revestimento de emboço e acabamento final.

^B Sistema em LSF com gesso acartonado do lado interno e placas cimentícias do lado externo, como revestimento de argamassa regularizadora e acabamento final.

^C Painéis metálicos isolantes e dispositivos auxiliares de fixação.

^D Painéis pré-fabricados de concreto com juntas executadas com selante.

^E Sistema Stick de fachada com vidro e juntas entre quadros preenchidas com silicone.

^F Sistema Unitizado de fachada com vidro, com juntas entre módulos preenchidas com silicone.

^G Sistema de revestimento ventilado com painéis cerâmicos e juntas abertas.

^H Sistema de revestimento cortina com painéis de alumínio composto e juntas seladas com silicone.

^I Sistema de revestimento cortina com placas de granitos fixados por insertos e juntas seladas com silicone.

¹ considera o impacto do emprego de cada tecnologia na sequência executiva da obra, em especial a ocupação do canteiro e a influência ou não no caminho crítico;

² são consideradas as combinações de equipamentos necessárias para a execução de cada sistema;

³ trata-se do nível de pré-montagem com que os componentes do sistema são entregues pelos fornecedores à obra em relação à disposição final da fachada.

⁴ trata-se da avaliação da produtividade diária de execução;

⁵ corresponde ao custo de ajustes devido à situações não previstas durante a execução dos serviços de montagem;

⁶ custo associado à interferências artesanais no produto final;

⁷ avalia a necessidade de acabamento estético adicional à fachada e o custo associado;

⁸ avalia o aumento relativo de custo relacionado a uma melhoria no desempenho acústico alterando-se apenas as especificações dos componentes dos sistemas;

⁹ avalia o aumento relativo de custo relacionado a uma melhoria no desempenho térmico alterando-se apenas as especificações dos componentes dos sistemas;

¹⁰ avalia o aumento relativo de custo relacionado a um aumento da segurança contra incêndios alterando-se apenas as especificações dos componentes dos sistemas. A principal variável levada em conta neste fator é o TRRF (Tabela 1.9).

¹¹ avalia o aumento relativo de custo relacionado à uma melhoria na durabilidade alterando-se apenas as especificações dos componentes dos sistemas;

¹² estima a necessidade e o custo dos procedimentos de manutenção previstos para cada sistema;

¹³ estima o risco financeiro associado ao fornecimento dos componentes de cada sistema;

¹⁴ avalia o nível de centralização da responsabilidade pelo sistema no que diz respeito aos componentes e a instalação;

¹⁵ apresenta a faixa de preço por metro quadrado para a vedação de estruturas metálicas para cada tecnologia, considerando opções mais econômicas e mais dispendiosas, inclusive com variações na configuração dos sistemas. Os valores das estimativas de preços foram coletados no período compreendido entre 01/10/2013 a 31/11/2013.