

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.

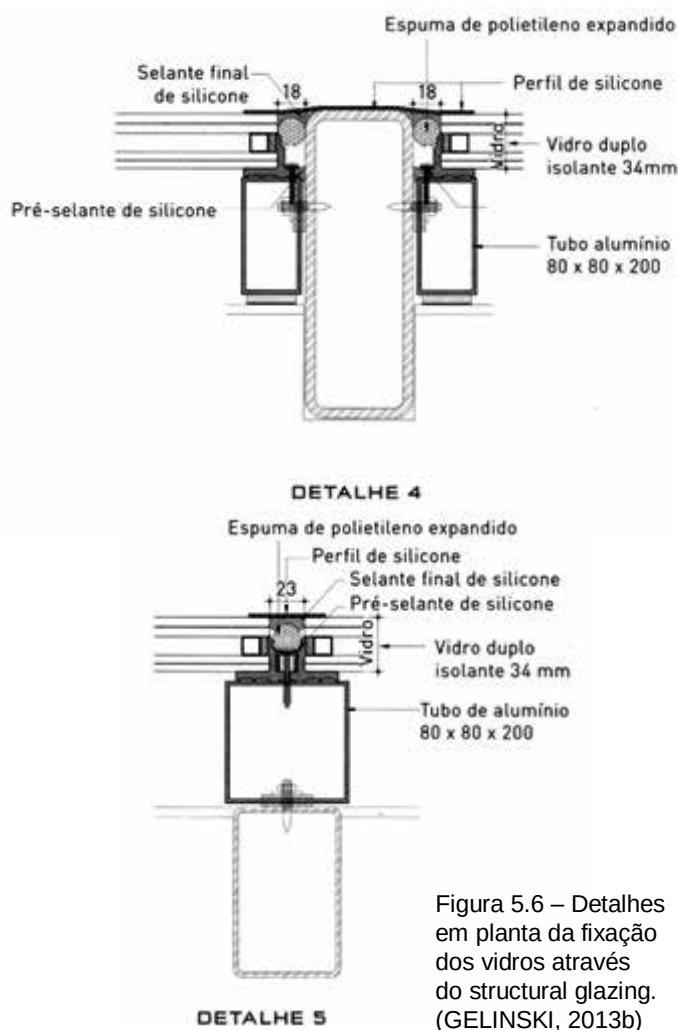


Figura 5.6 – Detalhes em planta da fixação dos vidros através do structural glazing. (GELINSKI, 2013b)

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)

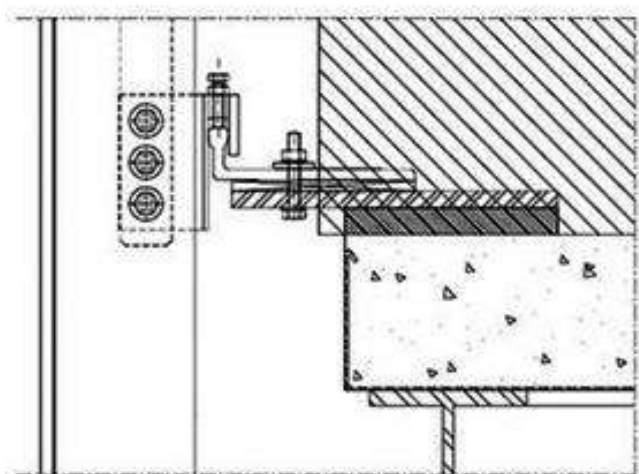


Figura 5.9 – Viabilidade de uso do sistema Unitizado em edificações com estruturas metálicas e laje de concreto. (GELINSKI, 2013a)

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

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).

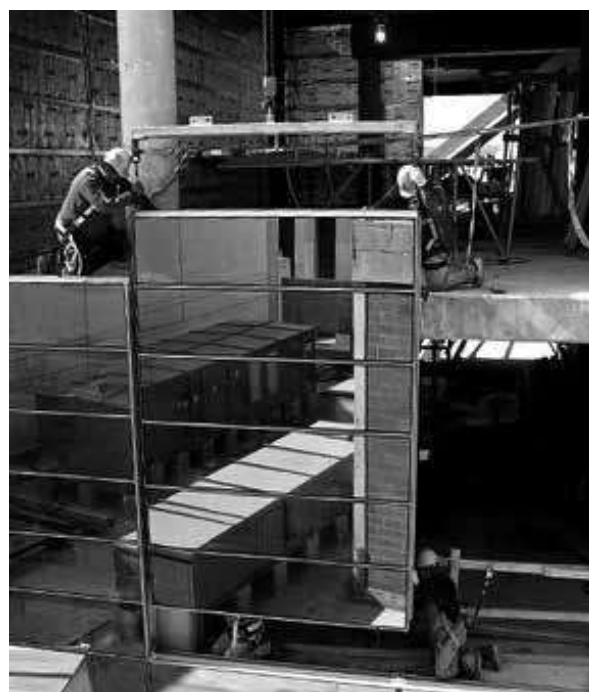


Figura 5.10 – Içamento e instalação de módulo de fachada unitizada. (PATTERSON, 2011)

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)

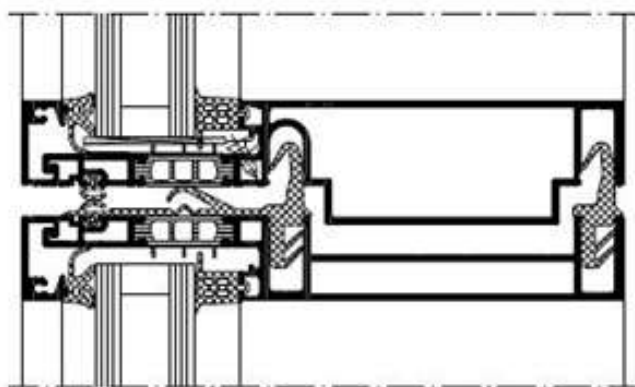
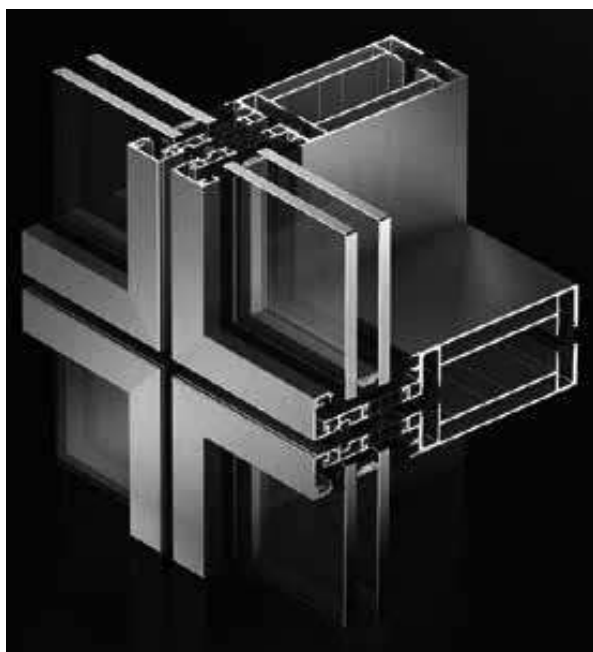


Figura 5.14 – *Mockup* de um módulo do sistema unitizado e seu detalhamento em planta. (SCHÜCO, 2010)

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)

-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.

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.

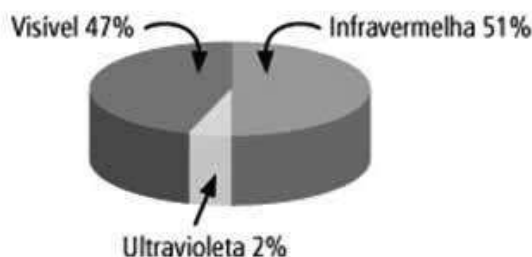


Figura 5.22 – Configuração do espectro solar (GLASSEC, 2013)

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.

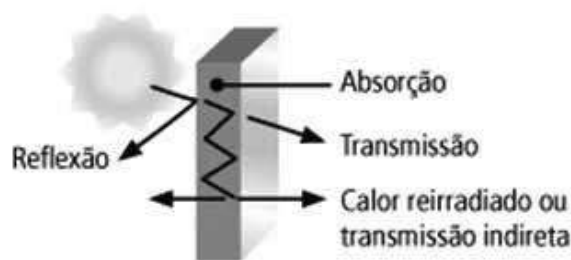


Figura 5.23 – Esquema representativo na energia solar incidente em uma lâmina de vidro (GLASSEC, 2013)

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.

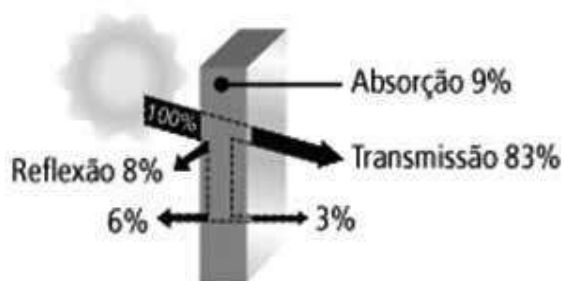


Figura 5.24 – Comportamento incidente de vidro incolor de 3 mm frente à energia solar. (GLASSEC, 2013)

- 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.

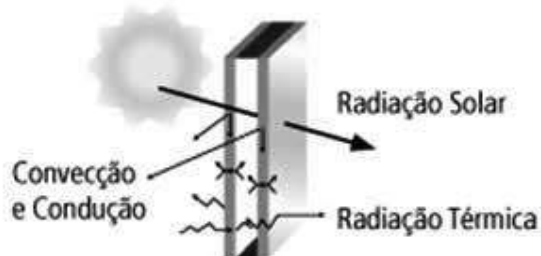


Figura 5.25 – Métodos de transferência de calor. (GLASSEC, 2013)

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.

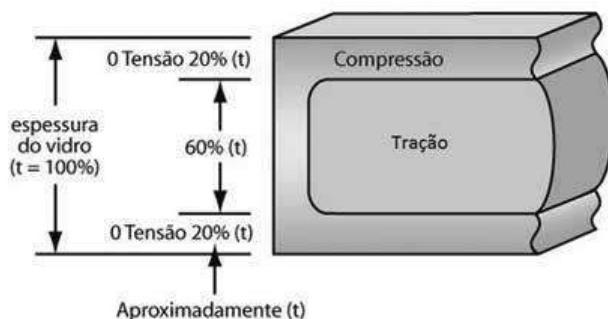


Figura 5.27 – Configuração de tensões do vidro após tratamento com calor. (GUARDIAN, 2013)

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 ved 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.

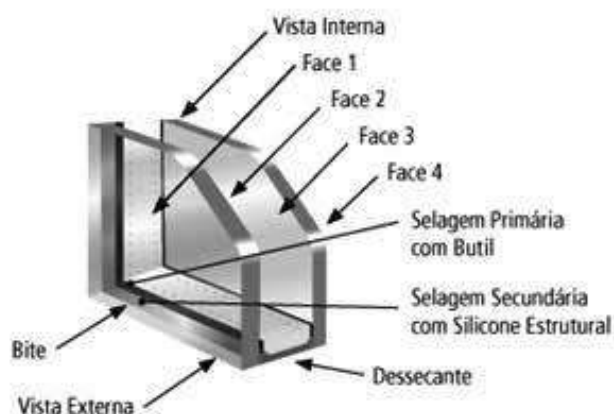


Figura 5.31 – Vidro insulado. (GLASSEC, 2013)

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.

- 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)

- 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.

- 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).

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.

- 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.

- 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.

- 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 W/m².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).

- 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).

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).

- 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.

- 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.

- 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).

- 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.

- 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	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.	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	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.	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	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.	1. Transporte dos componentes pode provocar o danos nos componentes;
	OBRA	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.	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.

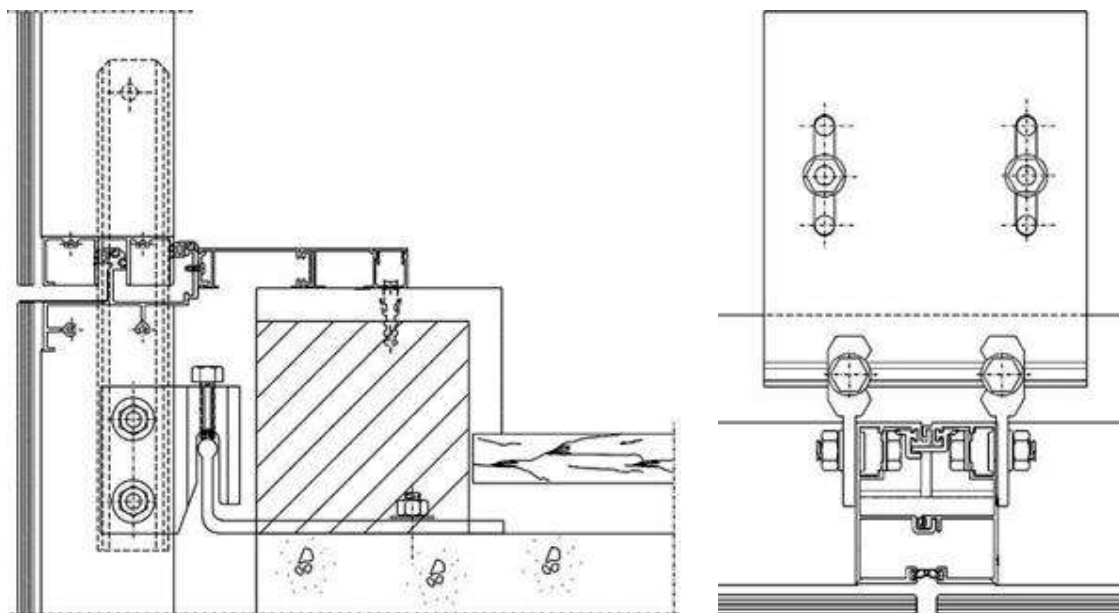


Figura 5.33 – Detalhe de sistema de ancoragem para sistema Unitizado. (FINESTRA, 2012)

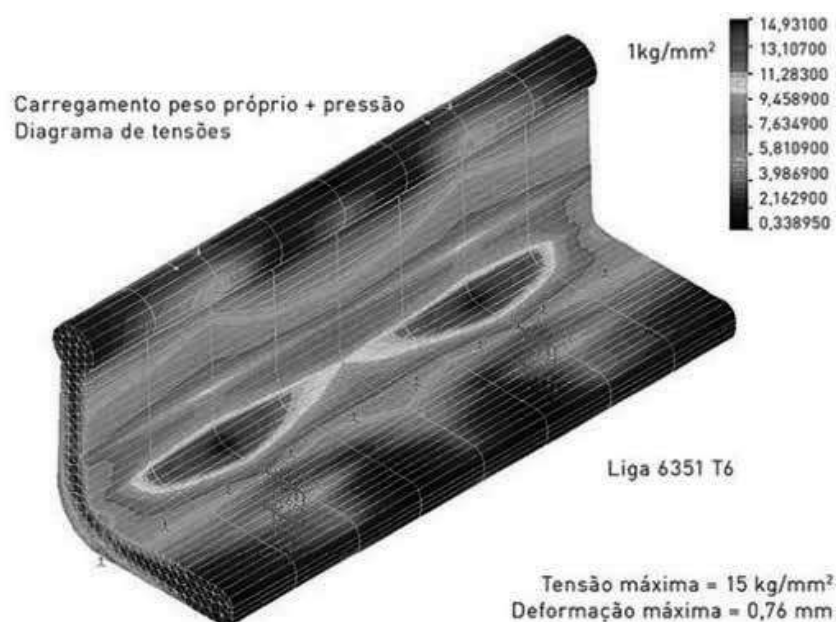


Figura 5.34 – Diagrama de tensões em perfil de ancoragem para sistema Unitizado. (FINESTRA, 2012)

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.

- 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)

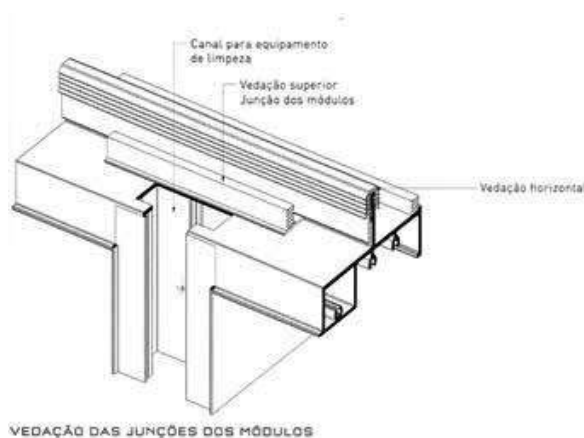


Figura 5.36 – Detalhe das junções entre módulos. (GELINSKI, 2012)

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)

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)

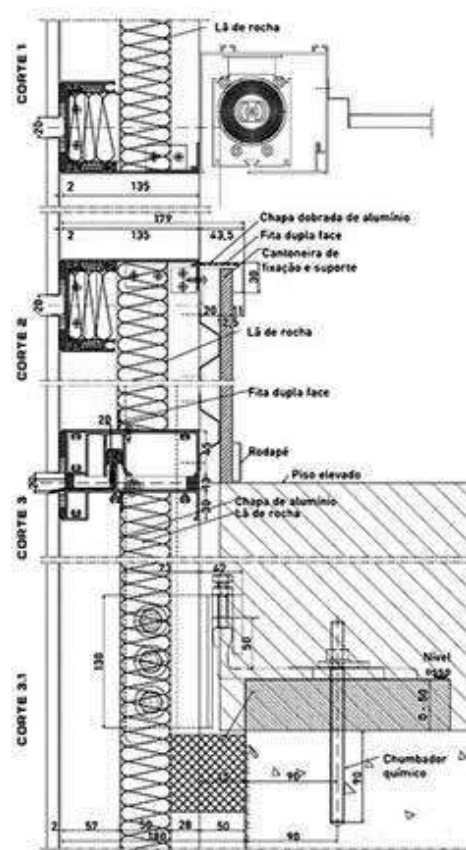


Figura 5.39 – Corte vertical do sistema Unitizado de fachada. (GELINSKI, 2013a)

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).

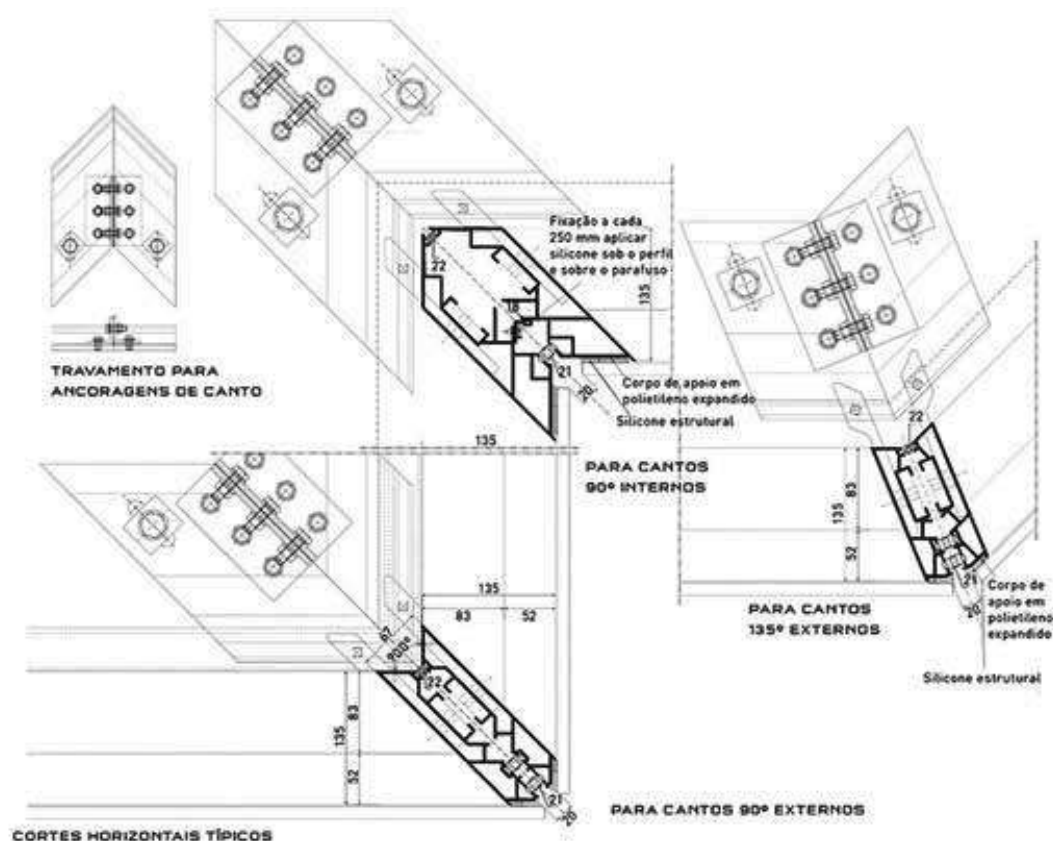


Figura 5.40 – Detalhes do sistema Unitizado e suas fixações. (GELINSKI, 2013a)

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)

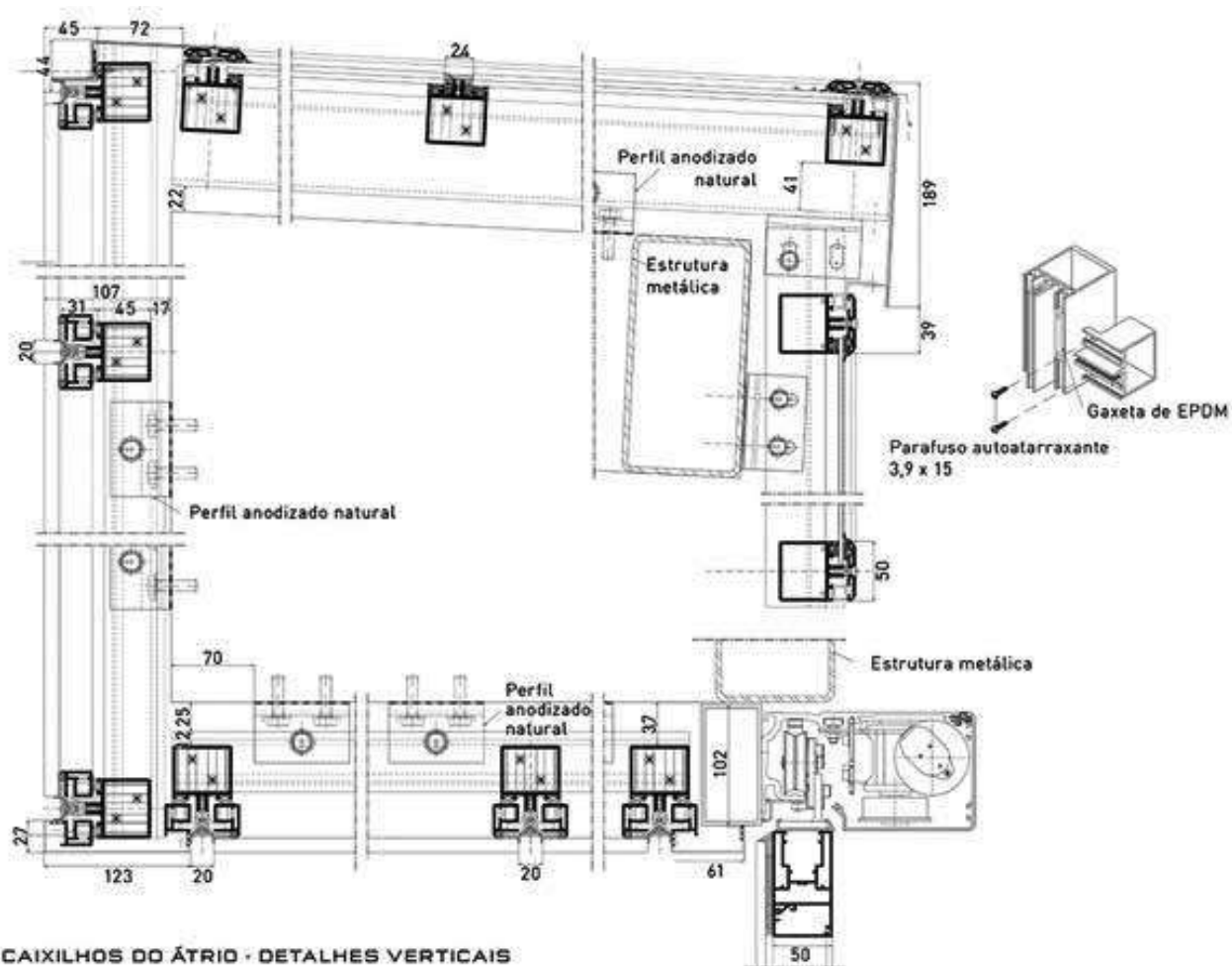


Figura 5.42 – Detalhes do sistema Structural Glazing e suas fixações. (GELINSKI, 2013a)



Sistemas de revestimento
cortina e ventilado (RCV)

- 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.

- 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 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).

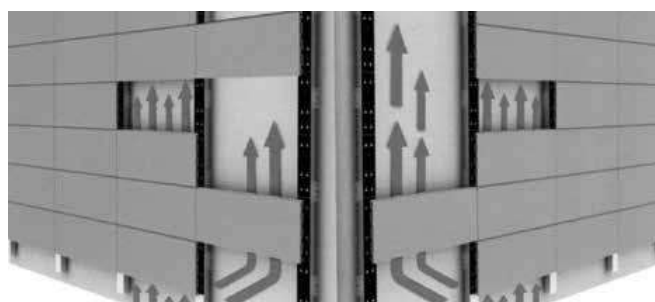


Figura 6.1 – Esquema de funcionamento do “efeito chaminé” cujo princípio de funcionamento permite a circulação do ar da cavidade de um revestimento ventilado. (GAIL, 2013)

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.

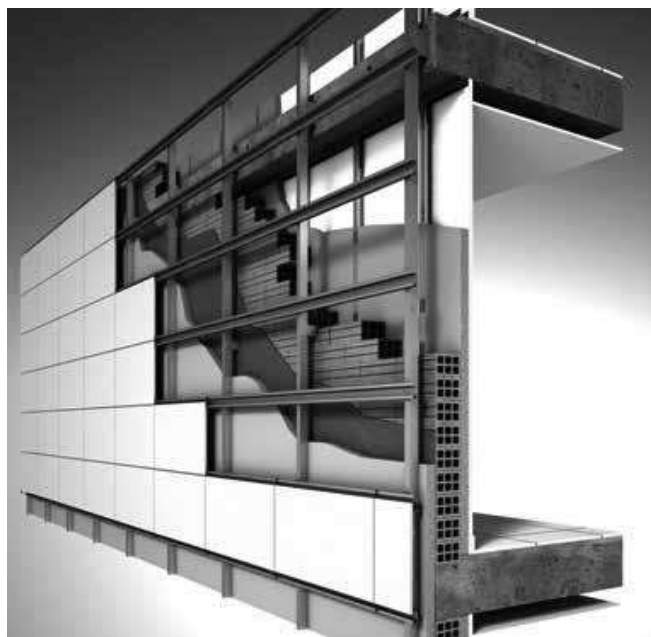


Figura 6.2 – Esquema de um revestimento ventilado com painéis cerâmicos mostrando o paramento exterior e a vedação interna em alvenaria. (FAVENK, 2013)

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.

- 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.



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 subdivididas 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.

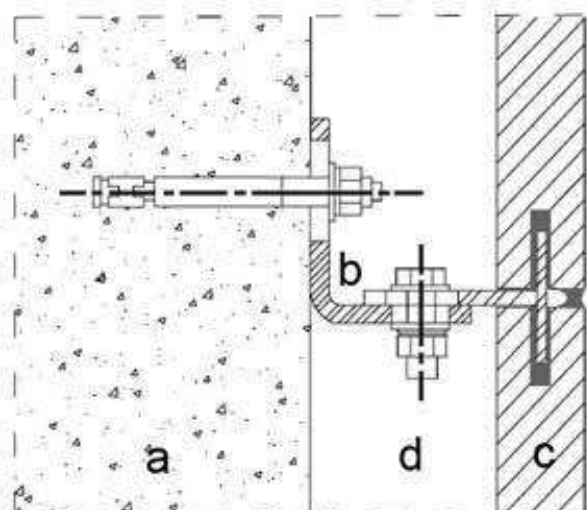


Figura 6.7 – Detalhe de fixação de placa de rocha em estrutura de concreto através de inserto metálico, onde: (a) estrutura da edificação, (b) inserto metálico, (c) placa de rocha e (d) colchão de ar. (MOREIRA, 2005)

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 regulação 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 pesados 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)

- 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.

- 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.

- 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.

- 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 tardo de 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.

- 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.

- Desempenho térmico

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

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.

- 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.

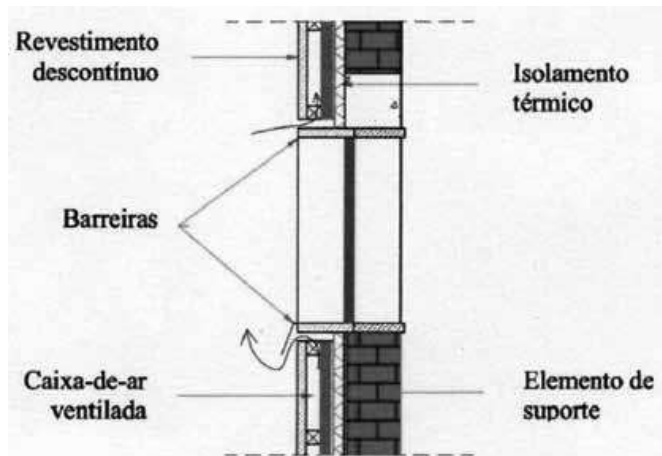


Figura 6.11 – Esquema de barreira contra a propagação vertical do fogo. (MATEUS, 2004)

- 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.

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.

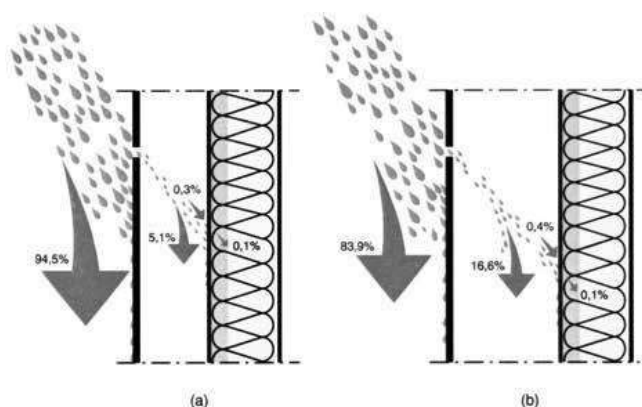


Figura 6.12 – Porcentagem de água incidente sobre a parede do edifício no caso de juntas abertas (8 mm) em placas de 600 x 600 mm: a) Apenas as juntas horizontais abertas e b) Ambas as juntas abertas. (MARAZZI, 1997)

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.

- 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.

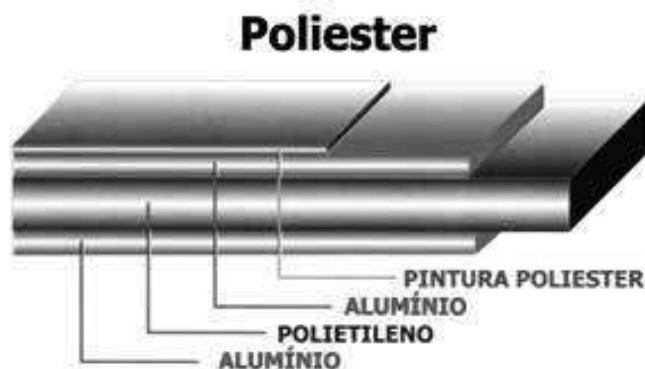


Figura 6.13 – Camadas que compõem a placa ACM, com pintura de poliéster. (BELMETAL)

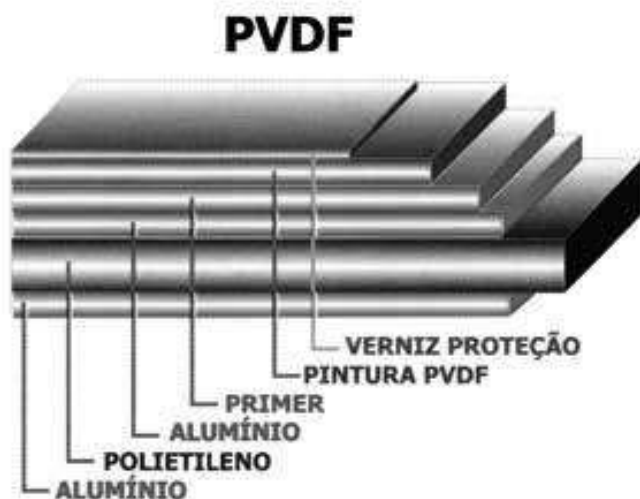


Figura 6.14 – Camadas que compõem a placa ACM, com pintura de PVDF. Este revestimento se apresenta mais adequado ao uso de placas de ACM em revestimentos externos. (BELMETAL)

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.

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.

- 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.

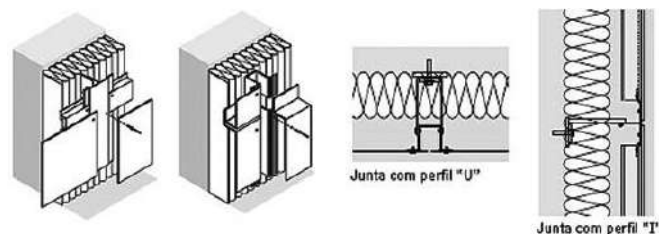


Figura 6.15 – Sistema com painéis de ACM – Sistema rebitado. (MOURA, 2009)

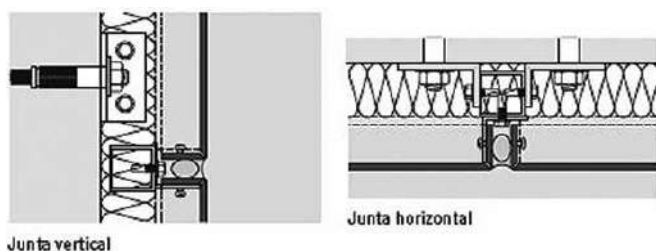


Figura 6.16 – Sistema com painéis de ACM - Bandeja para-fusada. (OLIVEIRA, 2009)

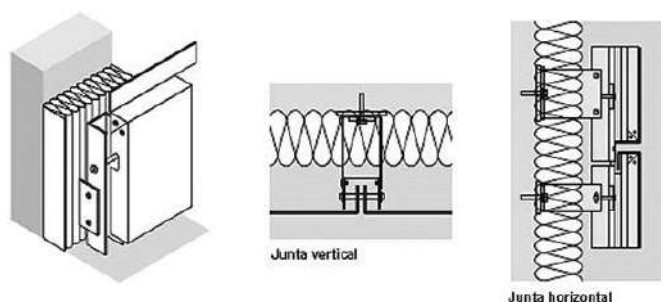


Figura 6.17 – Sistema com painéis de ACM - Bandeja pendurada. (OLIVEIRA, 2009)

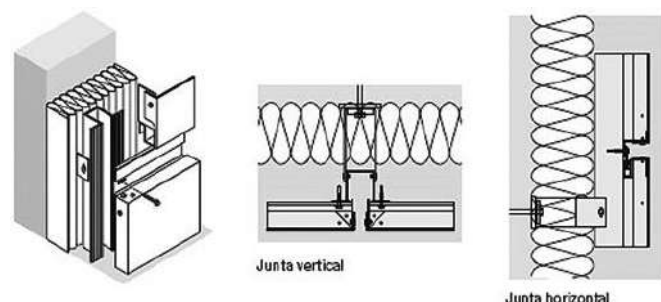


Figura 6.18 – Sistema com painéis de ACM – Sistema de encaixe (macho-fêmea). (OLIVEIRA, 2009)

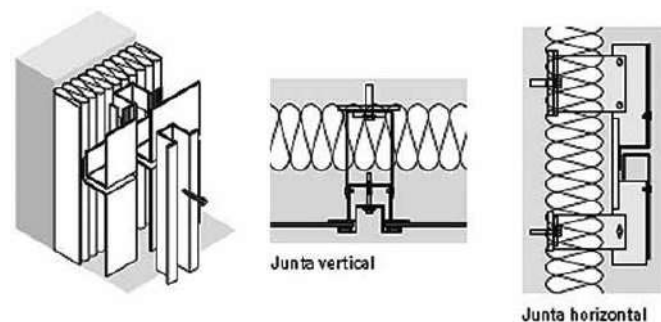


Figura 6.19 – Sistema com painéis de ACM – Prensado com duplo ômega. (OLIVEIRA, 2009)

- 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.

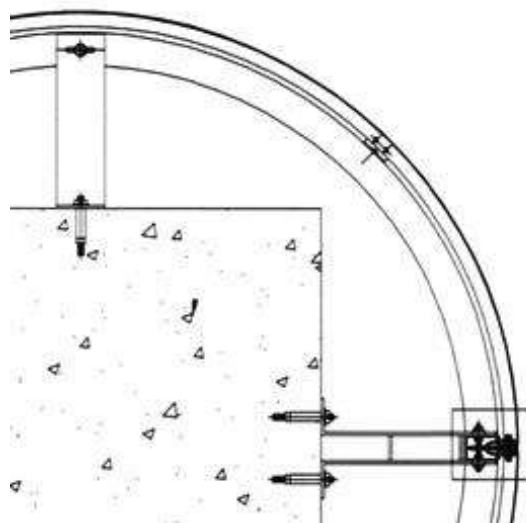


Figura 6.21 – Flexibilidade do ACM no revestimento de pilares retangulares. (BELMETAL)

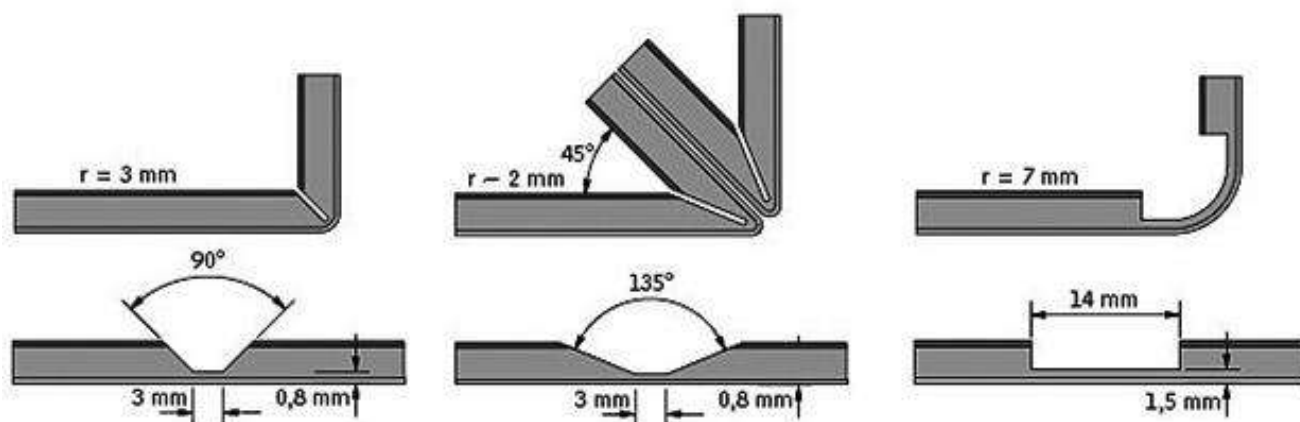


Figura 6.20 – Formas das ranhuras realizadas no verso dos painéis de ACM. (OLIVEIRA, 2009)

Placas de rocha

Para a instalação de insertos 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.

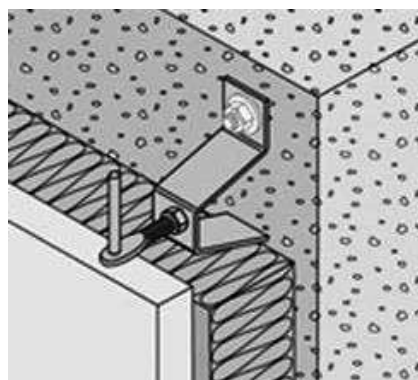


Figura 6.23 – Corte esquemático com esquema de fixação de placas de rocha em fundo de viga. (ENOX, 2014)

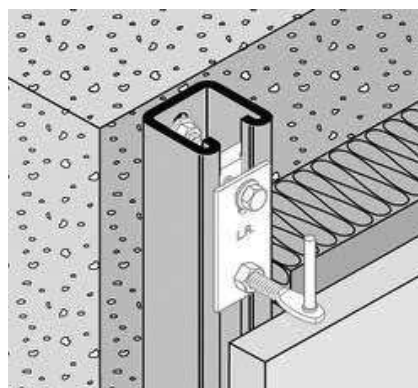


Figura 6.24 – Detalhe do chumbador e do sistema de fixação de placas de rocha. (ENOX, 2014)

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 inicialmente.

As Figuras 6.25 e 6.26 mostram detalhes de projeto de um sistema de revestimento ventilado com painéis extrudados.

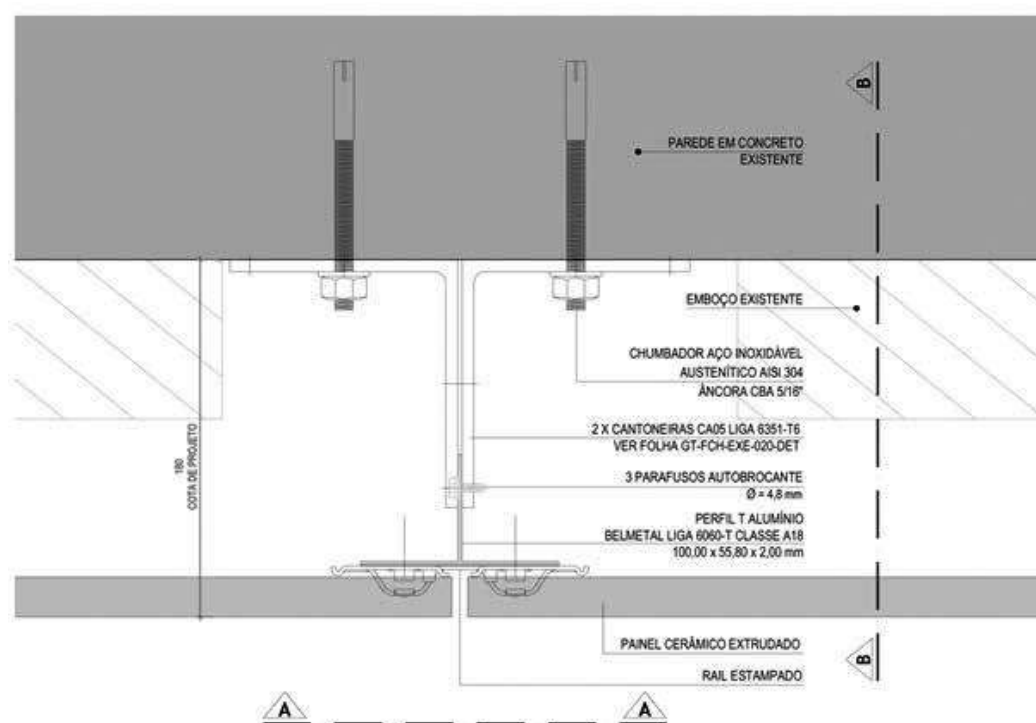


Figura 6.25 – Detalhe em planta da ancoragem de um sistema de revestimento de fachada ventilada com painéis cerâmicos extrudados. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

Sistemas de revestimento cortina e ventilado (RCV)

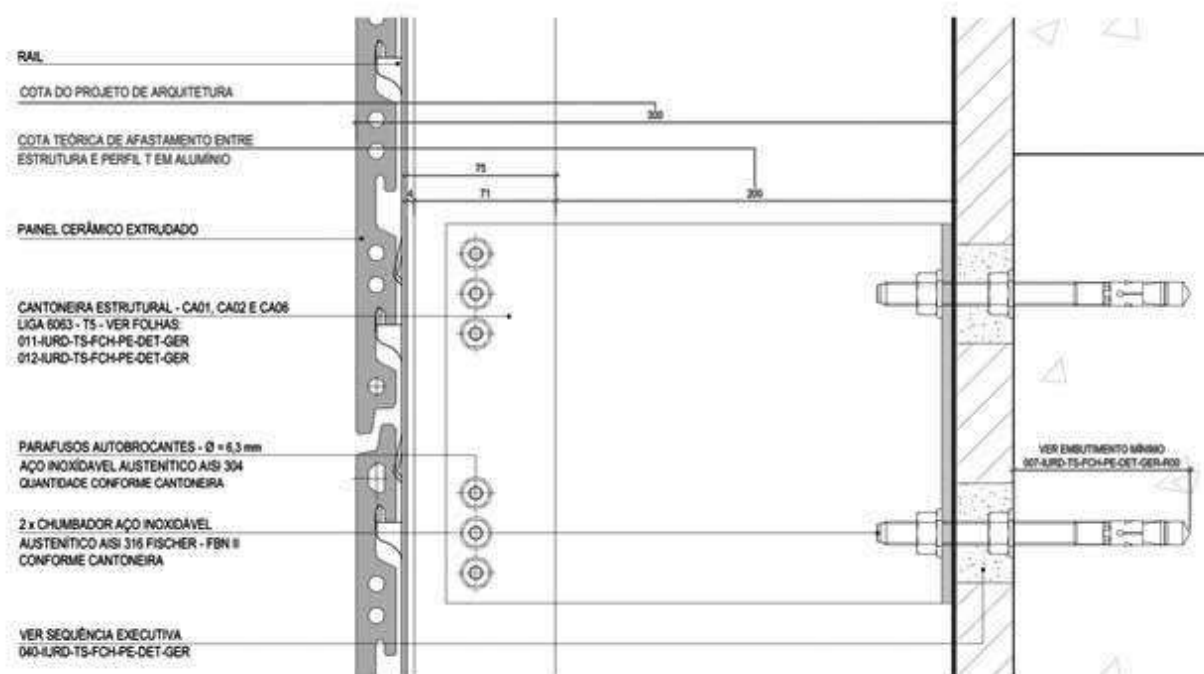


Figura 6.26 – Vista da ancoragem estrutural de um sistema de revestimento de fachada ventilada com painéis cerâmicos extrudados. (Acervo INOVATEC CONSULTORES)

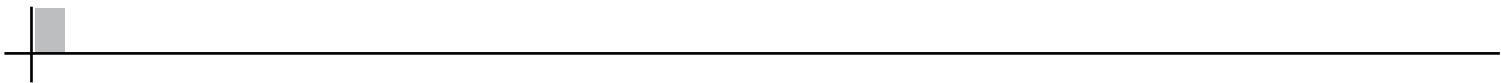
A Figura 6.27 ilustra uma elevação da fachada, indicando a paginação dos painéis cerâmicos utilizados.

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)



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, atribuam-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 STICK ^e	FACHADA COM VIDRO UNITIZADO ^f	REVESTIMENTOS VENTILADO E CORTINA		
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\$/m²) ¹⁵	140,00-180,00	270,00-320,00	180,00-400,00	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;