

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
SECÇÃO DE CONSTRUÇÕES CIVIS
X MESTRADO EM CONSTRUÇÕES DE EDIFÍCIOS
TECNOLOGIAS DE FACHADAS

MATERIAL O VIDRO

ALUNA ELIANA GIACOMINI
ORIENTADOR PROF VASCO PEIXOTO DE FREITAS

ÍNDICE

Introdução.....	3
1. Tipos de Vidro.....	4
1.1 Grupos Químicos de Vidro.....	4
1.2 Produtos do Vidro Plano.....	5
1.3 Sistemas de Vidros Compostos.....	8
2. Propriedades e Funções do Vidro.....	13
2.1 Transmissão da Luz e Radiação.....	13
2.2 Índice de Refracção.....	18
2.3 Propriedades Térmicas.....	18
2.4 Resistência.....	20
2.5 Dureza.....	21
2.6 Durabilidade Química.....	21
2.7 Durabilidade às Intempéries.....	21
2.8 Densidade.....	22
2.9 Resistência ao Fogo.....	22
2.10 Isolamento Acústico	23
2.11 Protecção ao Choque.....	24
Conclusão.....	25
Bibliografia.....	26

INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa mostrar os diferentes tipos de vidro e suas propriedades dum ponto de vista técnico, auxiliando o profissional nas suas decisões.

Num primeiro momento os vários grupos de vidros serão descritos. Em seguida os produtos do vidro plano assim como os sistemas compostos de vidro serão apresentados. Então as principais propriedades e funções do vidro serão também expostas de modo a munir o leitor de informações extremamente relevantes para o uso do vidro na arquitectura.

1. TIPOS DE VIDRO

1.1 GRUPOS QUÍMICOS DE VIDRO

O componente básico do vidro de soda-cal é a sílica. Entretanto, os problemas de manufatura tem historicamente levado à introdução de outros materiais para facilitar a produção e melhorar a qualidade. Infelizmente esses materiais trouxeram com eles um declinador das propriedades que agora procuramos.

Considerando o número de materiais disponíveis e necessários para fabricar o vidro, pode-se constatar que o número de tipos de vidro que podem ser feitos é infinito, com composições e desempenhos muito variáveis. No entanto, os vidros mais usados em edifícios entram em cinco grupos, quimicamente:

Vidros de Soda-cal:

Estes são os vidros mais comuns, usados no vidro plano, lâmpadas, recipientes, etc..

Significativamente, a família de soda-cal é a usada no desenvolvimento do processo “float”.

Vidros de Sílica Fundida ou Quartzo:

Esses incluem o único componente do vidro realmente importante, e é caracterizado por altas temperaturas de fusão e trabalho, um coeficiente de expansão térmica baixo (e assim resistência ao choque térmico), e alta resistência química. O seu alto ponto de fusão o torna caro e difícil de produzir como um vidro derretido primário. Os vidros dessa família são aplicados em laboratórios de alta tecnologia.

Vidros de Borossilicato:

Esses vidros são muito resistentes à corrosão química, e têm um coeficiente de expansão térmica baixo, um terço do coeficiente do vidro de soda-cal (ainda que seis vezes o da sílica fundida). Esta família de vidros tem uma enorme gama de usos: utensílios domésticos (Pyrex) e de laboratórios, lâmpadas e ainda é usado em vidros resistentes ao fogo aumentando a resistência ao impacto e baixando o coeficiente de expansão.

Vidros de Chumbo:

É um vidro com baixas temperaturas de fusão e trabalho, possui um alto índice de refração e densidade. A quantidade de óxido de chumbo pode variar muito (até três vezes), e vidros com alto teor de chumbo (onde o óxido de chumbo compreende até 80% do total) são usados como protectores de radiação.

Vidros de Silicato de Alumínio:

Enquanto ainda compreende mais de 50% de sílica, o alumínio, contudo, nesses vidros é dez vezes maior do que nos de soda-cal. O óxido de boro também está presente, e o vidro resultante tem uma grande durabilidade química.

1.2 PRODUTOS DO VIDRO PLANO

Vidros com Lâminas (Impressos):

Os vidros com lâmina distinguem-se dos vidros planos em razão do seu método de manufactura, antes dos materiais que o contêm. Apesar disso esta é uma importante família a se considerar, envolvendo a modificação de uma ou ambas superfícies durante o processo de laminação, eles compreendem um grupo de vidros no qual a natureza da transparência é alterada: distorções na superfície alteram o padrão de transmissão da radiação por refração, e resulta em obscurações visuais. O desenvolvimento recente no desenho e manufactura de padrões abriram uma nova gama de produtos.

Vidros com lâminas convencionais incluem os seguintes produtos:

- Vidro Natural: Este é um produto laminado com ou sem uma forma padrão, produzido pelo processo de laminação simples porque é opticamente plano, superfícies paralelas não são exigidas. O padrão, se existe um, aparece em uma superfície somente.
- Vidro Ornamental: Esta categoria cobre o grupo de vidros desenhados para obscurecer tanto para efeito decorativo como para alta dispersão e redução do brilho ofuscante.
- Vidro "Greenhouse": Essa é uma forma mais precisa, com uma superfície especialmente desenhada para dispersar eventualmente a radiação solar.
- Vidro Aramado: Esse usa métodos de laminação para implantar uma malha de arame no vidro para sustentá-lo junto no caso de quebra, por dano mecânico ou fogo. Pode ser natural ou polido. Tradicionalmente vidros aramados tem tido um lugar importante no projecto de edifícios, sendo um produto que foi cedo considerado conveniente para certos locais de risco.
- Vidro em Perfil: A forma mais comum de perfil é produzida em "U", que tem a vantagem de ser auto-portante. Esses vidros são geralmente translúcidos, antes de transparentes, dando a natureza dispersiva da superfície criada durante a manufactura.

Todos os vidros citados acima podem ser claros ou tingidos.

Vidro Antigo:

Essa família que compreende vidros fabricados pelos métodos de sopro, desenho ou outro qualquer, mantém vivo os velhos métodos de produção na arte de fazer vidros.

Vidro Anti Reflectivo:

A reflexão da luz golpeando perpendicularmente a superfície do vidro é de cerca de quatro por cento, e essa aumenta a medida em que o ângulo torna-se oblíquo.

A necessidade de boa visão através de um vidro ininterrupta pela reflexão na superfície é usualmente requerida por vidros de gravuras. Existe, entretanto, muitas aplicações onde tal vista é uma vantagem, ou essencial como em lentes e óptica.

Vidros Temperados:

Endurecido, ou temperado, é uma das duas maneiras geralmente usadas para melhorar a resistência do vidro, ao mesmo tempo alterando as suas características de quebra. Os termos diferem nas diferentes partes do mundo, mas uma distinção é geralmente feita entre o temperado (totalmente temperado) e o semi-temperado. O temperado é necessário para dar uma força genuína ao produto; o semi-temperado é usado para aumentar a resistência ao esforço térmico.

O processo de temperamento envolve o aquecimento e rápido apagamento do vidro. A temperatura atingida é em torno de 150°C acima da temperatura de transformação, e o vidro é assim plástico. O arrefecimento da superfície a solidifica, enquanto o interior do vidro ainda está esfriando-se e contraindo-se. A medida em que o interior continua a contrair, ele coloca a zona superficial em compressão, e é estendido em tensão. Num material típico 60% da parte interior está em tensão, e a parte superficial, correspondendo a 20% em cada lado está em compressão. Um vidro produzido nesse estado exibe a característica de quando quebrado fragmenta-se em pequenos pedaços, comparativamente seguro, sem bordas pontiagudas.

Vidros temperados podem ser produzidos com uma resistência à flambagem quatro à cinco vezes maior do que um vidro não temperado. A decisão de especificar esse tipo de vidro deve balancear a necessidade de um produto forte com o desejo de criar um produto seguro. O termo vidro seguro deve ser usado com cautela. A propriedade do vidro temperado que o faz parecer seguro é que quando quebrado as bordas dos pedaços são arredondadas e as dimensões deles são pequenas. Entretanto, 5m² de um vidro plano com 10 mm de espessura pesa 125 kg, e essa quantidade de material fragmentado caindo de um andar ou mais de altura pode causar grandes estragos, mesmo se as partículas sejam pequenas e arredondadas.

Todos os vidros planos incluindo os vidros de borossilicato, podem ser temperados. O processo sem dúvida transforma o vidro num produto superior em termos de resistência que tem, entretanto, a desvantagem significativa de não poder ser trabalhado (ser cortado, polir as bordas,

ser perfurado) depois do processo de temperamento e deve ser cuidadosamente trabalhado antes do processo.

Vidros Quimicamente Reforçados:

Esses vidros são produzidos substituindo íons pequenos da zona superficial do vidro por íons grandes, assim colocando a superfície sob compressão como nos vidros temperados. O processo é muito lento e mais indicado para vidros muito finos que não podem ou são muito difíceis de serem temperados. O uso corrente é de lentes ópticas reforçadas e lâmpadas eléctricas.

Vidros Laminados:

Esses produtos estendem-se desde simples vidros de segurança até complexos sistemas multicamadas e na combinação de vidros e plásticos, constituem um grupo de vidros extremamente importante.

O princípio básico por trás do uso do vidro laminado é a combinação do vidro rígido e durável mas quebradiço, com as propriedades elásticas do plástico. A chave para o sucesso é a adesão, e a técnica de manufactura convencional envolve o uso de uma folha de polivinil butiral (PVB). Ele é colocado entre duas camadas de vidro, comprimido e então autoclavando por em torno de quatro horas a 140°C sob uma pressão de 120 lb/sq. O tratamento transforma o PVB numa camada adesiva clara e rija. Uma grande gama de produtos está disponível e a técnica proporciona campo de acção para a criação, mas o produto mais simples é a folha padrão de 6.4mm, compreendendo duas folhas de vidro de 3mm e uma intercamada de 0.4mm de PVB.

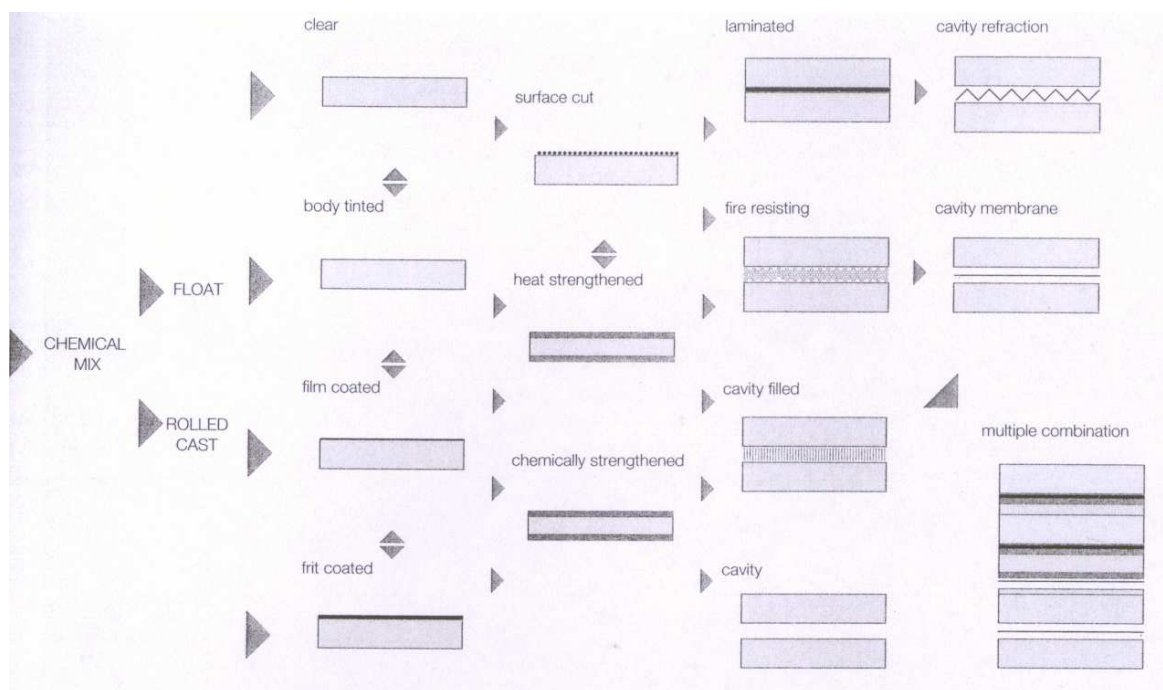
Tais vidros apresentam quatro principais vantagens sobre o uso do vidro plano sozinho:

- Segurança: o vidro numa vidraça quebrada permanecerá aderido à camada de PVB, minimizando o risco de danos e ferimentos;
- Garantia: vidros laminados, particularmente produtos multilaminados, podem proporcionar resistência à severos ataques armados ou explosão. Multicamadas de até 100mm ou mais podem ser produzidos;
- Redução Sonora: A camada elástica de PVB proporciona um efeito de amortecimento na pressão das ondas sonoras.
- Trabalhabilidade: vidros laminados podem ser cortados ao tamanho depois da manufactura, o que o torna muito conveniente para o uso como envidraçado de segurança simples, onde o tamanho das esquadrias podem variar.

Uma gama adicional secundária de características de desempenho pode ser introduzida pelo uso de intercamadas tingidas que o transforma num produto laminado absorvente de calor.

Enquanto a laminação com PVB é a mais convencionalmente usada, o sucesso de produtos manufacturados com combinação de camadas estende-se ao uso de outras técnicas e materiais.

- Vidro Aramado: Uma malha ou filamentos de aço na camada interior pode acrescentar segurança ao vidro.
- Vidros com Alarme: Uma fiação pode ser incorporada na camada interior, conectada ao circuito eléctrico de alarme que dispara o alarme quando quebrado. Alternativamente uma camada condutiva pode ser usada.
- Vidros Temperados: A técnica de produzir camadas temperadas já foi descrita, mas um método alternativo usa elementos aramados muito finos na camada intermediária.
- Vidros com Superfície Selada: Análogo ao reforço químico, mas totalmente diferente na intenção e nos materiais, é um processo novo que modifica quimicamente a superfície do vidro e aumenta a durabilidade às intempéries.



1.3 SISTEMAS DE VIDROS COMPOSTOS

A laminação é baseada no princípio da combinação de finas camadas de material unidas para proporcionar um produto que tem as propriedades e vantagens de um material, para servir a dado propósito.

Entretanto, a combinação de propriedades é ainda melhor obtida na composição de sistemas de vidros, na qual o vidro fornece um anteparo exterior durável para um interior desenhado para uma função específica.

Envidraçado Múltiplo

A forma mais simples e mais usada de reunir uma unidade de envidraçado múltiplo é usualmente presente através do vidro duplo e triplo.

Pelo simples recurso de capturar uma fina fatia de ar seco, com uma condutividade térmica de $0,025 \text{ W/m}^2\text{C}$ (comparado ao valor de 1,0 para o vidro sozinho, que já é um condutor pobre), entre duas folhas de vidro, o valor da transmissão térmica de uma janela pode ser reduzido de $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ou menos. O uso de vidros tingidos, camadas e de gases na cavidade que tem um desempenho melhor que o ar, tem habilitado o vidro duplo a ser produzido com valores de transmissão térmica de $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, quase o mesmo valor de uma parede dupla de tijolos rebocada. A medida em que as pesquisas e desenvolvimentos prosseguem, é provável que esses valores melhorem.

As técnicas de manufactura dos vidros duplos e triplos têm sido consideravelmente melhoradas nos últimos vinte ou trinta anos. Os maiores problemas de desempenho são físicos, relacionados com a manutenção do ar seco propriamente selado na cavidade.

Mais recentemente, técnicas que usam um agente secante perfurando extrusões de alumínio têm sido criadas e sistemas selantes, usando epoxy, polisulfido ou selantes de butil, ou ainda sistemas de vidros duplos usando polisobutileno e um selante secundário de polisulfidio, poliuretano ou silicone.

As cavidades podem variar de 4mm a 20mm ou mais, para satisfazer as exigências de desempenho.

A mistura de vidros claros e tingidos, temperados ou de outra maneira, e muitas vezes com capas, em sistema de envidraçado múltiplo é o que mais tipifica o estado da arte de envidraçados no presente, mas não é de maneira alguma a única técnica usada em vidros compostos.

Produtos que, em resposta à uma exigência funcional, combinarem as propriedades transparentes do vidro com outros materiais, num produto selado, estão agora aparecendo no mercado. Eles tendem a ser caros, mas representam soluções à alguns dos problemas mais intratáveis de um envidraçado, e estão entrando em uso.

Envidraçado com Cavidade Difusora:

A difusão pode ser proporcionada num vidro por vários meios: opalizando o vidro, gravando ou de outra maneira que modifique a superfície, ou introduzindo uma camada difusora num vidro laminado. Dispositivos mais eficientes usam a cavidade de um vidro múltiplo para proporcionar a difusão da luz, isolamento térmico, e sistemas absorvedores do som. Um desenho típico incorpora na cavidade tubos acrílicos claros com diâmetros variando poucos milímetros agindo como uma fatia espaçadora entre duas folhas de vidro, com um emaranhado de fibra de vidro branca ou colorida numa superfície interna. Valores de transmissão térmica entre $3,4\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ para 8mm de malha, $2,6\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ para 12mm de malha e $1,0\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ para 48mm de malha são adquiridos. Os valores de isolamento são assim em torno de 15% melhores do que um vidro duplo com a mesma profundidade de cavidade, no entanto não é tão bom como vidros duplos com uma camada de baixa emissividade (Low-E).

Envidraçado À Prova de Fogo:

Vidros de borossilicato, pré-esforçados, temperados podem manter a sua integridade por até duas horas ou mais, mas tem desvantagens, como folhas simples, de se tornarem extremamente quentes em caso de fogo, possivelmente causando ignição no lado onde não existia fogo. Eles podem assim conter um incêndio nos termos dos gases, de acções das chamas, mas apresentam na superfície, do outro lado, com 800°C , ao mesmo tempo quente e deformada. Isso torna tais vidros inutilizáveis em, por exemplo, meios de rota de escape no outro lado do vidro. Criando um sistema múltiplo, tipicamente usando vidro temperado, com as cavidades preenchidas com um gel polímero, o produto formado resiste à expansão do fogo e proporciona isolamento térmico ao mesmo tempo.

Neste tipo de sistema a cavidade é preenchida com um gel polímero claro com uma alta percentagem de água (cerca de 75%) e sais inorgânicos. No caso de incêndio, o gel transforma-se numa crosta, que é altamente isolante, e o calor latente da evaporação da água absorve muito da energia calorífica. O vidro no lado do fogo eventualmente quebra numa temperatura de aproximadamente de 500°C , mas no momento a crosta é suficientemente forte para manter a integridade do painel. Quando a temperatura do lado do fogo atinge 700°C , no outro lado do vidro a temperatura está em torno dos 20°C . Testes mostraram que mesmo após 30 minutos, com a temperatura do lado do fogo acima do 800°C , o outro lado está com 60°C , e o painel ainda resiste ao teste de impacto. Tais desempenhos são adquiridos com uma cavidade de 18mm para dar 30 minutos de resistência. Sessenta minutos são alcançados com uma cavidade preenchida de 28mm, e noventa minutos com vidro triplo e com as duas cavidades preenchidas. O peso de um vidro duplo com gel na cavidade é de 50kg/m^2 contra 30kg/m^2 para uma unidade de vidro duplo sem o gel.

Materiais como esse, com vidros de borossilicato, que suportam a temperatura enquanto fica muito quente, tem revolucionado a arquitectura de transparência numa época que a preocupação com a segurança é grande.

Membranas na Cavidade

O uso potencial de uma cavidade bem vedada, limpa e seca é enorme. A instalação de uma membrana fina dentro de tais cavidades apresentam problemas de manufactura, mas eles têm sido vencidos com um produto engenhoso desenvolvido nos Estados Unidos pelo Instituto de Tecnologia de Massachussets.

Um filme fino e claro de poliéster tem múltipla camada aspergida. O filme de poliéster é instalado na cavidade em fábrica, para produzir um vidro triplo com a mesma ordem de peso de uma unidade convencional de vidro duplo, mas com o valor de transmissão térmica de $1,25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. O filme sozinho pode ser capeado para produzir vários desempenhos de transmissão, e pode ser instalado dentro de qualquer sistema de vidro duplo com os vidros disponíveis normalmente para produzir uma larga gama de características de transmissões globais. Entretanto, é difícil de fabricar sem pregas. O esticamento do material é adquirido instalando o filme num espaço de ar e então aquecer esticando-o, ambos processos são morosos e longe de fáceis.

Envidraçado com Refracção na Cavidade

Um óbvio, mas até recentemente não adquirido, objectivo num sistema envidraçado é usar o espaço da cavidade de um sistema de vidro múltiplo como o lugar onde a protecção solar e a modificação da luz tem lugar. Problemas com o sobreaquecimento, vedação e custo têm conspirado para prevenir o seu aparecimento. O Lightsystem Siemens tipifica o que tais sistemas deveriam fazer. A injeção de uma placa moldada de polimetilmetacrílico (acrílico), com espessura de 10mm ou mais, formado para ser plano de um lado e compreender prismas paralelos lineares no outro lado, é colocado na cavidade do vidro duplo. Um conjunto de faces de prismas é capeado com um filme fino de alumínio, para dar ao material que transmite a luz ofuscante um conjunto de direcções, mas reflecte essa luz ofuscante para uma direcção mais ou menos perpendicular. Dando ângulos e profundidades diferentes ao prisma esse sistema motiva um leque de produtos conhecidos como protectores solares ou direccionadores de luz.

O sistema total não é transparente no senso normal; tem o efeito de cortar a imagem transmitida em fatias. Entretanto, é muito eficiente em redireccionar a luz assim como sendo um exemplo iluminador do uso das propriedades do vidro, durável e forte, e do acrílico, muito claro e leve. A tecnologia de capeamento com filme fino é usada nesse produto num componente plástico antes

dum componente de vidro. É um exemplo interessante e importante no modo como tecnologias diferentes podem ser combinadas para criar um produto.

O sistema “light-bending” demonstrou inadequabilidade num teste da British Building Research Establishment no início da década de 1990 em proporcionar visão ininterrupta, e problemas ópticos associados tais como o aparecimento de vistas inesperadas do solo e do céu, e efeitos como aberrações cromáticas.

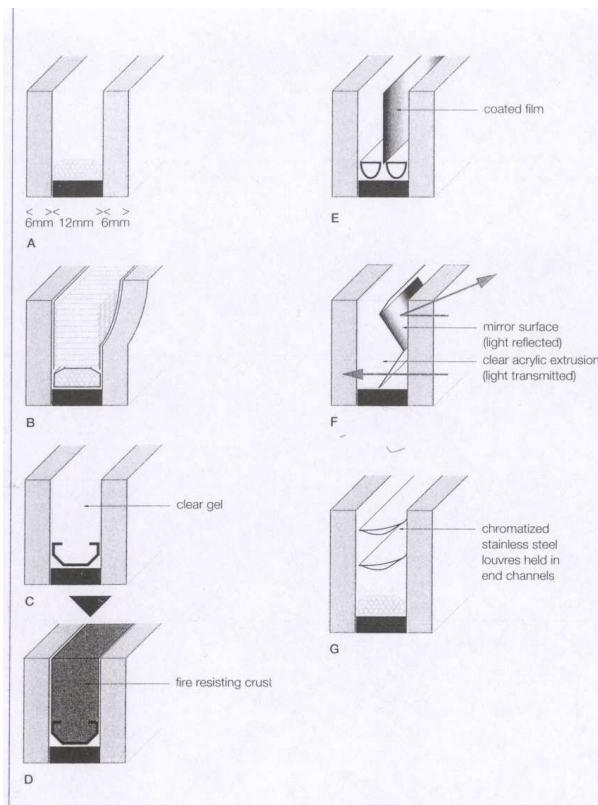
Envidraçado com Vácuo

A necessidade de melhorar a resistividade térmica do envidraçado é de evidente grande importância, e os vidros de baixa emissividade tem ajudado muito nesse empreendimento. Entretanto, a ideia de evacuar a cavidade é um acessório óbvio para qualquer sistema de baixa transmissão, desde que ele iniba ou previna condução e convecção do calor através da cavidade. A idéia já tem mais de cem anos, mas a dificuldade de manter o vácuo e dos panos resistirem à deflecção um em direcção ao outro resultando da diferença de pressão entre a

pressão atmosférica exterior e o vácuo total ou parcial na cavidade.

Trabalhos na Austrália em 1992 demonstraram que uma disposição de pilares podem ser produzidos, os quais eram verdadeiramente difíceis de ver e criam um meio plano com transmissão térmica de $0,6\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ou melhor, dependendo da eficiência das camadas de baixa emissividade usadas.

O vencimento dos problemas de manufactura e vida estão ainda sendo discutidos, e extensa literatura técnica tem descrito progresso. Protótipos de um dispositivo de um metro quadrado desempenharam transmissões de $1,0\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ dos quais dois terços derivam da radiação e um terço dos pilares de separação.



Tipos de materiais na cavidade do vidro duplo.

2. PROPRIEDADES E FUNÇÕES DO VIDRO

Propriedades Físicas

As propriedades intrínsecas e essenciais do vidro são **transparência e durabilidade**. Outras propriedades tornam-se significantes de acordo com o uso que é colocado ao material. Os vários fluidos e modificadores que são introduzidos para facilitar a manufatura, tem efeito nessas propriedades, e o desenvolvimento do design do vidro tem identificado uma larga série de composições para permitir a realização de específicas propriedades físicas. As principais propriedades significantes são:

- Transmissão de luz/radiação, reflexão, absorção
- Índice de Refracção
- Propriedades Térmicas
- Resistência
- Dureza e Resistência à abrasão
- Durabilidade Química
- Durabilidade às Intempéries
- Densidade
- Resistência ao Fogo
- Isolamento Acústico

2.1 TRANSMISSÃO DA LUZ

A natureza da transmissão da luz e da radiação

É a capacidade de transmitir radiação, em geral, e luz visível, em particular, que dá ao vidro uma significância única.

A transmissão da luz tem sido descrito nos termos de teoria de ondas ou partículas, desse modo tem sido continuamente enriquecida desde que James Clerck Maxwell postulou a sua teoria da radiação electromagnética em 1864.

A ideia de comprimento de onda ajuda a explicar a natureza aparentemente periódica e pulsante, visto no fenómeno da difracção e interferência. Pensar na luz como algo que se propaga em ondas ajuda a explicar esse fenómeno, em termos da variação das distâncias entre ondas, e a frequência que ela ocorre.

Considerando nos termos de partículas, podemos propor que, quando os átomos estão extremamente excitados e vibrando, eles descarregam a sua energia na forma de fótons que escapa dos átomos na velocidade da luz e interagem com o que eles chocarem-se, passando facilmente através do espaço e “saltando fora” ou sendo absorvido por muitos gases e por sólidos não transparentes. A medida em que a temperatura do corpo aumenta acima do que é chamado zero absoluto (-273°C), a temperatura que toda matéria para de se mover, a energia associada com esse movimento é emitida como radiação electromagnética que pode ser genericamente considerada como calor. Quanto mais os átomos e moléculas tornam-se quentes, e quanto mais excitados eles ficam, maior será a frequência da radiação, e menor o comprimento de onda.

As características de emissão e absorção de um material são proporcionais, e um corpo negro (um absorvedor de energia perfeito) também é um emissor perfeito. O Sol é o corpo mais atómicamente activo no nosso sistema planetário e emite energia com uma curva similar em forma e posição de um corpo negro com uma temperatura de 5.900°K . É essa temperatura, em outros campos, também chamada de temperatura colorida.

O espectro solar estende-se entre comprimentos de onda de 300 e 2100nm. A luz é a banda de radiação com comprimento de onda entre aproximadamente 400 e 780nm, os quais o olho humano responde. Entre 300 e 400nm é a zona da radiação ultravioleta e entre 780 e 2100nm é a infravermelha. O conteúdo efectivo do espectro solar varia em termos da quantidade e distribuição espectral de acordo com o material que ele atravessa.

A energia contida na radiação solar é dividida da seguinte maneira:

Ultravioleta	3%
Visível	53%
Infravermelha	44%

Toda essa energia, quando absorvida por um material, seja ele vidro, um edifício ou uma pessoa é eventualmente convertido em calor. O vidro é quase um transmissor perfeito: o comprimento de onda que transmite radiação coincide a maioria quase exactamente com o comprimento de onda pico do Sol. É fácil de ver como o conhecimento da transparência selectiva e absorvitiva num vidro é essencial para a compreensão do seu desempenho.

A Transparência e o Fóton

O conceito de transparência exige consideração nos termos de partículas interagindo com a estrutura atómica dos materiais. Conhecer como os fótons viajam através do vidro, e mantêm ou perdem a sua energia em relação ao comprimento de onda, é particularmente importante, no desenvolvimento de novos materiais com o prognóstico de desempenhos de transmissão.

O vidro, ao contrário de outros materiais de construção como o betão, madeira e o aço, é transparente à parte visível do espectro solar, tornando-o um produto muito especial para a arquitectura e para múltiplos usos.

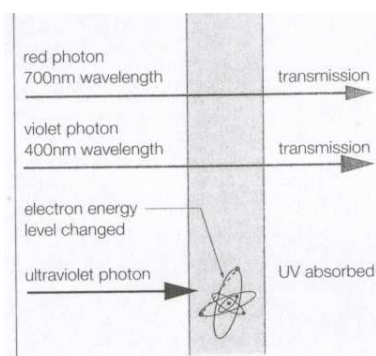
A teoria das partículas da radiação electromagnética propõe que a luz consiste de fótons de diferentes níveis de energia, e que esses níveis correspondem às cores que enxergamos. A energia do fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda: quanto maior a energia do fóton menor é o comprimento de onda. Os fenómenos da transmissão e da absorção estão relacionados com a acção que os fótons têm nos elétrons dos átomos e moléculas dos materiais que eles se chocam.

Quando absorvido por um material, um fóton é capaz de perder o excesso de energia para as vibrações da matriz, resultando no aumento da temperatura do material que então emite esse calor como radiação de ondas longas.

Para ser perfeitamente transparente, um material deve ser tal que a separação da energia de valência do estado do elétron não corresponda à energia do fóton. Se essa condição não for alcançada e o material tem níveis de energia de separação correspondendo à energia do fóton de uma cor particular, então essa cor será absorvida.

Num vidro ou outro material colorido transparente, os fótons na região visível não são absorvidos. Na maioria dos vidros, a energia de separação de valência dos elétrons estão na parte ultravioleta do espectro, pelo qual é o motivo que eles são normalmente absorvidos pela luz ultravioleta.

Um transmissor perfeito permitiria a passagem de toda a energia do comprimento de onda considerado. O vidro nas suas várias formas, e as capas que podem ser aplicadas nele, transmite a luz em diferentes comprimentos de onda e proporções. Algumas delas são



intrínsecas das propriedades químicas do vidro, e são virtualmente inalteráveis mas a medida em que a ciência do vidro e do caixilho tem progredido tornamo-nos mais preocupados em descrever e realizar as exigências de desempenho, tanto numa folha simples de material como em complexas combinações de camadas.

O futuro do vidro depende do controle selectivo do espectro solar e nos precisos prognósticos de desempenho, os trabalhos com vidros e capas, e como controlar o que acontece com os fótons, precisa ser entendido no nível mais básico, mesmo que seja para arquitectos, engenheiros, projectistas e cientistas se comunicarem uns com os outros.

A Transmissão de Luz do Vidro

A transparência é um fenómeno complexo. A natureza da luz e a variação na transmissão e absorção experimentada por materiais diferentes dão aos diferentes vidros seus desempenhos e usos.

Um vidro típico tem um coeficiente de transmissão de 60 a 80% entre 400 e 2500nm.

Os vidros coloridos ou tingidos têm uma aparência e desempenho derivando de graus diferentes de absorção e transmissão fornecido por químicos no derretimento.

O desempenho de um vidro com um transmissor é um resultado da transmissão selectiva através de bandas de ondas ultravioleta, luz visível e infravermelha.

A gama de selectividade de transmissão entre luz e calor é limitado pelo fato de que 53% de toda energia na radiação solar está no espectro visível. Portanto não é possível diminuir a transmissão de radiação total abaixo de 50% sem afectar a transmissão de luz.

A cor aparente de um vidro é o resultado da absorção selectiva da gama visível espectral. Assim um vidro verde aparece assim por causa da reflexão da luz em direcção ao observador tem sofrido absorção da luz de outros comprimentos de onda espectral. Adicionando colorantes, a transmissão da luz do vidro é reduzida. Vidros comerciais correntes usualmente introduzem colorantes ao mesmo tempo que reduzem o conteúdo de óxido de ferro, e assim diminuem a visão.

Capeamentos

As técnicas de modificação da superfície estão preocupadas com a mudança dos constituintes ou da estrutura do vidro na face. Muitas das primeiras superfícies modificadas e produtos capeados estavam preocupados primeiramente com o melhoramento da reflectância do vidro para diminuir o sobreaquecimento.

Desde o início da técnica, o uso comparativamente fino de camadas de materiais tais como ouro, prata e cromo, tem sido substituídos substancialmente pelo uso de filmes extremamente finos usando decomposição de vapor ou sputtering nos quais muitas substâncias, elementos ou componentes podem ser literalmente vaporizados e depositados como um filme fino de somente poucas centenas de átomos de espessura.

Enquanto alguns filmes ainda são vulneráveis ao dano mecânico, a capacidade da indústria do vidro de fornecer materiais nos quais os filmes múltiplos podem ser colocados no topo de cada um e ainda ser relativamente transparente tem mudado completamente o modo que o vidro pode ser produzido para desempenhar.

Vidros com capas são normalmente incorporados em vidros múltiplos, em parte porque muitas camadas são leves e em parte por causa da necessidade de obter valores e transmissão térmica baixos e ainda o desejo de evitar contaminação.

Tipos de Capeamento

Capeamento Metálico: Estão entre os primeiros a serem produzidos muitas vezes por deposição físico evaporativo do vapor e sputtering, usando cromo, prata e ouro. A reflectância do metal tal como o ouro aumenta com o aumento do comprimento de onda. Se o ouro está na segunda superfície de um vidro duplo, parte da radiação solar infravermelha é reflectida e parte absorvida, e o vidro é aquecido. Entretanto, a emissão de radiação de onda longa do interior da camada de ouro é menor do que do exterior do vidro, e a emissão da energia calorífera para o edifício é baixo. Tais capas tem a desvantagem de apresentar uma distorção espectral da transmissão da luz.

Capeamento Multi Camada: São usualmente aplicados por deposição evaporativa do vapor, que permite a disposição de filmes excepcionalmente finos. Num capeamento reflectivo típico, quatro materiais desempenham as funções primárias do sistema:

Camada 1: óxido de estanho, fornece uma camada adesiva e uma barreira de íons Na.

Camada 2: prata, fornece o desempenho de reflexão

Camada 3: “scavenger”, previne a oxidação da prata

Camada 4: óxido de estanho, fornece a camada dura final.

Capas de Baixa Emissividade (low-E): A camada múltipla mais importante dos últimos anos tem sido a camada de baixa emissividade (low-E) selectiva tem transformado o desempenho dos envidraçados na última década ou ainda. Camadas low-E usam materiais que tem a propriedade intrínseca de baixa emissão para a radiação térmica.

Tais capas são definidas como aquelas que são predominantemente transparentes sobre o comprimento de onda visível (300 a 700nm) e reflectiva na onda longa infravermelha. A rede resultante desses sistemas low-E é que menos calor é perdido para o meio externo: o sistema todo age, em efeito, para melhorar o efeito “greenhouse”. Isso está reduzindo os valores de transmissão térmica significativamente.

Tecnicamente filmes low-E são de dois tipos: multicamada dieléctrica/metálica/dieléctrica ou semicondutores com acabamento altamente pigmentado. Os materiais multicamadas são mais “afinados” e os materiais com acabamento pigmentado são mais duráveis. No filme multicamada, materiais dieléctricos típicos são óxido de índio, óxido de estanho e óxido de zinco. A prata é o

metal mais habitualmente colocado no meio. A espessura total de tal sistema é da ordem de 70nm. As propriedades de transmissão desses filmes são criadas tanto por propriedades ópticas das camadas individualmente, e pela interferência óptica entre eles.

Outros tipos de capa e tratamentos usados nos vidros:

- Camadas de Interferência
- Filtros dicróicos
- Vidros com transmissão variável
- Fotocromismo
- Termocromismo
- Cromogênico
- Electrochromismo

2.2 ÍNDICE DE REFRAÇÃO

É a medida da quantidade de luz que é “flexionada” quando passa através do vidro e é comparativamente constante para os vidros. É de 1,52 para os vidros de soda-cal, e varia de 1,47 para os vidros de borossilicato a 1,56 para os vidros de chumbo. O índice de refração para o vidro varia de acordo com o comprimento de onda da radiação considerada e o índice de todos os vidros diminui com o aumento do comprimento de onda. O índice de refração é mais importante para o uso óptico.

Quando a luz passa de um matéria opticamente mais denso ele é refraccionado da normal. Num ângulo crítico é reflectido de volta da superfície, e retido dentro do material opticamente mais denso.

2.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS

Propriedades térmicas significantes incluem:

- Temperatura máxima de trabalho
- Calor específico
- Condutividade térmica
- Expansão térmica
- Transmissão Térmica

O desempenho mecânico do vidro como um produto de uma fusão e como um material naturalmente quebradiço, é altamente dependente das suas propriedades térmicas.

Todos os vidros são caracterizados por três pontos de temperatura, que relacionam-se com as viscosidades exibidas:

- Ponto de Amolecimento: Nessa temperatura o vidro funde prontamente sob carga, e é importante para o processo de manufactura. A viscosidade é de $\log \eta = 7,8$ poises.
- Ponto de Recozimento: esse é o ponto sobre o qual a tensão do vidro é aliviada rapidamente. A viscosidade é de $\log \eta = 13,0$ poises
- Ponto de Tensão: é a temperatura sobre a qual é liberada a tensão e o fluxo começa a ter efeito, é a temperatura efectiva de trabalho. A viscosidade é de $\log \eta = 14,5$ poises.

- Temperatura máxima de trabalho

Pontos de tensão típicos são:

Vidros de soda-cal	520°C
Vidros de borossilicato	515°C
Sílica fundida (pyrex)	987°C

Deve-se notar que as vantagens do borossilicato não são devido à temperatura de trabalho mas sim pela resistência ao choque térmico.

- Calor Específico

É a medida da quantidade de calor necessário para aumentar a temperatura do material em 1°C para cada unidade do seu peso. É assim a medida de quanto calor pode ser armazenado no material.

O calor específico dos vidros é praticamente constante, variando cerca de 25%. Os valores de 0,85-1,00 kJ/kg°C para o vidro comparado com 0,92 kJ/kg°C para o alumínio, 1,26 kJ/kg°C para o policarbonato e 4,19 kJ/kg°C para a água.

- Condutividade Térmica

Expressa o quão rapidamente o calor passa através de um material, medido aqui em W/m°C.

Essa propriedade varia muito nos materiais. O valor para o vidro de soda-cal é de 1,02 W/m°C, 1,13 para o borossilicato e 1,38 para sílica fundida. São valores muito baixos comparados com 71,0 W/m°C do ferro e 218,5 do alumínio.

- Expansão Térmica

É uma propriedade crítica no projecto, tanto por causa da necessidade de criar espaço em torno dos elementos que expandem e por causa dos problemas de diferenças de expansão entre materiais que são combinados para trabalharem juntos num elemento de construção.

Os coeficientes de expansão térmica variam num factor de 20, de $0,54 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ até $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para a sílica fundida, $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para o borossilicato, $7,9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para soda-cal. Esses valores são comparados com $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para o aço e $24 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para o alumínio. Vidros com baixo coeficiente de expansão térmica têm intrinsecamente boa resistência ao choque térmico.

- Transmissão Térmica - coeficiente U

As transferências térmicas através de uma parede por condução, convecção e radiação são expressas pelo coeficiente U (antigo coeficiente K). Este representa o fluxo de calor que atravessa 1m^2 de parede para uma diferença de temperatura de 1°C entre o interior e o exterior de um local. Quanto mais pequeno for o coeficiente U menor são as perdas térmicas.

A parede envidraçada constituída por vidro simples de 6mm apresenta um coeficiente U de $5,7\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, já o vidro duplo tradicional (duas folhas de 6mm e caixa de ar com 16mm) oferece um valor de U de $2,7\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

2.4 RESISTÊNCIA

A resistência de um material é uma propriedade que não pode ser descrita em termos de uma característica. A capacidade de suportar compressão, tensão, flexão, torção e outros esforços, não são uniformes nos materiais. O vidro, com sua composição química extraordinária, e seu estado de pseudo-líquido não cristalizado, é um material quebradiço com qualidades de resistência muito diferentes.

A rigidez é um conceito que depende das qualidades intrínsecas do material de resistir às mudanças de forma, e na forma que o material é encontrado. Uma importante medida de resistência é o esforço de tensão, isso é conhecido como o Módulo de Young (E), e é expresso pela força sobre a unidade de área, ou seja, este módulo exprime a força de tracção necessária a aplicar num provete de vidro para lhe provocar um alongamento igual ao seu comprimento inicial.

O vidro tem um Módulo de Young no valor de $70.000\text{ MN}/\text{m}^2$, para dar alguns exemplos o diamante tem o valor de $1.200.000\text{ MN}/\text{m}^2$, um tecido biológico $0,2\text{ MN}/\text{m}^2$, o alumínio $73.000\text{ MN}/\text{m}^2$, o aço $210.000\text{ MN}/\text{m}^2$. Com isso nota-se que o vidro apresenta uma elasticidade bastante boa.

O conceito de rigidez depende da forma do objecto assim como das propriedades físicas inerentes do material com que ele é feito. A rigidez de um elemento ou membro estrutural é o

resultado do Módulo de Young e a forma expressa pela equação: $R = E \times I$, onde “I” é a inércia, o segundo momento da área, onde leva em consideração a forma da secção transversal.

Assim como o concreto, o vidro é muito resistente a compressão e pouco resistente à tracção, sendo os valores de 1.000 N/mm² e 100 N/mm², respectivamente.

Valores teóricos para a resistência a tracção do vidro são muitas vezes maiores do que os que podem realmente serem conseguidos num produto manufacturado, e isso é significativamente graças à defeitos na superfície. A presença normal de um grande número de micro fissuras na superfície resultam na resistência prática muito abaixo da teórica, assim a qualidade da superfície é muito mais importante que a composição.

2.5 DUREZA

A dureza nos materiais, a resistência à abrasão e penetração, etc. são difíceis de definir. O teste de “arranhão” usa a escala de dureza Moh. Os outros testes são uma medida de resistência à penetração. O vidro é um material naturalmente duro, comparável com o aço, a sua dureza é uma das propriedades mais importantes e a base do envidraçado.

A escala Moh de 1 a 10 estende do talco (silicato de magnésio) com 1 ao diamante com 10. O quartzo, uma forma natural de sílica tem uma dureza de 7. O vidro de soda-cal tem uma dureza de 5,4-5,8.

2.6 DURABILIDADE QUÍMICA

A dureza do vidro corresponde à sua durabilidade química. Ela é usualmente medida na escala de 1-4 e relata a resistência à água, ácido e intempéries de água e dióxido sulfúrico. A corrosão natural provocada pelas intempéries pode ser da ordem de 8 microns por ano. Borossilicatos duros são particularmente resistentes ao ácido, e os vidros de soda-cal podem ser feitos para resistirem ao ataque alcalino. A maioria dos vidros, entretanto, são suscetíveis ao cal e soluções concentradas de soda cáustica e são atacados também por ácido hidrosulfúrico e fosfórico, que, como resultado, são usados na água-forte.

2.7 DURABILIDADE ÀS INTEMPÉRIES

É o resultado da combinação da dureza e durabilidade química, dependendo da resistência natural do material ao ataque químico, e sua capacidade de suportar a limpeza necessária para o desempenho de um transmissor de luz sem distorções.

2.8 DENSIDADE

Alta densidade nos materiais proporcionam vantagens em certos aspectos (por exemplo no isolamento acústico), mas é geralmente desvantajoso quando se trata do manuseio, fixação e suporte. O vidro é um material razoavelmente leve com uma densidade de 2,47 para o soda-cal e 2,2 para a sílica fundida. Vidros com chumbo têm densidade entre 3 e 6. A adição de fluidos e modificadores geralmente tem o efeito de aumentar a densidade.

2.9 RESISTÊNCIA AO FOGO

Os principais perigos para as pessoas quando um incêndio é declarado são:

- O desabamento das construções ou parte delas, bloqueando as pessoas em perigo;
- O fumo e os seus compostos tóxicos representam o principal perigo pelos riscos de asfixia mas também pelos prejuízos e reacções de pânico que podem provocar,
- A radiação calorífera intensa pode causar queimaduras graves e mortais.

Para se proteger é necessário dispor de elementos de construção adaptados. Assim, os métodos de ensaio oficiais são utilizados em condições regulamentares. Os elementos de construção são submetidos a um programa térmico convencional. A curva piloto temperatura/tempo da ISO 834-10 é largamente utilizada para os casos correspondendo a um risco doméstico corrente.

Verifica-se que satisfaz três critérios principais durante uma duração mínima:

- Critério de Resistência ou de estabilidade (R),
- Critério de estanquidade às chamas e aos gases quentes (E);
- Critério de isolamento térmico durante o incêndio (I).

As classificações são atribuídas associando-se a satisfação dos critérios citados acima e durações mínimas fixas. Assim, para um elemento portante e estanque durante 30 minutos será RE 30, ou estanque e isolante durante 60 minutos EI 60.

O desempenho ao fogo de janelas de vidros convencionais é muito pobre. Até recentemente, o uso de vidro aramado para obter integridade dos vidros sujeitos ao fogo, era o único modo efectivo de proporcionar resistência. Agora, no entanto, o uso de materiais fortes de baixa expansão tais como os vidros de borossilicato, e a criação e sistemas sanduíches incorporando intercamadas resistentes ao fogo tem transformado o potencial do envidraçado como uma barreira ao fogo.

2.10 ISOLAMENTO ACÚSTICO

Como um componente de uma parede, o vidro deve satisfazer frequentemente exigências de isolamento acústico. Instalado como uma folha simples o seu desempenho é limitado, mas em sistema múltiplos podem proporcionar um bom isolamento, particularmente se forem combinadas espessuras de vidro diferentes para controlar as vibrações das frequências críticas e amortecimento selectivo do som em frequências diferentes. Espaçamento adequado (substancialmente maior do que o dos vidros duplos convencionais) com uma camada absorvente do som é necessário para realizar um bom desempenho. Vidros laminados acústicos também proporcionam um melhoramento do isolamento acústico comparado com um envidraçado simples.

Índice de Atenuação Acústica

Este índice, medido de acordo com a norma EN ISO 140 representa as características de um elemento para cada banda de 1/3 de oitava centrada entre os valores de 100 e 3150 Hz.

A partir de 16 valores de atenuação acústica em função da frequência, os cálculos permitem exprimir de forma diferente as qualidades acústicas do elemento estudado.

Os valores correntemente utilizados são os valores globais definidos pela EN ISO 717-1, para uma curva de referência e adaptada a dois espectros de um dado ruído.

Utilização do Índice único R_w

A intensidade do ruído interior sentido pelos ocupantes de um edifício constitui o elemento determinante para avaliar a protecção contra o ruído exterior de um vão envidraçado

O isolamento acústico obtido graças à construção está definido por um índice que representa a diferença entre o ruído interior e exterior.

• Índice de Atenuação Ponderado R_w

O índice de atenuação acústica R depende da frequência. Os elementos correspondentes são representados numa tabela (16 valores para 16 bandas de terços de oitava, de 100 a 3.150 Hz).

O valor calculado R_w tem em consideração essas 16 grandezas.

• Termos de Adaptação a um Espectro C e C_{tr}

Para levar em consideração as características da fonte de ruído foi criado um índice comum R_w ($C; C_{tr}$). O índice “tr” resultou de “Tráfego”. A correcção C_{tr} será utilizada preferencialmente quando se trata de um ruído proveniente da circulação. Para outros tipos de ruído utilizar-se-á com mais frequência a correcção C. estas duas correcções são geralmente valores negativos, o seu emprego significa que um valor de isolamento acústico demasiado vantajoso será corrigido por baixo.

As duas correcções são indicadas pelos laboratórios de medida e surgem ao lado do valor R_w .

Comportamento do Vidro

Cada placa de um dado material tem uma frequência crítica para a qual vibra muito mais facilmente. O vidro sujeito ao nível do isolamento acústico, sofre uma perda de desempenho de 10 a 15 dB. Num vidro de 4mm de espessura, essa frequência crítica situa-se a 3000 Hz, enquanto que numa placa de gesso de 13mm ela situa-se a 3200 Hz.

Aumentando a espessura do vidro, a perda de performance resultante da frequência crítica desloca-se para as mais baixas. É preciso alcançar uma espessura de vidro de 12cm, para que a zona resultante da frequência crítica esteja inferior a 100 Hz, para assim não ser levada em consideração.

O vidro não deve ser considerado isolado como elemento do vão envidraçado, o caixilho representa um componente importante no seu desempenho total. Assim, se é realizado um investimento considerável no vidro para o desempenho acústico, consequentemente o caixilho deverá ser compatível com a demanda pretendida.

2.11 PROTECÇÃO AO CHOQUE

As tecnologias de fabricação, de transformação e de montagem permitem dotar os vidros de excelentes capacidades de resposta às tensões de segurança que exige a construção actual, nomeadamente em matéria de protecção ao choque.

Os potenciais choques são de diversas naturezas e os níveis de resposta dos vidros dependem de dois factores fundamentais:

- O nível de energia transmitido no momento do impacto: E
- A superfície máxima de contacto desenvolvida durante o choque: SCM

Protecção Contra os Riscos de Lesões em Caso de Choques Acidentais

De modo geral, os vidros correspondentes são aqueles cujo título normativo é complemento da “segurança”. São eles os vidros de segurança temperado térmico, vidro laminado e vidro laminado de segurança. Segundo regulamentações nacionais o vidro aramado pode igualmente assegurar essa função.

Protecção Contra a Queda de Objectos em Coberturas

Os vidros laminados evitam a passagem de objectos em caso de queda accidental, através de uma parede envidraçada e oferecem uma estabilidade residual após um choque para proteger, desta forma, as áreas de actividades e passagem expostas.

Protecção Contra a Queda de Pessoas

Vidros laminados também respondem a esse domínio de aplicação.

Protecção Contra o Vandalismo e Intrusão: Nível 1

O ataque manual ligeiro e os actos de vandalismo pressupõem muitas vezes o lançamento de objectos mais ou menos pesados efectuados de maneira mais ou menos violenta. Os corpos de choques e os diversos níveis de energias de impacto associados, descritos na norma EN 356 regulam as agressões, as quais podem ser submetidas aos vidros expostos.

Os vidros laminados que fazem referência directa a esta norma, propõem níveis de respostas adequadas a essas agressões.

Protecção Contra o Vandalismo e a Intrusão

As repetidas projecções a um nível elevado de energia e os impactos de martelo e machado são os corpos de choque utilizados na norma EN 356 para esse domínio de aplicação. Vidros laminados proporcionam respostas adaptadas ao nível de protecção desejada.

Protecção Contra o Tiro de Armas de Caça

Esse tipo de arma, muito vulgar e capaz de projectar munições em grande quantidade é, em termos de choque produzidos, um caso particular de tiros de armas de fogo. A classificação dos impactos causados é, desta forma, tratada de forma específica pela norma EN 1063. Uma gama de vidros laminados abrange a classe dedicadas a essa função.

Protecção Contra o Tiro de Espingarda ou Pistola

A variedade de superfícies máximas de contacto desenvolvidas durante os choques, bem como os diversos níveis de energia, conduzem a norma EN 1063 a estabelecer 7 classes para abranger as exigências de protecção correspondentes. Essas classes são integralmente abrangidas pela gama de vidros laminados de segurança.

Para as funções de protecção contra os tiros de armas de fogo, a norma EN 1063 define uma exigência complementar dos vidros não gerarem a projecção de estilhaço quando sob a acção de impacto.

Para todas as funções de protecção contra choques, os caixilhos e a sua montagem devem também ser adaptados ao melhor desempenho. Inúmeras normas europeias permitem que os suportes, as fixações e os vidros hajam em conformidade.

CONCLUSÃO

Concluimos assim, que o vidro é um material com qualidades extraordinárias, as quais ainda estão sendo aperfeiçoadas com o avanço da ciência, e indispensável na concepção arquitectónica. Existe uma vasta gama de tipos de vidro disponíveis no mercado, mas é necessário o seu profundo conhecimento para ter capacidade de tomar as decisões correctas no momento da sua escolha tendo em vista o seu propósito, para tirar o máximo proveito possível das suas particularidades. Além disso, constatamos que é de extrema importância compreender as propriedades do vidro para que os seus limites sejam respeitados e as suas qualidades optimizadas.

BIBLIOGRAFIA

- Michael Wigginton, **Glass in Architecture**, editora Phaidon 1996.
- Manual do Vidro 2000. Saint Gobain

Sites Consultados

www.saint-gobain.com.br

www.covina.pt