



DESTAQUE #02

AS POTENCIALIDADES DO VIDRO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

O VIDRO É UM MATERIAL LARGAMENTE UTILIZADO COMO ELEMENTO DE ISOLAMENTO E/OU PROTEÇÃO NA CONSTRUÇÃO. PORÉM, NAS ÚLTIMAS DÉCADAS, A SUA APLICAÇÃO COMO ELEMENTO ESTRUTURAL TEM VINDO A SER CADA VEZ MAIS ABRANGENTE.

TEXTO SANDRA COSTA, MICAELA MIRANDA, HUMBERTO VARUM E FILIPE TEIXEIRA DIAS

O vidro é comumente encarado como sinónimo de luz, estética e transparência [1]. Estas características, quando combinadas com as propriedades de isolamento térmico e acústico, protecção solar, propriedades anti-choque e contra incêndios, contribuem para o fascínio que desde sempre este material exerceu sobre o Homem. O vidro é um material de construção tradicional, onde os projectistas podem encontrar inúmeras possibilidades para a realização dos seus projectos, dificilmente alcançáveis com outros materiais. Nas últimas décadas, o sector vidreiro tem assistido a um crescimento significativo. Tal se deve ao desenvolvimento de novas soluções, a tecnologias de produção inovadoras e à crescente complexidade associada às obras actuais. O aumento de utilização deste material nos últimos anos permitiu o desenvolvimento de conceitos arquitectónicos arrojados (figuras 1 e 2), garantindo a comunicação entre o exterior e o interior dos edifícios, sem comprometer o conforto e a segurança dos seus utilizadores.

RESENHA HISTÓRICA

O primeiro registo histórico do vidro aparece cerca de 4000 anos antes de Cristo. O material era então formado, de forma natural, a partir da actividade vulcânica. Pensa-se que o fabrico do vidro teve origem na Mesopotâmia. No entanto, a primeira janela de vidro foi descoberta nas ruínas de Pompeia. O vidro, que permite pôr em prática uma verdadeira arquitectura de luz, surge durante o período gótico com o objectivo de “fundir o interior com o exterior ou o exterior com o interior”. Porém, a sua expressividade só se consagrou em meados do século XIX, quando combinado com outros elementos construtivos como, por exemplo, o aço, sendo uma expressão do optimismo tecnológico da arquitectura. Apesar de se considerar que a arquitectura moderna foi formulada a partir dos anos 20, os primeiros edifícios que recorrem a uma utilização abrangente do vidro surgem no século XIX e são, sobretudo, estações de caminhos-de-ferro e galerias urbanas cobertas. Um exemplo é o imenso envidraçado do Crystal Palace, construído por Paxton em Londres em 1815. Este edifício notabilizou-se por ter sido erguido em tempo recorde, graças à utilização de processos de montagem

inovadores. A utilização massiva do vidro, que representava o progresso da ciência e tecnologia geradas pela revolução industrial, provocou o desenvolvimento das construções em vidro associadas ao aço e, mais tarde, ao betão.

Até meados do século XX as possibilidades técnicas de utilização do vidro foram pouco exploradas, sobretudo porque os processos de fabrico limitavam a dimensão das lâminas de vidro. Assim, as primeiras construções que recorriam à utilização de vidro evidenciavam alguns problemas associados às particularidades tecnológicas deste material. As fracas capacidades de isolamento térmico e acústico, os reflexos indesejáveis e as distorções são problemas associados, desde então, à utilização do vidro como elemento arquitectónico. Porém, este material exhibe grandes vantagens, de entre as quais se destacam, por exemplo, a transparência, a dureza e a resistência à abrasão.

A revolução moderna do vidro deu-se em meados do século XX, quando Sir Alstrair Pilkington criou a primeira linha para fabrico de vidro float. Este processo de fabrico, designado por processo de flutuação, pode ser dividido em quatro fases distintas: i) Processamento em forno de fusão; ii) Banho de estanho; iii) Processamento em forno de cocção; iv) Corte final.

No forno de fusão a matéria-prima é fundida a temperaturas próximas dos 1550°C. Durante esta fase dá-se a afinção, em que o vidro fundido se torna homogéneo e liberta bolhas gasosas, e o acondicionamento térmico, onde o vidro é arrefecido até que a sua viscosidade corresponda às exigências do processo de transformação. No banho de estanho o vidro líquido é vertido sobre estanho fundido a cerca de 1000°C. Uma vez que o vidro é menos denso que o estanho, “flutua” sobre este e forma uma chapa com uma espessura natural de seis a sete milímetros. À saída do banho de estanho, a chapa de vidro, agora rígida, passa pelo túnel de arrefecimento. No forno de cocção o vidro arrefece lentamente de 620 aos 250°C, aproximadamente. A fase final de arrefecimento lento dá-se ao ar livre. Este processo permite libertar o vidro de todas as tensões internas que provocariam a sua quebra no momento do corte. Com o desenvolvimento e aperfeiçoamento desta técnica abriram-se novas possibilidades à indústria do vidro,

36-42

1. Ponte em vidro [2]
2. Hippo House do Jardim Zoológico de Berlim, Alemanha [3]



nomeadamente no que diz respeito à melhoria de propriedades do vidro e ao aumento das taxas de produção. Esta invenção depressa foi adoptada em todo o mundo, levando a uma redução significativa do preço do vidro durante os anos 60 e 70 do século passado. Graças ao desenvolvimento de novas técnicas de produção e construção surgem as primeiras obras totalmente construídas em vidro. A “arquitetura de luz” surge maioritariamente no sector terciário mas também em algumas obras públicas. Neste tipo de edificações, a transparência do vidro era vista como símbolo da democracia e da modernidade. Veja-se, por exemplo, a pirâmide do Museu do Louvre (figura 3) e as fachadas da Bioclimatic em La Villete, ambos em França. Estas obras constituem marcos de relevo na história da arquitectura moderna. Desde então, a evolução nas técnicas de produção e aplicação do vidro tem sido notável, surgindo inúmeros e novos tipos de vidro. Este material, inicialmente considerado frágil e sem qualidades isolantes, transformou-se num material resistente, com boas propriedades de isolamento térmico e acústico e elevada resistência ao fogo. Actualmente, existem inúmeras técnicas de aplicação do vidro em obra como, por exemplo, o vidro exterior colado e agrafado. O vidro impôs-se em construções mais recentes por combinar as funções estética (figura 4) e uma adequada resposta às necessidades de conforto dos utilizadores. No futuro próximo prevê-se uma maior e mais sofisticada diversidade de vidros levando, eventualmente, à construção de edifícios totalmente recicláveis. A utilização do vidro nas construções poderá assumir as proporções actuais de aplicação do betão.

OS DIFERENTES TIPOS DE VIDRO

Presentemente, os tipos de vidro mais utilizados em termos industriais ou de aplicação em construções são o recozido, o temperado, o termo-endurecido e o laminado.

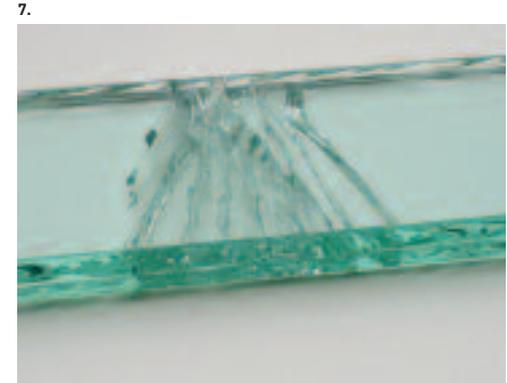
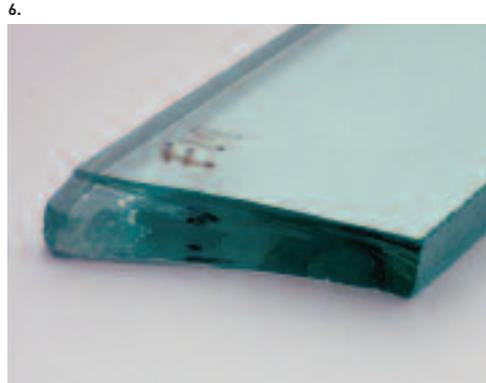
O vidro recozido é um material monolítico, sobre o qual se podem realizar tratamentos térmicos posteriores de modo a obter vidros com propriedades mecânicas e físicas distintas. Esta designação está também associada aos vidros float. Neste caso, aplica-se um

tratamento térmico de recozimento à saída do forno de produção. Este tratamento tem por objectivo eliminar as tensões residuais internas, que surgem de forma natural durante o processo de fabrico. Relativamente aos vidros temperado e termo-endurecido, as técnicas de fabrico são semelhantes. Em ambos, o processo consiste em introduzir tensões de compressão na superfície do vidro, com o objectivo de aumentar a sua resistência a acções térmicas e mecânicas. Este efeito é conseguido por aquecimento do vidro recozido a temperaturas de cerca de 650 °C, seguido de um arrefecimento rápido e controlado. Tal leva a que a superfície arrefeça mais rapidamente do que o interior e, ao arrefecer, contrai enquanto que o interior se mantém quente reajustando-se às mudanças dimensionais, sem que se desenvolvam tensões internas significativas. Quando o interior se contrai, as camadas exteriores do vidro já estão solidificadas, gerando-se assim tensões de tracção no interior do vidro e de compressão nas superfícies. Este tratamento de recozimento aumenta a capacidade resistente do material, uma vez que as tensões aplicadas em tracção terão de ultrapassar as tensões residuais de compressão na superfície do vidro. Por este motivo, todos os tratamentos mecânicos (corte, acabamentos, etc.) necessários, quer no vidro temperado quer no vidro termo-endurecido, têm que ser realizados em fábrica e antes do processo de têmpera.

A diferença mais significativa entre o vidro temperado e o vidro termo-endurecido está no processo de arrefecimento após tratamento térmico, sendo mais lento no vidro termo-endurecido. A têmpera também pode ser feita por tratamento químico. Porém, esta técnica não é tão utilizada na construção.

A resistência ao choque, às variações térmicas e à fragmentação do vidro temperado é significativa, chegando a ser quatro vezes mais resistente à tracção do que o vidro recozido. No entanto, apresenta o inconveniente de exibir rotura espontânea eventualmente provocada pela presença de impurezas. O teste de qualidade designado por Heat Soak Test permite detectar heterogeneidades ou impurezas no vidro. Neste teste o vidro é submetido, durante várias horas, a uma

3. Museu do Louvre, França [4]
4. Cobertura do Stadtbahn Heilbronn, Alemanha [5]
5. Fractura tipo do vidro temperado
6. Fractura tipo do vidro recozido
7. Fractura tipo do vidro laminado



temperatura de 290 °C. Desta forma pode determinar-se a presença de partículas de sulfato de níquel (NiS), que podem causar a rotura do vidro quando exposto a elevadas temperaturas.

A título de referência e para efeitos de comparação, mostram-se nas figuras 5 a 7 os diferentes padrões de rotura do vidro temperado (figura 5), do vidro recozido (figura 6) e do vidro laminado (figura 7). Note-se que o primeiro fractura em pequenos fragmentos, ao contrário do vidro termo-endurecido cuja rotura se dá com fragmentos de maiores dimensões, semelhante aos do vidro recozido [7]

O vidro laminado é constituído por duas ou mais lâminas de vidro ligadas termicamente e sob pressão a uma ou mais películas de butiral de polivinilo (PVB). Desta forma, garante-se que os fragmentos gerados por uma quebra se mantêm colados à película de PVB, reduzindo drasticamente o risco de acidentes e garantindo a segurança dos utilizadores (figura 7). O vidro laminado pode ainda ser obtido pela interposição de resinas líquidas entre as lâminas de vidro. Das aplicações e vantagens deste tipo de vidro destacam-se: a capacidade de isolamento acústico; as potencialidades na decoração, conseguidas pelo uso de resinas coloridas e o controlo de exposição solar, que permite obter elevadas transmissões de luz combinadas com um alto índice de isolamento térmico, ainda associadas a uma protecção contra os raios ultravioleta.

FABRICO E COMPOSIÇÃO DO VIDRO

Navarro, no seu livro "El Vidrio" (1984) [8], apresenta um conjunto de definições e terminologia específicas para o vidro. Define este material como "um produto inorgânico amorfo, constituído predominantemente por sílica, duro, frágil e transparente, de elevada resistência química e deformável a alta temperatura." Por outro lado, Smith [9] define vidro como "um produto inorgânico de fusão, arrefecido desde o estado fundido até um estado rígido, sem cristalização."

De uma forma genérica, vidro é toda a substância mineral que à temperatura ambiente se apresenta no estado sólido, frequentemente transparente e, por vezes, translúcida. É um material que resulta da

mistura de diferentes silicatos obtidos por fusão, predominando os silicatos alcalinos e os de cálcio (figura 8). De forma rigorosa, o vidro é o resultado da combinação de dois silicatos: um alcalino e outro terroso ou metálico. Dessa junção, obtém-se uma matéria vitrificável, ou seja, o vidro propriamente dito, que apresenta uma estrutura não-cristalina ou amorfa [9].

Presentemente, o processo mais utilizado para o fabrico de vidro plano é o processo float, descrito anteriormente. Este processo permite eliminar as tensões internas do vidro, que poderiam provocar a sua quebra espontânea durante o processo automático de corte das chapas de vidro em folhas de dimensão predefinida [10].

As soluções propostas pela indústria para satisfazer as exigências da evolução das técnicas de construção passam, frequentemente, por:

- Variar a composição do vidro;
- Efectuar tratamentos superficiais;
- Realizar capas funcionais;
- Adicionar elementos de materiais distintos entre as capas;
- Incluir sistemas activos ou passivos de controlo solar;
- Ou combinar algumas das soluções anteriores.

De uma forma genérica, os tratamentos superficiais são aplicados ao vidro durante as primeiras fases de produção. As características finais do vidro dependem não só do tratamento mas, sobretudo, do produto inicial e da sua espessura.

PROPRIEDADES E COMPORTAMENTO DO VIDRO

O vidro é um material frágil com um comportamento mecânico linear perfeitamente elástico, nunca apresentando, portanto, deformação permanente. A resistência teórica do vidro é determinada pela energia necessária para quebrar as ligações químicas entre os seus constituintes. Porém, a tensão necessária para fracturar o vidro é menor do que a esperada quando se consideram as forças necessárias para romper aquelas ligações inter-atômicas. Na Tabela 1 apresentam-se algumas das propriedades mecânicas e físicas mais relevantes do vidro.

8. Composição genérica do vidro

A presença de defeitos na superfície do vidro influencia fortemente a sua resistência uma vez que origina concentração de tensões e diminui a resistência à fractura. Aqueles defeitos podem ser provocados por contactos indevidos acidentais, pelos processos de corte utilizados e/ou pelas técnicas de polimento aplicadas. Ao longo do tempo, um defeito pode alcançar a longitude crítica por tensão e, assim, a rotura do vidro só se dá depois de submetido à tensão durante algum tempo. Este fenómeno, conhecido como a fadiga estática do vidro, só se dá na presença de água, não ocorre a temperaturas baixas, é favorecido pelo aumento de temperatura, e é independente da dimensão do defeito.

O PODER DO VIDRO

Arquitectos e engenheiros procuram criar novos conceitos e percepções do espaço construído (figura 10). O vidro é um material que, quando utilizado de forma inovadora, e graças às suas características particulares como a transparência e reflectividade, permite atingir estes objectivos. A sua utilização torna possível uma arquitectura variável e que depende do método de iluminação. Além disso, estudos recentes indicam que um nível mais elevado de luz natural tem influência positiva (psicológica e fisicamente) traduzindo-se numa sensação acrescida de bem-estar para os utilizadores. Outras propriedades importantes deste material são a sua elevada resistência mecânica, química e reacção ao fogo. O conjunto de todas estas características tornam o vidro um material "popular", uma vez que, além da simples protecção, é capaz de desempenhar um papel significativo na estruturação dos edifícios.

A arquitectura moderna procura conceber edifícios que proporcionem conforto e bem-estar aos utilizadores mas que também contribuam para um consumo racional de energia. A escolha apropriada do tipo vidro a aplicar numa fachada torna possível o aproveitamento de energia, deitando por terra a ideia de ser este o "elo mais fraco". Um vidro simples não protege da radiação solar, uma vez que reflecte apenas oito por cento, transmite 80 por cento e absorve 12 por cento da energia total incidente, que depois irradia quer para o exterior quer para o interior do edifício. Durante muitos anos este problema foi contornado recorrendo à utilização de vidros tingidos em massa e por adição de filmes protectores específicos. Actualmente, o uso destes tipos de vidro está em declínio porque, além dos problemas associados à distorção e captação invernal, não são atractivos do ponto de vista estético.

A melhoria do comportamento do vidro relativamente ao isolamento térmico e à protecção solar surgiu recentemente, quando a indústria começou a oferecer soluções sofisticadas e avançadas, que apresentam uma excelente protecção e isolamento térmico.

A escolha das características acústicas de um determinado tipo de vidro depende da natureza e intensidade do ruído que se pretende isolar. Tal como acontece com outros materiais, o vidro tem uma frequência crítica, para a qual o ruído se transmite de forma mais eficiente. Em termos de isolamento acústico, uma folha de vidro sofre uma perda de prestações de 10 a 15 dB. Para um vidro de quatro milímetros de espessura, sem qualquer tipo de tratamento, a frequência crítica situa-se perto dos 3 kHz. Aumentando a espessura do vidro, a perda de prestações devida à frequência crítica desloca-se para as baixas frequências [12]. A melhoria da prestação acústica do vidro tem sido conseguida por aumento da espessura e por assimetria em vidros duplos.

Quanto à resistência ao fogo, o vidro é um material incombustível e não inflamável. Actualmente o mercado oferece tipos de vidro com resistência ao fogo entre 30 e 180 minutos. Esta é uma propriedade muito relevante na medida em que um dos objectivos prioritários na utilização do vidro na construção é a protecção de pessoas. Consequentemente, torna-se indispensável escolher materiais que evitem o desenvolvimento e propagação de incêndios e, no caso da sua inevitabilidade, minimizem os seus efeitos nefastos. Não menos importante é a durabilidade e resistência deste tipo de estruturas que, contrariando a noção do senso comum, é excelente.

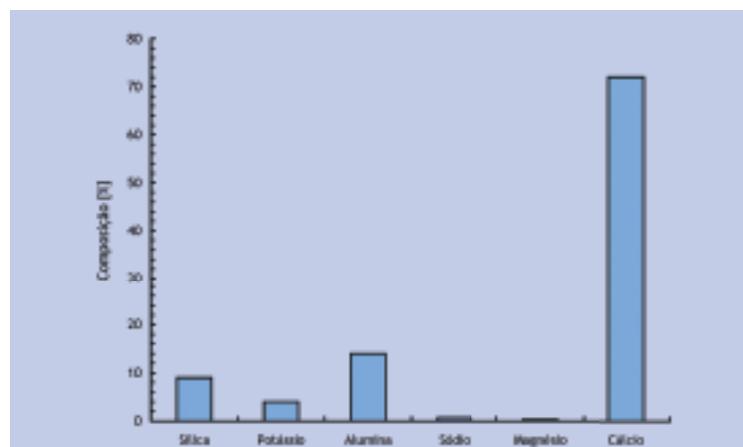
... E AS LIMITAÇÕES

O sucesso das construções em vidro passa pelo equilíbrio da combinação deste com outros materiais. Num edifício totalmente construído em vidro, perdem-se alguns conceitos básicos de arquitectura, pois perde-se a forma e o contraste (figura 11). O projecto e desenvolvimento de estruturas que recorrem ao vidro como elemento estrutural é, cada vez mais, uma área de engenharia em clara expansão. Porém, apesar de existirem já alguns exemplos construtivos, não existem normas nem recomendações definidas e finais [14]. Consequentemente, permanecem questões essenciais, associadas à aplicação do vidro, que necessitam de investigação e estudo, nomeadamente as relativas à sua resistência, estabilidade e

TABELA 1 – Propriedades mecânicas e físicas mais relevantes do vidro

Propriedade	Valor	
Peso específico	25 kN/m ³	
Elasticidade	Módulo de elasticidade longitudinal, <i>E</i>	48-794 GPa [11]
	Módulo de elasticidade transversal, <i>G</i>	26-33 GPa [11]
	Coefficiente de Poisson, <i>ν</i>	0,21-0,27 [11]
Resistência	Flexão (vidro recozido)	40 MPa
	Flexão (vidro temperado)	120-200 MPa [12]
	Compressão	800 MPa [12]
	Tração	30-70 MPa [12]
Dureza	5-6 (Escala de Mohs) [10]	
Temperatura de fusão	600°C [10]	
Comportamento térmico	Condutibilidade térmica	1,0 W/mK [12]
	Coefficiente de dilatação térmica	9x10 ⁻⁶ K ⁻¹ [10]
Comportamento ao fogo	Incombustível	

8.



9. Edifício da estação de caminhos-de-ferro de Avignon, França
10. Telhado do átrio do DG-Bank de Berlim, Alemanha [3]

construção. Deste modo, para um edifício com componentes estruturais primários de vidro, torna-se ainda necessário realizar testes em modelos à escala real. Só desta forma é possível definir o factor de segurança a utilizar, elaborar um livro de referências técnicas específicas (composição química do vidro, método de aplicação, etc.) e ainda, como acontece já em alguns países, obter a aprovação técnica por uma entidade independente.

Por outro lado, não é possível deixar de contabilizar os custos acrescidos deste tipo de construção, uma vez que a falta de regulamentação e recomendações gerais para o dimensionamento influencia negativamente os custos. No entanto, em consonância com o tecido empresarial, o sector de produção do vidro é caracterizado por ter capital intensivo e dispor de uma tecnologia em permanente evolução. Este sector procura responder às crescentes exigências de qualidade evoluindo na crescente disponibilidade de novos produtos. A aplicação deste material permite ainda economizar energia e incorporar produtos recicláveis pelo que, a curto prazo, deverá tornar-se uma solução economicamente atractiva.

APLICAÇÃO NAS ESTRUTURAS

A referência ao vidro como elemento estrutural carece da distinção entre "vidro estrutural" e "estrutura de vidro". O vidro estrutural é o material aplicado em elementos estruturais primários, isto é, vigas, pilares e outros elementos de suporte. Tal leva a que a sua estabilidade tenha implicação directa na estabilidade da estrutura.

Já nas estruturas de vidro, este é usado para separar espaços (interior do exterior, por exemplo) constituindo assim um elemento de preenchimento (figura 12) não sendo, por esse motivo, essencial para garantir a estabilidade global da estrutura. Porém, nas estruturas de vidro, mesmo aquelas que não suportam cargas permanentes (e.g. o peso próprio da estrutura), o vidro pode ter que resistir a outras cargas como a acção do vento, da neve, etc. Assim, a distinção entre vidro estrutural e estruturas de vidro pode revelar-se subjectiva.

As aplicações do vidro como material estrutural têm vindo a multiplicar-se nos últimos anos.

Para garantir o bom funcionamento estrutural é fundamental que o princípio da transmissão de esforços, dispositivos e sistemas de ligação entre os diversos materiais e elementos constituintes do sistema estrutural, sejam estudados com exactidão.

Actualmente, existe apenas uma Norma Europeia Preliminar (prEN-13474 – Glass in building – Design of glass panes [16-18]) para dimensionamento em vidro estrutural. Como pré-norma que é, este documento está ainda em fase de desenvolvimento e revisão. O elemento melhor tratado é um pano de janela apoiado em quatro pontos e submetido unicamente à acção do vento. O seu dimensionamento é baseado em tensões admissíveis, sendo utilizado, geralmente, o factor de segurança 2,4. Porém, uma vez que os panos de vidro das janelas têm frequentemente espessuras relativamente baixas, desenvolvem-se grandes deformações. Tal leva à necessidade de aplicação da teoria da membrana não-linear. Para o dimensionamento de vigas e pilares recorre-se a análises convencionais, podendo ser utilizado, quer o procedimento baseado em tensões admissíveis quer em estados limites últimos. No entanto, devido à esbelteza dos elementos, devem considerar-se sempre os efeitos de encurvadura.

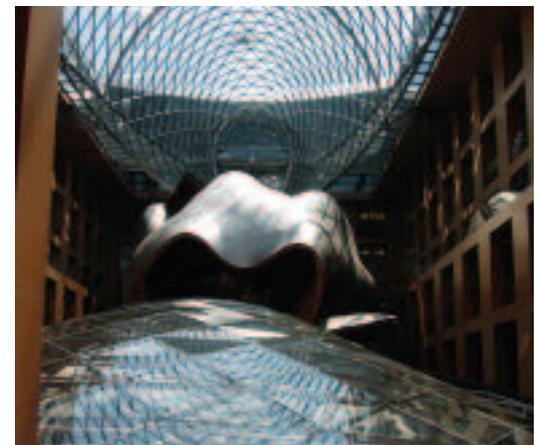
A APLICAÇÃO DE VIDRO ESTRUTURAL

Em Portugal praticamente não existem obras que recorram à utilização intensiva de vidro estrutural. Devem referir-se, no entanto, algumas fachadas em vidro agrafado, em que um sistema de fixação de aço suporta o vidro (ver figura 13). Tal se deve, em grande medida, à falta de regulamentação e recomendações nacionais e internacionais para o dimensionamento de elementos de vidro estrutural. A nível nacional existe capacidade para satisfazer a procura, nomeadamente através de uma oferta dirigida especificamente a determinados nichos de mercado que recorrem já à utilização de vidro estrutural, e de responder aos diferentes desafios produtivos e comerciais. A título de exemplo veja-se que, unicamente no período compreendido entre 1996 e 1998, o sector do vidro plano em Portugal cresceu dois por cento por ano, englobando a produção de vidro para a construção civil e para o sector automóvel [19]. O desenvolvimento de soluções em vidro estrutural por parte de arquitectos e projectistas em todo o mundo, exige que Portugal se dedique mais acintosamente ao estudo desta área de engenharia. Só deste modo a generalização da aplicação do vidro estrutural se poderá tornar uma realidade. Os dados relativos a 2001 mostram que a produção do mercado global (mundial) do vidro plano rondou os 34 milhões de toneladas/ano. De entre as quatro grandes companhias produtoras de vidro plano, que produzem 62 por cento do vidro float em todo o mundo, aproximadamente 70 por cento destinou-se ao sector da construção [8].

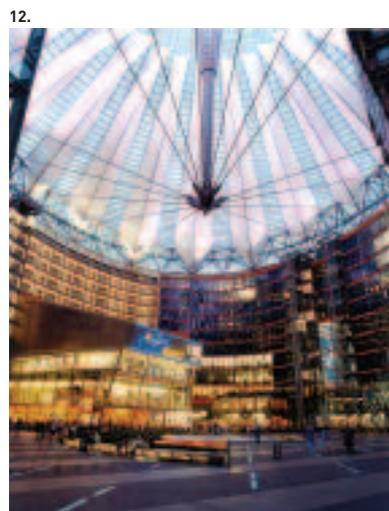
9.



10.



11. Pavilhão Rheinbach, Alemanha [15]
 12. Edifício da Praça Sony em Berlim, Alemanha
 13. Teatro Camões em Lisboa, Portugal
 14. Edifício do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, Portugal
 15. Museu do Vidro em Kingswinford, Reino Unido [5, 13]



A nível mundial existem já algumas obras de relevo em que o vidro é utilizado em componentes estruturais primários. Um exemplo é o dos pilares de vidro do Centro Administrativo de Saint-Germain em Laye. Neste caso, dado tratar-se de um edifício público, foi dedicada especial atenção à segurança global da construção, sendo utilizado um factor global de segurança de 8,8 [21]. Outro exemplo interessante é a entrada do Museu do Vidro, na Grã-Bretanha onde não foi utilizado nenhum sistema ou elemento metálico de fixação [figura 15].

O telhado de vidro de um edifício na Avenida Georges V em Paris [21] foi realizado com vigas de vidro laminado com um vão de 7,1 m e 0,65 m de altura. Com esta solução conseguiram atingir-se níveis muito elevados de luz natural no interior do edifício. Porém, as obras em vidro estrutural vão além de pilares, vigas e coberturas de edifícios, provando que o vidro é sem dúvida um material com propriedades mecânicas equiparáveis às de outros materiais correntemente usados na construção. Um exemplo é a ponte pedonal que garante a ligação entre os escritórios em edifícios adjacentes da empresa de arquitectura Kraaijvanger Urbis, em Roterdão (Holanda). A transparência da ponte contrasta com os edifícios, transmitindo a sensação de se dar um salto entre os espaços interiores [21].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do vidro na construção sempre despertou no Homem a sua exploração e aplicação, tornando-se "o material artificial de construção mais antigo que influencia a vida presente". A sua idade técnica só hoje o tem tornado um dos mais valiosos materiais dos nossos dias e do futuro. Este fascínio deve-se, sobretudo, às propriedades de transparência, à relação com a luz, que lhe permite criar arquitecturas ligeiras, frágeis e imateriais. No entanto, é necessário desenvolver o vidro numa perspectiva distinta, pois este oferece muito mais que transparência e isolamento.

Além de um simples pano que separa o interior do exterior de um edifício, o vidro pode constituir, em certas situações, um elemento de suporte, oferecendo novas perspectivas arquitectónicas. Actualmente, a imaginação dos arquitectos encoraja os engenheiros a desenvolver soluções técnicas inovadoras. Os projectos arrojados em vidro estrutural são exemplos de uma solução que só pode ser conseguida com a estreita colaboração entre todas as partes envolvidas e um forte

investimento de investigação e desenvolvimento no sector. Não obstante, é responsabilidade dos projectistas compreender a indústria, as suas capacidades e as suas limitações. E esta última deve também responder às ambições dos projectistas, desenvolvendo novas técnicas e produtos inovadores.

A arquitectura em vidro, até recentemente julgada utópica, é agora uma realidade. As fobias associadas à fragilidade do vidro são gradualmente substituídas pela aceitação do seu elevado potencial estrutural. Veja-se o exemplo dos estudos de dimensionamento de um edifício que só usa componentes de vidro, realizados no laboratório da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Delft. Tal estudo debruçou-se sobre os efeitos do vento e neve, levando ao projecto de todos os seus componentes e ligações, e provando a viabilidade da construção estrutural em vidro. Mais estudos devem ser realizados. Só deste modo o futuro do vidro estrutural e a sua utilização se poderá tornar transparente, segura e clara... como o próprio vidro!

Sandra Costa, Micaela Miranda, Humberto Varum são professores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
 Filipe Teixeira Dias é professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

REFERENCIAS

- [1] O Apelo da Transparência, Arte e Construção, pp. 16-24, Dezembro 2003.
- [2] R. Nijse; Special steel and adhesively bonded connections for glass structures, Structural Engineering International, 14(2):104-106, 2004.
- [3] J. Glymph, D. Sheldon, C. Ceccato, J. MusseL, H. Schober; A parametric strategy for free-form glass structures using quadrilateral planar facets, Automation in Construction, 13(2):187-202, 2004.
- [4] F. Bernard, L. Daudville, R. Gy; Load bearing capacity of connections in tempered glass structures, Structural Engineering International, 14(2):107-110, 2004.
- [5] H. Schober, J. Schneider; Developments in Structural Glass and Glass Structures, Structural Engineering International, 14(2):84-87, 2004.
- [6] <http://www.bellapart.com>
- [7] S. Costa, M. Miranda, H. Varum, F. Teixeira-Dias; On the evaluation of the mechanical behaviour of structural glass elements, Materials Science Forum (aceite para publicação), 2005.
- [8] Análise do Sector do Vidro Plano, Vidrio Plano, 87, 2004.
- [9] W. Smith; Principles of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill, 1998.
- [10] R. Hess; Material Glass, Structural Engineering International, 14(2):76-79, 2004.
- [11] C.M. Branco; Mecânica dos Materiais, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1985.
- [12] SAINT GOBAIN GLASS: Manual do Vidro, 2000.
- [13] Department of Engineering Science, Oxford University - Picture Gallery - <http://www.eng.ox.ac.uk/World/Info/Gallery/index.html>, 2005.
- [14] J. Belis, R. Impe; The Invisible Building: Advanced Research on Glass Structures, B4E: The Building for a European Future Conference, ECCREDI & E-CORE, Maastricht, The Netherlands, 2004.
- [15] F. Wellershoff, G. Sedlacek; Glued connections for new steel glass structures, Institute of Steel Construction, RWTH Aachen University, Germany, 2005.
- [16] prEN 13474-1 Glass in building - Design of glass panes - Part 1: General basis of design (draft European Standard for glass strength calculations), 1999.
- [17] prEN 13474-2 Glass in building - Design of glass panes - Part 2: Design for uniformly distributed loads (draft European Standard for glass strength calculations), 2000.
- [18] prEN 13474-3 Glass in building - Design of glass panes - Part 3: General basis of design, design of glass by calculation of non-fenestration use and design of glass by testing for any use (draft European Standard for glass strength calculations), 2003.
- [19] C. Nunes, C. Godinho; Produção de Vidro - Uma Tradição Nacional, Ministério da Economia, 2001.
- [20] <http://www.Saint-Gobain-glass.com>
- [21] M. Chaunac, F. Serruys; Glass as a Structural Element, Glass Processing Days, 13-15, 1997.