

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS EM FACHADAS TRANSPARENTES A PARTIR DA DÉCADA DE 70

Lucas L. Corato (1); Tatiana M. Nakanishi (1); Rosana M. Caram (1)

(1) USP – Escola de Engenharia de São Carlos – Depto. de Arquitetura
Av. Trabalhador Sancarlense, 400, 13566-590 Fone:273-9311 Fax:273-9310
e-mail:lucascorato@hotmail.com

RESUMO

O trabalho presente é uma pesquisa sobre quais inovações tecnológicas em termos de fachadas transparentes surgiram desde a década de 70, e como a arquitetura tem se apropriado e absorvido estas novas tecnologias. A década de 70 foi escolhida para proceder com este levantamento porque foi marcada pela crise energética do petróleo e conseqüentemente por uma grande preocupação com a racionalização do uso de energia. Em decorrência deste momento, o mercado, atento à situação, começou a propor várias soluções, buscando economizar e racionalizar a energia consumida com iluminação, refrigeração e aquecimento.

ABSTRACT

The present work is a research on which technological innovations in terms of transparent facades appeared since the decade of 70, and how architecture has absorbed these new technologies. The decade of 70 was chosen to proceed with the study of these new technologies because this period was marked by the energy crisis of the petroleum and consequently a great concern with rationalization of energy. Due to this moment, the market, mindful of the situation, began proposing several solutions, looking for saving and rationalizing energy consumed with illumination, refrigeration and heating.

1. INTRODUÇÃO

O vidro passou a ser utilizado na arquitetura pelos romanos, por volta do ano 100 a.C., como vedação de janelas. Desde então está presente em toda a história da arquitetura: nos vitrais das catedrais góticas, nas janelas e espelhos renascentistas, e nos grandes panos de vidro modernistas, que enfatizavam um sistema construtivo que liberava a função estrutural das vedações e explicitavam a ideologia de uma utópica sociedade democrática. Até 1974, ano da crise e embargo do petróleo, a energia era barata e abundante. Havia pouca preocupação em relação aos problemas energéticos ao longo da vida útil dos edifícios. Com o modernismo, o vidro é utilizado em nome de uma transparência e leveza conceitual e em detrimento do uso racional do material em termos de conforto térmico e consumo de energia. O uso de superfícies transparentes (vidros e policarbonatos) nas fachadas permite que a radiação solar penetre facilmente no ambiente interno por irradiação, desvantajoso para climas quentes, assim como facilita a perda de calor para o exterior por condução em climas mais frios. A necessidade de adequação dos projetos de arquitetura a essa nova configuração econômica pós-crise energética fez com que o mercado apresentasse algumas inovações tecnológicas na área de vidros para arquitetura, buscando conseqüente economia de energia para aquecer, refrigerar e iluminar.

2. RADIAÇÃO SOLAR E O CONFORTO AMBIENTAL

A energia solar, ao atingir o vidro, pode ser refletida por ele, absorvida e transformada em calor ou transmitida para o interior. A maioria dos vidros incolor transmite praticamente todas as radiações presentes no espectro solar, desde a região do infravermelho até a do ultravioleta, passando pela visível. Essa característica é a principal causa dos problemas do uso de grandes planos de vidro, juntando-se à de ser opaco ao infravermelho longo (ondas de calor emitidas por corpos aquecidos).

Os produtos transparentes produzidos recentemente têm essa preocupação com o controle da transmissão de determinadas faixas do espectro, adicionando óxidos em sua composição ou usando conjunto de vários materiais, como conjugação de vidros ou adição de películas poliméricas. De maneira geral, a intenção de um suposto vidro ideal é a de ser transparente ao espectro visível e opaco ao infravermelho e, em algumas vezes, ao ultravioleta (visto que esta faixa tem influências benéficas e malélicas, dependendo do caso).

A radiação ultravioleta é responsável pela higienização de ambientes (por ser germicida e bactericida), pela pigmentação e surgimento de eritemas e queimaduras na pele, pela síntese de vitamina D e pela descoloração de pigmentos. A luz visível é necessária para a grande maioria das ações do homem e para a fotossíntese vegetal. O infravermelho é o grande responsável pelo aquecimento dos ambientes pois, a porção à qual o vidro é transparente (infravermelho próximo) aquece os corpos, que emitem infravermelho longo, ao qual o vidro é opaco, criando o efeito estufa.

3. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Após o surgimento do vidro *float*, de faces plenamente paralelas, abriram-se inúmeras possibilidades de tratamento e uso do vidro, como os vidros temperados, refletivos, laminados e outras mais avançadas, como vidros insulados, vidros eletrocromicos e cristais líquidos.

É importante ressaltar que a época do surgimento de novas tecnologias de materiais não coincide com a época de sua apropriação pela Arquitetura. Com o vidro não é diferente: vidros fotocromicos e termocromicos, por exemplo, datam do século passado; os termo-absorventes da década de 50. Mas a partir da década de 70, quando surge a necessidade, são absorvidos pela Arquitetura.

3.1 Produtos Vítreos Básicos

O vidro *termo-absorvente* foi um dos primeiros a surgir em função da necessidade do controle solar. Nas cores cinza, bronze e verde, o vidro termo-absorvente nada mais é do que um vidro float colorido através da adição de óxidos. Há bastante tempo tem sido usado na arquitetura visando a proteção solar, mas, na verdade, colorações como o cinza e o bronze absorvem a luz visível e o infra-vermelho, esquentando-os e irradiando calor para o interior e exterior. A superfície desses vidros pode chegar, quando expostas ao sol, a 50°C ou 60°C. Os de cores verde e azul apresentam-se como umas das mais eficientes soluções em termos de boa transmissão das radiações visível e infravermelha (com grande atenuação desta).

O *vidro laminado* é formado por duas ou mais placas de vidro plano (*float*) intercaladas por uma película polimérica de polivinil butiral (incolor ou colorida), o que faz com que seja também considerado como vidro de segurança. Também estão disponíveis no mercado em várias cores (azul, bronze, verde e fumê), mas as diferenças de transmissão ótica entre esses vidros e os float coloridos se devem ao fato de que os vidros laminados produzidos como padrão no mercado têm sua cor na película e não no vidro em si. Pode-se inferir que a composição mais eficiente seria um vidro laminado onde o vidro é colorido (verde, por exemplo) e a película incolor. Desse modo, barra-se grande parcela de infravermelho (por conta do vidro verde) e quase totalidade de UV (por conta da película), sem haver grande prejuízo na transmissão da luz visível.

O *vidro refletivo* recebe uma camada de óxidos metálicos em uma de suas faces, conferindo um aumento no seu grau de reflexão. Os processos de produção do vidro refletivo são dois: por pirólise e metalização à vácuo. O primeiro ocorre ainda na linha de produção do vidro, e consiste na deposição de óxidos metálicos diretamente sobre o vidro ainda quente, proporcionando elevada estabilidade e

resistência ao desgaste. O segundo é realizado após a produção do vidro e consiste na pulverização catódica de íons metálicos sobre a superfície em atmosfera inerte. Quando o ambiente externo está mais claro do que o interno, a visão do interior é maior do que a do exterior. Quando o ambiente externo está mais escuro do que o interno, a visão do interior é menor do que a do exterior. Tais fenômenos devem ser levados em consideração quando se especifica o vidro refletivo para edifícios em que a privacidade ou a necessidade de visão sejam importantes, como no caso de residências e vitrines (não aconselhável nesse segundo caso por permitir a passagem do ultravioleta, responsável pelo desbotamento da matéria, e por bloquear a visão do produto exposto).

3.2 Produtos Vítreos Tecnicamente Avançados

O atual empenho em pesquisas na área de materiais transparentes, sobretudo vítreos, visando a uma economia cada vez maior de energia e aproveitamento adequado da radiação solar, vem proporcionando uma nova geração de produtos que atendam a essas necessidades, como os vidros laminados e refletivos citados acima. Hoje vários sistemas de envidraçamento para controle e conforto ambiental estão sendo difundidos e cada vez mais utilizados, quer seja para minimizar perdas e ganhos de calor ou excesso de luminosidade. Formam um outro grupo de materiais ainda usados com restrições, mas prometem ser amplamente utilizados em pouco tempo.

Um exemplo desses materiais é o *vidro insulado* (originado do inglês “*insulated*”, é o termo técnico e o nome de mercado utilizado para designar o vidro duplo com camada de ar entre as lâminas), que é uma combinação de vidros *float* simples, formando um conjunto múltiplo intercalado com gases inertes (como argônio ou criptônio). Essa cavidade entre os vidros, além de excelente isolante acústico, impede trocas de calor por condução. Uma característica do vidro insulado que tem sido amplamente explorada é a inserção de algum produto nesses espaços vazios entre as lâminas. Podem ser colocadas, por exemplo, persianas com acionamento manual ou por controle remoto, pequenos brises e materiais transparentes ou translúcidos que diminuam a convecção do ar no interior ou garantam barreira visual.

Uma solução que está sendo utilizada sobretudo em países frios são as *películas low-e* (baixa emissividade), que diminuem a transferência de calor (infravermelho longo) através das superfícies de vidro. A conjugação de sistemas insulados e películas *low-e* formam as *super-windows*, que resultam em alta resistência térmica e boa opção para ambientes climatizados.

Camadas dicróicas, ainda utilizadas como filtros em laboratórios mas com grande potencial para uso em fachadas, podem ser aplicadas a vidros, com resultados plasticamente interessantes. As camadas (até um total de quarenta) têm a propriedade de transmitir certos comprimentos de onda (certas cores) e refletir outros, dependendo do ângulo de incidência dos raios da fonte. Um vidro com essas camadas pode, por exemplo, causar um efeito de refletir a luz vermelha (deixando os reflexos avermelhados) e transmitir a luz azul (deixando o interior como uma luz azulada).

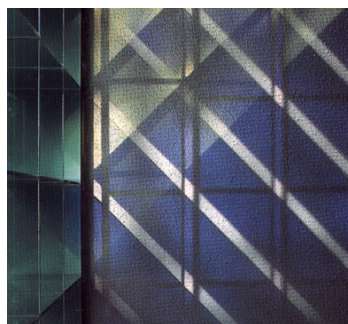


Figura 1: painéis horizontais de vidros dicróicos (COMPAGNO 1996)

Os materiais *chromogênicos* são o que se espera do futuro dos envidraçamentos inteligentes, já que sua função seria controlar a passagem de luz e calor de um modo mais automático e ativo, de acordo com

as necessidades do usuário em determinado momento. Sua característica básica é sofrer uma alteração de propriedades óticas por variações no campo eletromagnético, carga, intensidade de luz ou temperatura. Ou seja, escurecem, clareiam, tornam-se translúcidos ou límpidos dependendo das condições.

Os materiais cromogênicos podem ser divididos em duas categorias: os passivos e os ativos. Os primeiros sofrem mudanças óticas em função da incidência solar e variação de temperatura. Os outros necessitam de aplicação de alguma interferência, sobretudo corrente elétrica, para alterarem suas características óticas.

Exemplos de materiais cromogênicos passivos são os vidros *fotocrômicos*, que barram de 5% a 90% da luz visível quando expostos, os vidros *termocrômicos*, que escurecem ou tornam-se refletivos quando sofrem variação de temperatura, e os materiais *termotrópicos*, que mudam de estado quando esquentam (uma camada de gel, por exemplo, que se torna translúcida). Os dois primeiros são desenvolvidos antes da década de 70, mas a partir daí são apropriados pela Arquitetura.

Materiais cromogênicos ativos têm grandes perspectivas de uso, pois podem fazer parte de um sistema informatizado de controle energético. O *crystal líquido* ainda não é utilizado em fachadas, pois o calor e o UV desestabilizam as moléculas, mas seu uso atual consiste em divisórias internas que garantem ora privacidade ora continuidade visual. Seu funcionamento consiste em aplicação de voltagem para que suas moléculas se alinhem e deixem passar luz polarizada. Quando não há diferença de potencial aplicada, as moléculas ficam desalinhadas e a luz atravessa difusamente.

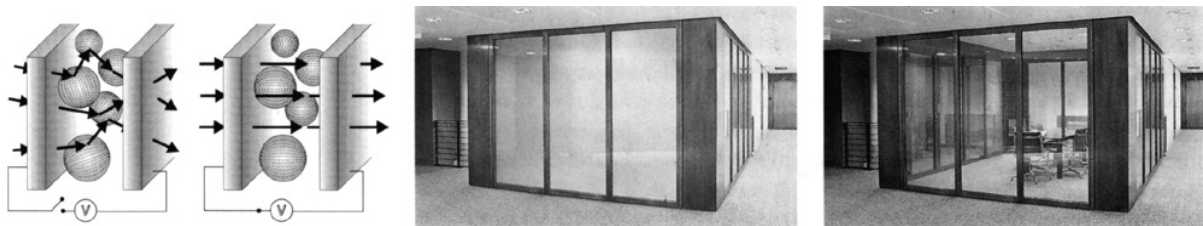


Figura 2: divisórias de cristal líquido (COMPAGNO 1996)

Já o *vidro eletrocromico*, também cromogênico ativo, sem dúvida mostra-se como o mais promissor dos materiais a serem utilizados em fachadas. Além de alta eficiência em barrar radiações indesejadas, pode controlar o edifício energeticamente e integrar entrada de luz natural, uso de luz artificial e aquecimento. As janelas eletrocromicas são constituídas de filmes finos prensados entre dois substratos de vidro, que mudam de cor sob aplicação de potencial elétrico em seus condutores eletrônicos transparentes. Proporciona efeitos visuais interessantes pois, dependendo da constituição das camadas do vidro, a coloração pode variar de transparente a azul, cinza ou vermelho.

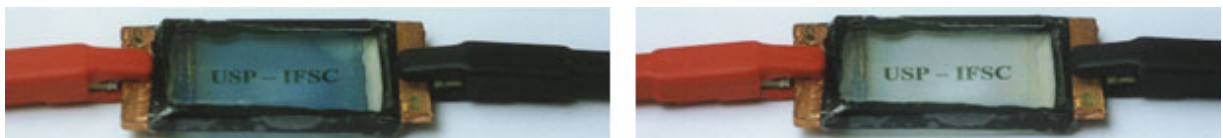


Figura 3: vidro eletrocromico ativado (e) e desativado (d) (CARAM 1998)

O mercado dispõe não só de produtos inovadores, mas também de sistemas de fachadas, como o *structural glazing* (envidraçamento estrutural). A partir da década de 70, quando as grandes fachadas de vidros coloridos e refletivos começaram a se popularizar, surgiu este sistema de fixação dos painéis de vidros à caixilharia utilizando silicone estrutural, possibilitando uma maior continuidade do plano da

fachada, pois o vidro é colado sobre o caixilho, que fica escondido por trás. Resolve também, por criar uma superfície contínua, o problema de acúmulo de poeira e água entre os vidros, evitando manchas e sujeiras.

3.3 Produtos Poliméricos

Os materiais utilizados em fachadas não se resumem a vidros, mas também são utilizadas placas de policarbonato e películas de controle solar, cujas características principais são alta resistência mecânica e baixa transmissão de raios ultravioleta.

Os *policarbonatos*, por serem praticamente inquebráveis e com alta resistência a impactos, são utilizados como proteção contra queda ou impacto de objetos ou pessoas e contra roubos ou vandalismos. Segundo os fabricantes, é até 250 vezes mais resistente que o vidro. Do ponto de vista de transmissão ótica, é eficiente para barrar praticamente 100% da radiação ultravioleta, não importando a cor, o que possibilita uso adequado da placa incolor para vitrines, museus e bibliotecas, onde são necessárias a ausência de ultravioleta e a passagem da luz visível branca (para proporcionar um alto índice de reprodução de cores). Seu grande problema é a durabilidade, pois os fabricantes garantem apenas 5 a 7 anos até que sua transparência original diminua (amarelamento), o que significa muito pouco em relação à vida útil de um edifício. Outra desvantagem é a baixa resistência a riscos.

As *películas de controle solar* são úteis para sistemas de envidraçamento já implantados que necessitam de controle de transmissão luminosa e radiação solar, como vitrines que tiveram peças desbotadas, estabelecimentos que desejam diminuir o ofuscamento pelo excesso de luz natural, salas e escritórios que necessitam de maior privacidade etc. Como no caso do policarbonato, suas vantagens são de barrar a quase totalidade da radiação violeta, tornar a área envidraçada segura, por fixar os fragmentos em caso de quebra.

4. EXEMPLOS DE OBRAS QUE UTILIZAM AS NOVAS TECNOLOGIAS

4.1 Norman Foster – *Frankfurt Commerzbank*, Frankfurt, Alemanha



Figuras 4 e 5: foto do edifício e vidraça dos jardins entre blocos de andares (COMPAGNO 1996)

A característica principal do prédio está em seu vão central e jardins envidraçados dispostos em espiral por todos os blocos de andares para assegurar uma ventilação constante e eliminação do ar quente. Na fachada, é utilizado um sofisticado sistema que envolve desde uma pele dupla de vidros insulados até mecanismos de sustentação e aberturas de alguns deles.

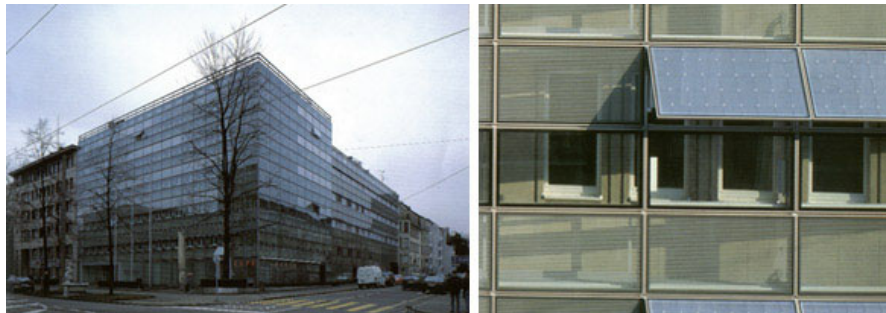
Nos dias mais quentes as grandes vidraças dos jardins são abertas e ocorre uma circulação de ar entre os jardins, criando uma corrente que elimina o ar quente e ventila naturalmente as salas que se abrem para o vão interno. No inverno, quando as vidraças são fechadas, os jardins desempenham um papel de transformar a energia solar em calor e esquentar o edifício como um todo, mas não como uma estufa, pois o ar quente circula e sai pelo vão central.

A dupla fachada é constituída por uma camada interna de vidro insulado (de transmissão 1,4–1,6 W/m²K) em cujas cavidades são instaladas persianas móveis que protegem, quando necessário, da luz solar direta e do ofuscamento, e outra camada de vidro com aberturas em cima e em baixo da estrutura. Estas aberturas podem ser fechadas quando a temperatura cai, criando um colchão de ar entre as duas camadas da fachada.

4.2 Herzog & de Meuron – *Edifício Suva, Basileia, Suíça*

A reforma e ampliação do edifício da companhia de seguros SUVA, consistiu na construção de uma pele de vidro sobre o antigo prédio, de concreto e pedra, com os objetivos de otimizar o uso da luz do sol e criar uma fachada que se adaptasse de acordo com as estações do ano e variações do tempo. Conseqüentemente, estaria sendo eliminado um sistema permanente de ar-condicionado. De acordo com esses parâmetros, procurou-se conseguir, dentro das salas, um nível de luz do dia sem ofuscamento e distribuída o mais uniformemente possível, eliminando a necessidade de iluminação artificial durante o dia e proporcionando um ambiente confortável para o trabalho.

O sistema utilizado, então, constitui-se em uma fachada totalmente de vidro, que se move durante o dia, de acordo com o clima e com a posição do sol. Basicamente os painéis da fachada estão agrupados em três faixas horizontais, em cada andar, repetindo-se em toda a altura do edifício: o painel inferior se move de acordo com o clima externo. No frio, fecha-se para diminuir a perda de calor para o exterior. Nos dias quentes, abre-se para que o edifício seja ventilado. Através de um sistema de orientação por luz, os painéis superiores guiam-se pelo sol, de modo a serem atingidos perpendicularmente pelos raios solares. Os painéis intermediários são de acionamento manual, proporcionando ao usuário um controle não totalmente dependente do sistema informatizado.



Figuras 6 e 7: vista geral e detalhe dos painéis (El Croquis 1997 n° 84)

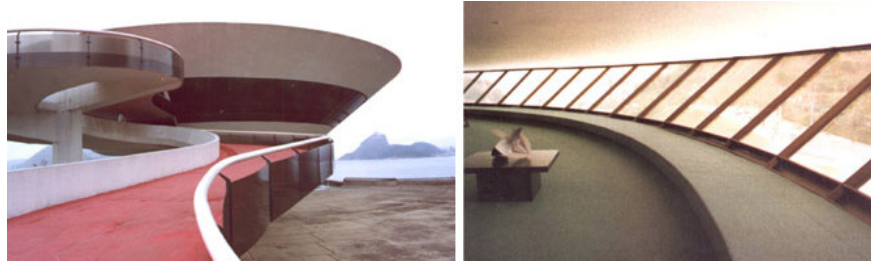
Esses painéis são constituídos de esquadrias de alumínio e vidros insulados. Na faixa inferior, são serigrafados com pequenas letras do nome da empresa, de modo a cobrir 50% de sua superfície (como um dispositivo de sombreamento). Na faixa superior, são inseridas nas cavidades dos vidros pequenas placas prismáticas, que são a peça fundamental para o bom funcionamento do sistema pois, ao serem atingidas em ângulo reto pelos raios solares, elas admitem uma luz difusa de baixa energia e desviam para fora a de alta energia. Ao mesmo tempo, resulta em sombreamento e iluminação natural excelentes, possibilitando uma quantidade de luz no interior cerca de 130% maior que com o uso de brises brancos externos.

A fachada do edifício representa total novidade, devido a seu alto grau de flexibilidade e informatização, possibilitando ao mesmo tempo certo controle pelo usuário. Não pode ser avaliada pelo seu custo econômico sem antes serem levados em conta aspectos não-financeiros, como conforto dos usuários e conseqüente aumento de produtividade.

4.3 Oscar Niemeyer – *Museu de Arte Contemporânea de Niterói, Niterói - RJ*

Projetado por Oscar Niemeyer e inaugurado em 1996, o MAC localiza-se à beira da Baía de Guanabara, privilegiado com uma vista panorâmica “extraordinária”, como diz o próprio arquiteto:

“Não desejava um museu envidraçado, mas com o grande salão de exposições cercado de paredes retas, circulado por uma galeria que o protegesse e permitisse aos visitantes nos momentos de pausa apreciar a vista extraordinária.” (Oscar Niemeyer).



Figuras 8 e 9: vista externa e interna, com os vidros a 40° (O Vidro Plano 1986 nº 286)

Ao redor da galeria, a qual se refere Niemeyer, foram utilizadas 70 lâminas de vidro bronze triplex com 18mm de espessura (10mm+polivinil butiral bronze+8mm) que suportam carga de 200kg/m^2 . Já no pavimento da administração as placas têm 12mm (6mm+polivinil butiral bronze+6mm).

Os vidros foram fixados inclinados a 40° de modo que os raios solares não incidam perpendicularmente à superfície, fazendo com que grande parte da radiação seja refletida, pois quanto maior o ângulo de incidência, maior é a reflexão que a luz solar sofre.

4.4 Paulo Bruna Arquitetos Associados – Ática Shopping Cultural, São Paulo - SP

O edifício foi projetado para abrigar uma livraria diferente, que tivesse como objetivo não somente vender livros mas também funcionar como um centro de lazer e informação. Localiza-se no bairro Pinheiros, na Avenida Pedroso Morais, em frente à Praça Omaguás, que foi revitalizada e incorporada ao edifício através da utilização do vidro em toda a fachada.



Figuras 10 e 11: fachada com brises e a sala de leitura (Finestra 1997 ano 3 nº 10)

Foi utilizado o vidro laminado de 6mm, sendo uma lâmina em vidro verde e outra em vidro incolor, o que deu à fachada um leve toque esverdeado. A combinação do vidro verde com a película de polivinil-butiral (PVB) é muito eficiente para esse caso, já que o vidro verde permite pouca passagem da radiação infravermelha, evitando o superaquecimento do ambiente, e a película de PVB bloqueia a passagem da radiação ultravioleta, evitando o desbotamento (entre 300 e 400nm) dos livros, carpetes, móveis etc. Mesmo assim foi deixado um vão de 7m entre a fachada e os livros, impedindo a incidência direta dos raios solares sobre os produtos.

5. CONCLUSÃO

No exterior as novas tecnologias são normalmente assimiladas com maior rapidez. Arquitetos como Norman Foster, Jean Nouvel, Nicholas Grimshaw, Renzo Piano etc trabalham em conjunto com profissionais que especificam e desenvolvem materiais e sistemas especiais em função do melhor desempenho em termos de eficiência energética. No Brasil, há uma grande dificuldade de assimilação dos produtos de alta tecnologia devido a barreiras econômicas e falta interesse e incentivo para que sejam desenvolvidas de acordo com as necessidades do clima brasileiro, limitando os profissionais apenas a se adequar ao que já foi absorvido pelo mercado e tentar otimizar seu uso. Exemplo disso são as “torres de cristal” que vêm surgindo nas metrópoles brasileiras. O vidro refletivo utilizado em nome de uma estética de arranha-céus acaba por transformar os prédios em grandes consumidores de energia em iluminação artificial (mesmo durante o dia) e ar-condicionado.

O crescente uso do policarbonato em grandes superfícies transparentes no Brasil também pode ser um exemplo claro do uso de materiais não apropriados ao nosso clima. Normalmente o critério de escolha enfatiza sua alta resistência mecânica, desconsiderando seu comportamento em relação à transmissão de infravermelho que, comparando-se à do vidro float incolor, é bem maior (cerca de 85% contra 70%). A maior diferença é entre os materiais de cor verde: o policarbonato transmite cerca de 81% do infravermelho e o vidro 28%. Outro grande problema do policarbonato é a durabilidade, pois os fabricantes garantem apenas 5 a 7 anos. O policarbonato é mais indicado para evitar trocas térmicas entre o interior e o exterior, pois sua condutividade térmica é bem menor do que a do vidro (0,21 W/m²K contra 1,16 W/m²K), portanto é adequado a climas muito frios ou muito quentes (quando não há incidência direta de luz solar, pois neste caso o ganho de calor é devido à irradiação e não à condução).

Fica claro que no Brasil deve-se aplicar de maneira adequada o que é desenvolvido no exterior e principalmente desenvolver materiais e equipamentos de controle solar específicos e, portanto, mais eficientes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGAN, G.C. (1998) Arte Moderna. Companhia das Letras, São Paulo
- CARAM, R.M. (1995) Indicativos para o emprego apropriado de vidros planos na construção civil, segundo critérios espectrofotométricos. São Carlos. Dissertação de Mestrado – EESC-USP.
- CARAM, R.M. (1998) Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações. Campinas, 164p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- COMPAGNO, ANDREA. (1996) Intelligent Glass Façades. Birkhäuser, Berlim.
- Revista *El Croquis* (1997) nº 84
- Revista *O Vidro Plano* (1986) nº 286
- Revista *Finestra* (1997) ano 3 nº 10
- O Vidro na Arquitetura* – Publicação técnica da companhia vidreira Sta. Marina.