



AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SOLUÇÕES DE ENVIDRAÇAMENTO

A. Hernandez Neto(1); A. Tribess(1); F. Vittorino(2); R. M. Caram (3)

(1) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

Grupo de Pesquisa em Refrigeração, Ar Condicionado e Conforto Térmico

Av. Prof. Mello Moraes, 2231

05508-900 - São Paulo (SP) - Brasil

Fax: (+55 11) 813-1886

e-mail: ahneto@usp.br, atribess@usp.br

(2) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.

Av. Prof. Almeida Prado, 532

CEP 05508-901 – São Paulo (SP) - Brasil

Fax: + 55 11 3767-4681

e-mail: fulviov@ipt.br

(3) Escola de Engenharia de São Carlos/ Universidade de São Paulo

Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465

e-mail: carassis@sc.usp.br

RESUMO: O envidraçamento das edificações, elemento que caracteriza sua fachada, deve ser selecionado considerando o impacto resultante no consumo de energia pelo sistema de ar condicionado. O projetista conta, hoje, com uma enorme gama de alternativas, devendo fazer sua opção em bases técnicas e econômicas, principalmente quando considera o uso de produtos inovadores. Este trabalho analisa o efeito de diferentes materiais para envidraçamento no custo do equipamento de condicionamento de ar e de sua operação em edifícios comerciais.

ABSTRACT The building fenestration must be selected regarding the impact on the energy consumption in the air conditioning system. The building designer has nowadays a wide range of alternatives of products that he must evaluate based on economical and technical aspects, mainly when considering the use of innovative ones. In this paper, the effect of different materials for fenestration is analyzed and its effect on air-conditioning system first and operation costs in commercial buildings.

1 Introdução

Registros sobre a existência de vidros manufaturados remontam a 3000 anos ac., sendo que foram encontrados restos de vasos de vidro moldados em 1500 ac. No império romano iniciou-se a fabricação do vidro plano laminando vidro fundente em uma superfície lisa. O produto daí resultante apresentava superfície irregular e não era muito transparente. Placas de vidro foram produzidas pela primeira vez em St. Gobain, na França, em 1668. O uso desse material em edificações somente começou a ser feito em maior escala a partir do século 18. Antes dessa data, os vidros somente eram encontrados em janelas de nobres ou de pessoas abastadas, dado o seu elevado preço.

A tecnologia contemporânea colocou à disposição do projetista de edificações uma grande variedade de produtos para serem usados como elementos iluminantes em janelas. Até as crises energéticas da década de 70, a seleção desses elementos era feita sem maiores preocupações com a conservação de energia nas edificações, como ocorre atualmente.

Neste trabalho, será feita uma pré-avaliação econômica de algumas alternativas de produtos que podem ser utilizados em caixilhos, considerando as condições climáticas de três cidades brasileiras em edifícios típicos de escritório.

2 Vidros e pesquisas com vidros

Atualmente tem sido executados diversos trabalhos de pesquisa para o desenvolvimento de novas soluções de elementos que permitam o controle da entrada de luz e calor solar nos ambientes, seja pelo estudo de novos tipos de vidros ou de alternativas com materiais poliméricos, como por exemplo os policarbonatos e também as películas de controle solar.

O mercado hoje dispõe de vidros estirados, planos (*floats*), que têm sido indicados para pequenos vãos que exigem pequenas espessuras, e os impressos, que são conhecidos também como "vidro fantasia", que apresentam os mais variados padrões como pontilhado, boreal, miniboreal, martelado, mosaico, tijolinho, canelado. Os vidros planos (*floats*), coloridos ou incolores, possuem suas faces plenamente paralelas em consequência de seu processo de fabricação, podendo ser submetidos a cortes, lapidação, têmpera, metalização, laminação. Além destes, são utilizados em edificações os vidros laminados, compostos por dois vidros planos colaminados com placas de polivinil butiral, e os vidros refletivos, obtidos a partir de dois processos de metalização: por pirólise e a vácuo (*sputtering*).

Com relação aos policarbonatos, estes representam um material de "envidraçamento" praticamente inquebrável, sendo, segundo os fabricantes, cerca de 250 vezes mais resistente que o vidro. Aliada a essa vantagem, o policarbonato propicia ainda uma liberdade na fase de projeto no que diz respeito ao desenho arquitetônico das edificações, permitindo que seja curvado a frio, característica esta não pertinente ao vidro.

As películas de controle solar também são utilizadas para reduzir os ganhos de energia térmica além de normalmente serem usadas em vidraças já instaladas e que precisam de uma modificação ótica visando diversos aspectos, a saber: minimização do ganho de calor; diminuição dos danos causados pela ação do ultravioleta; privacidade ou mesmo redução da incidência de luz natural, diminuindo o seu efeito de ofuscamento.

O desenvolvimento e a pesquisa relacionados à superfícies transparentes têm proporcionado uma nova geração de materiais, que buscam oferecer uma melhora na eficiência energética das janelas. Além destes materiais já citados, vários tipos de sistemas de envidraçamento, que visam auxiliar controle das trocas de calor e luz do ambiente com o exterior, estão disponíveis. Os progressos recentes incluem janelas com caixilhos duplos ou triplos, nas quais os vidros possuem películas de baixa emissividade (*low-e*); vidros coloridos ou absorventes; vidros refletivos; caixilhos duplos ou triplos com inserção de gás inerte em seu interior. Sistemas holográficos de envidraçamento; materiais cromogênicos como dispositivos de cristais líquidos, vidros termocrômicos, fotocrômicos e eletrocromicos; assim como outras conjunções viáveis destas possibilidades, ainda são usadas com restrições.

Destes citados, os vidros eletrocromicos são considerados os mais versáteis, devido a mudança de coloração que podem apresentar. São sistemas constituídos de camadas de filmes finos que mudam sua coloração conforme a aplicação de potencial elétrico em seus condutores eletrônicos. Os vidros eletrocromicos possuem memória. Isto significa que, com a aplicação de uma tensão de cinco volts obtém-se a mudança de coloração do vidro, sendo que para descolori-lo basta mudar a polaridade dos eletrodos. O tempo de memória implica no período em que o vidro eletrocromico permanece colorido depois de cessada a aplicação de voltagem. Pode ser bastante longo atingindo de 12 a 24 horas, o que é conveniente para as fachadas, pois o sistema pode permanecer ativado durante o período do dia que se fizer necessário. O uso dos vidros eletrocromicos deve acontecer simultaneamente com utilização de sistema informatizado para controle das condições ambientais dos edifícios, tais como nível de iluminação, temperatura interna do ambiente, combinação entre luz artificial e natural, de modo a melhorar a eficiência energética dos edifícios. As janelas eletrocromicas ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento.

3 Alternativas de mercado

No item anterior foram apresentadas várias opções de superfícies transparentes que podem ser utilizadas em fachadas. Nas Tabs. 1 a 4 (Caram, 1998) são apresentadas propriedades de materiais com grande inserção no mercado nacional atualmente, juntamente com o vidro eletrocromico que ainda não se encontra disponível para uso.

Tab. 1 - Transmissão da radiação solar para os vidros planos.

Float	Espessura	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
		UltraVio.	Visível	InfraVer.	
Incolor	6 mm	38	86	70	72
Vidros Laminados	Espessura	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
		UltraVio.	Visível	InfraVer.	
Lam. Incolor	6 mm	2	85	67	65
Lam. Cinza	6 mm	1	45	57	51
Lam. Bronze Escuro	6 mm	1	31	41	38
Vidros refletivos	Espessura	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
		UltraVio.	Visível	InfraVer.	
Refletivo Incolor	6 mm	6	34	56	53
Refletivo Prata	6 mm	18	54	61	60
Refletivo Bronze	6mm	5	28	39	40

Tab. 2 - Transmissão da radiação solar para os vidros refletivos metalizados a vácuo.

Vidros Refletivos	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
	UltraVio.	Visível	InfraVer.	
Bronze *	8	15	12	12
Prata *	5	13	9	9
Azul *	9	29	19	20
Azul Intenso *	5	13	13	9
Clear (S.G.)	27	50	35	38

* Cool Lite - Fabricado pela Santa Marina; S.G.- Sun Guardian - Fabricado pela Sun Guardian.

Tab. 3 Transmissão da radiação solar para o vidro eletrocromico .

Vidro Eletrocromico	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
	UltraVio.	Visível	InfraVer.	
Polarizada	13	33	15	18
Despolarizada	13	57	56	49

Tab. 4 Transmissão da radiação solar para os policarbonatos.

Policarbonatos	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
	UltraVio.	Visível	InfraVer.	
Incolor	0	84	85	67
Bronze	0	49	66	51
Cinza	0	28	56	41

Quanto às características óticas dos envidraçamentos, deve-se buscar produtos com alta transmitância na região do visível e a menor possível nas regiões ultravioleta e infravermelho, minimizando assim a entrada de calor no ambiente e aumentando a durabilidade dos materiais.

Os valores apresentados nas Tabs. 1 a 4 chamam a atenção ainda para a opacidade dos laminados ao ultravioleta, fazendo com que sejam adequadamente indicados para vitrines, shoppings, museus, e mesmo residências. Em compensação, de forma genérica, são bastante transparentes tanto ao calor quanto à luz.

Os vidros metalizados a vácuo atenuam significativamente a passagem direta de calor (infravermelho-próximo) através deles. No entanto, em sua maioria, também reduzem a transmissão de luz.

Os estudos acerca dos vidros eletrocromicos consistem num trabalho de ponta, cujos resultados ainda estão em fase de pesquisa. Os resultados obtidos mostram que o vidro eletrocromico quando polarizado apresenta bom desempenho quanto à atenuação no infravermelho e transparência à luz. A vantagem deste dispositivo é o fato de poder ser despolarizado, tornando-se incolor, minimizando assim o uso de iluminação artificial e/ou permitir o ganho de calor quando necessário.

Os policarbonatos, genericamente, possuem a mesma transparência à luz que os vidros comuns e os laminados das mesmas cores. Merece destaque a opacidade dos policarbonatos ao ultravioleta. É sem dúvida, o material mais opaco à esse intervalo, sendo portanto indicado em situações onde se deseja evitá-lo, mostrando-se contudo muito transparente ao infravermelho. Em termos de controle ambiental, não apresenta características óticas mais desejáveis que o vidro comum, com exceção da opacidade ao ultravioleta.

Todos os materiais apresentados são viáveis para serem especificados em projetos, mas não atendem à necessidades ambientais diversificadas. As exigências de projeto sob a ótica do conforto ambiental são diferentes para climas quentes ou frios, por isso é importante que se considere o aspecto do conforto ambiental quando da especificação desses fechamentos.

4 Estudos de caso

Para se avaliar a importância da escolha de um envidraçamento adequado do ponto de vista energético e seu impacto econômico em um empreendimento, foram realizadas simulações, utilizando o programa BLAST (Pedersen et al., 1993). Foram determinados o perfil das cargas térmicas e seus componentes, a capacidade da unidade de resfriamento e o seu consumo energético anual, de uma instalação de ar-condicionado, utilizada em um edifício comercial com as seguintes características: 20 pavimentos tipo, fachada em pele de vidro (totalmente envidraçada), lajes de piso e forro em concreto maciço de 10 cm com carpete, ocupação de 160 pessoas por andar, iluminação e equipamentos liberando uma energia térmica de 22 W/m^2 . Na Fig. 1 é apresentada a planta do andar tipo.

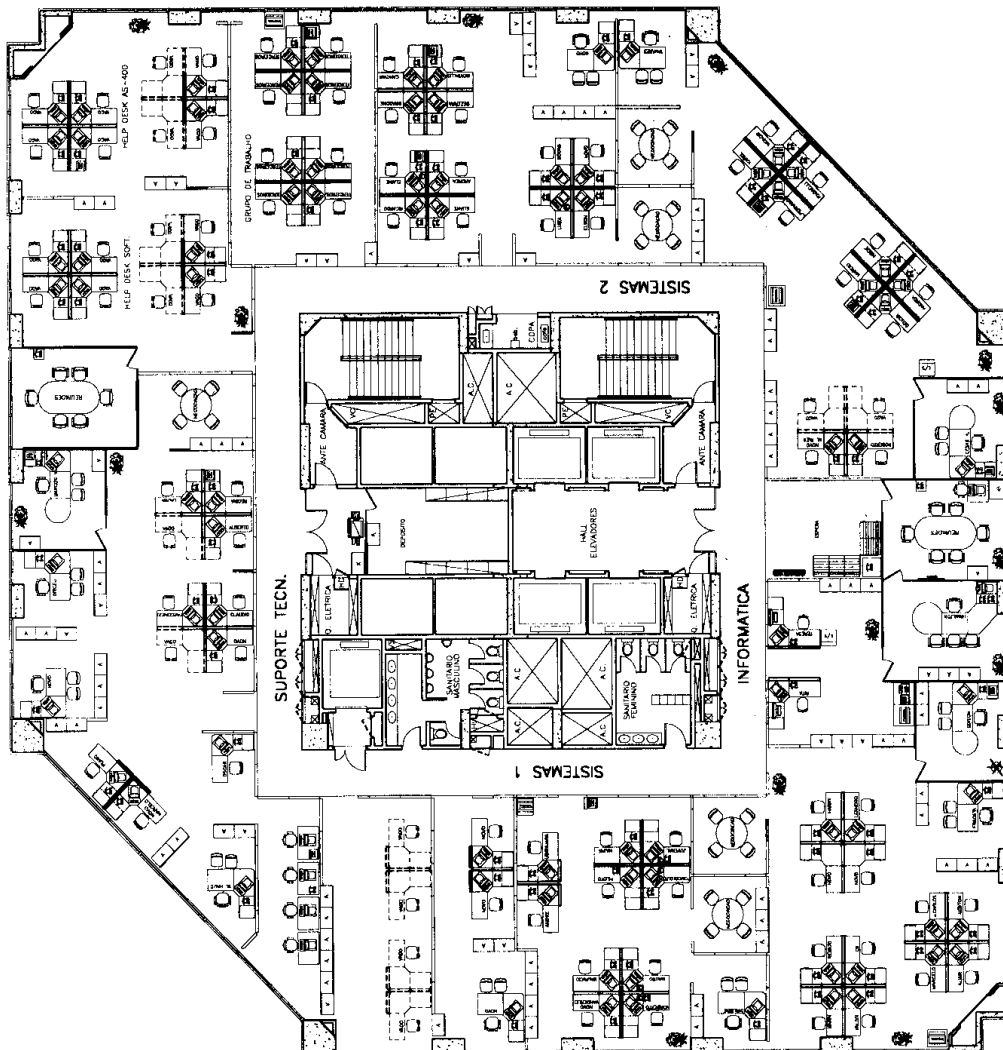
As análises foram realizadas para condições climáticas das seguintes cidades: São Paulo, Recife e Porto Alegre (IPT, 1992). Foram considerados os seguintes tipos de

vidro: vidro 6 mm incolor (referência para comparações); policarbonato cinza; vidro reflexivo prata e electrocromico polarizado e sem polarização. A escolha destes elementos foi feita selecionando os de menor transmitância total nas suas respectivas categorias. A inclusão do electrocromico foi feita para avaliar uma solução diferenciada das que se encontram no mercado atualmente.

O sistema de condicionamento utilizado apresenta as seguintes características: um "fan-coil" por andar; "chillers" resfriados a água com coeficiente de performance médio (COP) igual a 4,5; vazão de ar externo admitido no ambiente de 10 l/s/pessoa (ASHRAE, 1993); temperatura de insuflamento 11° C mais baixa que a temperatura interna, que é de 24 °C; taxa de retorno de ar de 70% a 80% do ar insuflado no ambiente.

Com os resultados da simulação, calculou-se o custo do consumo energético anual (adotando-se um valor de R\$ 72,60/MWh para o custo de fornecimento de energia elétrica) para as opções de envidraçamento analisadas.

Fig. 1.Planta do edificio.



5 Resultados das simulações

Na Tab. 6 são apresentados os valores de consumo anual de energia, capacidade da unidade de resfriamento, para cada um dos envidraçamentos analisados, bem com a redução percentual em relação ao vidro simples de 6 mm. Além disso é apresentada também a redução do custo de operação anual de cada alternativa de envidraçamento.

As reduções de consumo energético anual com o condicionamento térmico estão entre 8% e 17%, considerando-se a redução conseguida com o vidro reflexivo bronze em relação ao vidro simples. Para o vidro eletrocromico polarizado, estas reduções ficam entre 7% e 14%.

Para a capacidade das unidades de resfriamento, as reduções ficam entre 7% e 12% para o vidro bronze e entre 5% e 9% para o vidro eletrocromico polarizado. Estes valores não são suficientemente diferentes para implicar em uma mudança significativa na seleção dos equipamentos de ar condicionado. Dessa forma, o custo inicial da instalação não é alterado.

Comparando-se agora a redução no custo anual de operação do sistema de condicionamento térmico entre o vidro comum e o vidro eletrocromico, o valor encontrado varia entre R\$ 1 300,00 a R\$ 1 800,00, valores estes que demandariam prazos excessivamente longos para obter um retorno financeiro do capital investido em uma alternativa de envidraçamento de maior custo.

Na Tab. 7 são apresentadas as componentes da carga térmica máxima em um fan-coil para a cidade de São Paulo considerando o vidro incolor, situação em que o efeito do envidraçamento na carga térmica é máximo. Os resultados mostram que os vidros representam uma parcela significativa da carga térmica máxima de condicionamento no fan-coil, porém, pequena, quando comparada com aquela representada pela renovação do ar ambiente, cujas componentes sensíveis e latente, juntas, atingem, aproximadamente, 55% do total. Esta tendência será tanto maior quanto mais úmido for o local em que a edificação está instalada.

Tab. 6. Comparação de consumo anual, capacidade de resfriamento e redução do custo de operação.

Cidade	Tipos de envidraçamentos	Consumo Anual de Energia [MWh]	Capacidade de resfriamento [TR]	Redução no consumo anual	Redução da capacidade de resfriamento	Redução custo de operação anual [R\$]
Recife	Vidro comum	1809	972	----	----	----
	Eletr. não polarizado	1710	926	5,5%	4,7%	938
	Policarbonato cinza	1684	915	6,9%	5,8%	1172
	Eletr. polarizado	1608	886	11,1%	8,8%	1758
	Reflexivo bronze	1575	869	13,0%	10,5%	2109

São Paulo	Vidro comum	1398	938	----	----	----
	Eletr. não polarizado	1291	886	7,6%	5,5%	1055
	Policarbonato cinza	1272	881	9,0%	6,1%	1172
	Eletr. polarizado	1204	852	13,9%	9,1%	1758
	Reflexivo bronze	1167	830	16,5%	11,5%	2227
Porto Alegre	Vidro comum	1746	1210	----	----	----
	Eletr. não polarizado	1699	1193	2,7%	1,4%	352
	Policarbonato cinza	1669	1188	4,4%	1,9%	469
	Eletr. polarizado	1619	1148	7,3%	5,2%	1289
	Reflexivo bronze	1603	1131	8,2%	6,6%	1641

Tab. 7. Componentes de carga térmica em fan-coil.

Componente	Sensível Fontes Internas	Latente Pessoas	Sensível Ventilação	Latente Ventilação	Vidros
Valor (TR)	6,6	2,5	9,4	16,3	12,1
Porcentagem do total	14,0%	5,4%	20,0%	34,8%	25,7%

6 Comentários finais

Dado o valor ainda baixo da tarifa de energia elétrica, tornam-se compensadores apenas os investimentos em alternativas que produzam reduções mais expressivas no consumo energético anual. Caso contrário, os retornos de investimento tornam-se extremamente longos e a alternativa inviável financeiramente.

Verifica-se também que o uso de diferentes tipos de envidraçamento não afeta significativamente o valor máximo da carga térmica quando o ambiente possui uma geração de calor (sensível e latente) por fontes internas muito alta. Isto, contudo, não invalida o uso de novas tecnologias que contribuam para a melhoria do conforto dos ocupantes de um ambiente condicionado em outros aspectos, tais como o ofuscamento pela diminuição de incidência de luz natural ou pela redução da radiação solar diretamente sobre as pessoas.

7 Referências Bibliográficas

ASHRAE (1993): *Handbook of Fundamentals.*, ASHRAE, New York.

Caram, R.M. (1998): *Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações.* Tese de doutorado, UNICAMP, 1998.

IPT. (1992): *Elaboração de Critérios para Classificação de Edificações segundo seu Desempenho Térmico – Relatório IPT 30.923*, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

Pedersen, C. O. et alii (1993): *BLAST 1.0 - Building Load Analysis and System Thermodynamics*, University of Illinois, Champaign - Urbana , EUA.