



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

OS VIDROS E O CONFORTO AMBIENTAL

Lucila C. Labaki, Física, D. Sc.
Fac. de Engenharia Civil, UNICAMP
CP 6021; CEP 13081-970, Campinas, SP

Rosana M. Caram, Física
Eduvaldo P. Sichieri, Eng. de Materiais, PhD
Depto de Arquitetura e Planejamento, EESC-USP
São Carlos, SP

RESUMO

Este trabalho analisa alguns aspectos do uso de janelas de vidro nas edificações, como o conforto térmico e luminoso. Foram levantadas as curvas de transmissão espectral de alguns vidros planos empregados na construção civil, caracterizando-se o material ótica e termicamente, nas regiões ultravioleta, visível e infravermelho do espectro solar. Amostras de vidros comuns, de diferentes cores e espessuras foram estudadas, além de vidros refletivos. OS resultados mostram diferenças significativas. Entre os vidros coloridos, o verde apresenta boa transmitância na região do visível, com menor transparência ao infravermelho. Já os vidros refletivos reduzem a transmissão no visível, com menor atenuação no infravermelho.

ABSTRACT

In this work we analyze some aspects of the use of window glasses in buildings, namely, their effects on lighting and thermal comfort. Some commonly used float glasses are optically and thermally characterised by means of spectral transmission curves. The analyses were carried out in ultraviolet, visible and infrared spectral regions, for samples with different colours and thicknesses, and for reflective glasses. The results show meaningful differences. Green glasses transmit well the visible radiation, attenuating the infrared portion of the spectrum. Reflective glasses are more efficient in reducing energy transmission in the visible portion, but not infrared radiation.

PALAVRAS-CHAVE

Vidros; Transmissão Espectral; Controle da Radiação Solar; Iluminação Natural

INTRODUÇÃO

O uso excessivo de paredes externas com grandes áreas envidraçadas, sem elementos adequados de proteção, largamente adotado em muitos países, tem sido questionado mais recentemente devido aos problemas gerados pelos ganhos de calor proporcionados. Dependendo da orientação geográfica e das características óticas dos vidros utilizados, essa utilização dos vidros na arquitetura, sem critério adequado, pode implicar diretamente num significativo acúmulo de densidade de energia térmica no

interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para os usuários, ou em grande consumo energético, necessário para o condicionamento térmico das edificações.

O envelope de uma edificação pode ser interpretado como uma barreira entre as condições ambientais internas e externas, sobre as quais não se tem um controle imediato. Uma das funções do bom projeto arquitetônico é promover o controle das condições ambientais internas, funcionando a envoltória da edificação como um filtro que exclua as condições indesejáveis e aproveite as condições benéficas do ambiente externo (Koenigsberger et alii, 1977). A radiação solar é uma das condições externas que pode ser muito benéfica, quando bem aproveitada, como também ser especialmente indesejável em determinadas condições. Do ponto de vista do conforto ambiental, a radiação solar relaciona-se diretamente ao conforto térmico e luminoso nas edificações, sendo a janela, através de suas superfícies transparentes - os vidros, a parte do envelope que permite facilmente seu ingresso no ambiente interno. O objetivo deste trabalho é caracterizar os vidros mais comumente utilizados na construção civil em nosso país, do ponto de vista de suas propriedades espectrais, de modo a facilitar aos nossos projetistas o acesso a dados confiáveis sobre essas propriedades, com a conseqüente adequação das edificações às condições de insolação.

A RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar, radiação eletromagnética emitida pelo sol, compreende um espectro que vai desde a região do ultravioleta (com comprimentos de onda de 290 a 380 nm), passando pelo visível (380-780nm) até o infravermelho próximo (780-2500 nm). A radiação que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre distribui-se nas regiões do espectro nas seguintes proporções aproximadas: ultravioleta, 7%, visível, 47% e infravermelho, 45%. Do ponto de vista do aproveitamento da energia solar, é necessário considerar somente as radiações cujos comprimentos de onda se encontrem entre 290 e 1500 nm. (Duffie e Beckman, 1980). Para comprimentos de onda maiores, a transmissão da radiação infravermelha através da atmosfera é muito pequena, pois é absorvida pelas moléculas de dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água, que absorvem a radiação com esses comprimentos de ondas maiores.

A região chamada visível do espectro solar é aquela para a qual o olho humano é sensível, resultando numa sensação de visão e de cores. A luz é, portanto, o instrumento através do qual se estabelece a visão, provavelmente o mais importante meio de comunicação do homem com seu entorno. Do ponto de vista do conforto ambiental, é desejável nos ambientes a penetração dessa radiação, não só para o bom aproveitamento da iluminação natural, como para suprir as necessidades humanas de contacto visual com o exterior. Quanto à radiação ultravioleta, seus efeitos podem ser prejudiciais a tecidos naturais, a produtos sintéticos ou vernizes. Sendo assim, sob esse ponto de vista é desejável que os vidros não tenham um alto coeficiente de transmissão para essa região do espectro, isto é, devem ser opacos ao ultravioleta. Isso poderá ajudar a proteger tapetes, pinturas e outros componentes interiores da descoloração provocada por essa radiação.

Os materiais opacos absorvem uma fração da radiação solar incidente, e refletem a restante. Nos vidros e alguns plásticos transparentes, o comportamento térmico específico se expressa pela transparência seletiva à radiação, em função do comprimento de onda, isto é, transmitem somente a radiação com comprimentos de onda entre 300nm e 2500nm, o que corresponde aproximadamente à região do espectro solar que atinge a superfície terrestre. O efeito térmico das superfícies envidraçadas depende fortemente das propriedades espectrais dos vidros que as compõem: a radiação solar penetra nos ambientes através dos vidros, é absorvida nas superfícies internas, provocando uma elevação de sua temperatura e a conseqüente emissão de radiação de onda longa (até 10 000nm), para a qual o vidro é opaco (Givoni, 1976). Conseqüentemente, a preocupação com esse efeito tem se refletido no desenvolvimento de novos tipos de vidros, que reduzam o ingresso de energia radiante, principalmente na região do infravermelho São os vidros coloridos, os termorefletores, e os filmes de controle solar para serem aplicados em áreas envidraçadas.

Nos estudos sobre desempenho térmico de edificações, o vidro em geral é avaliado em função de sua transmissividade e absortividade, para a qual encontram-se valores tabelados, de acordo com o tipo de vidro. Porém encontra-se pouca informação sobre o comportamento dos vidros em relação às várias regiões do espectro solar. Mesmo nos casos em que há essa informação, (van Straaten, 1967), não se pode ter a certeza de que aquelas curvas características se aplicam aos vidros encontrados no mercado brasileiro. Este trabalho tem por objetivo caracterizar esses vidros (floats), através de curvas de transmissão espectral da radiação solar, nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho.

EXPERIMENTAL

Há uma gama de opções de vidros coloridos empregados na construção civil, considerados como redutores da radiação solar (Harkness e Mehta, 1978). O ideal para um vidro dentro destas exigências, é que ele apresente uma boa transmissão de luz, porém com reduzida transmissão na região do espectro referente ao infravermelho (van Straaten, 1967 e Caram e Labaki, 1993). Os vidros analisados, de fabricação nacional, são do tipo monolítico incolor e nas cores cinza, bronze e verde. São estudados também os assim chamados vidros refletivos, incolor e prata. A caracterização térmica dos vidros em estudo é feita através do levantamento e análise das curvas de transmissão espectral, as quais são obtidas, para cada tipo de vidro, utilizando-se o espectrofotômetro modelo Cary 17, tendo como fonte irradiante lâmpada de quartzo-halogênio, com incidência normal ao plano das amostras. O intervalo coberto vai de 300 a 2500nm, abrangendo assim todo o espectro solar. São analisadas amostras de vidros monolíticos, planas, homogêneas, polidas, de faces paralelas, com dimensões de 20x20mm, e espessuras de 4 e 6mm. Os ensaios foram repetidos por três vezes na amostra incolor de espessura de 3mm, tomada como padrão, verificando-se um erro experimental próximo de 5%. Os resultados obtidos são válidos também para os vidros temperados, pois o processo de têmpera não afeta as propriedades espectrofotométricas do produto de base (Santa Marina, 1992). Neste trabalho são apresentados os resultados da energia transmitida diretamente pelos vidros. Não incluem a energia absorvida e depois reirradiada para o interior do ambiente, em forma de calor.

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta valores para a transmissão da radiação solar relativa aos intervalos característicos das regiões do ultravioleta, visível e infravermelho, bem como a energia total transmitida diretamente, para todos os vidros analisados, com espessura de 6mm; para os vidros comuns coloridos são apresentados os resultados para espessuras de 4mm e 6mm. Observa-se que a espessura influi mais na transmissão da luz visível no caso de vidros escuros, como bronze ou cinza. Os mais claros, como incolor ou verde, não alteram muito seu grau de transparência à luz, mesmo para uma espessura maior. A amostra com menor transmissão nominal total é a de cor cinza, com espessura de 6mm. Mas, analisando-se os resultados para cada região em separado, constata-se que a redução energética é grande na região do visível, e não no infravermelho.

Vidros coloridos. A transmissão espectral em função do comprimento de onda, para vidros com espessura de 6mm é apresentada na figura 1. A transparência seletiva às várias regiões do espectro solar fica evidente pelas curvas características das transmissões. Especificamente, nota-se que o vidro incolor é bastante transparente aos comprimentos de ondas entre 300nm e 2500nm, isto é, deixa passar de forma bastante significativa as radiações relativas ao ultravioleta, ao visível e ao infravermelho. No caso dos vidros cinza e bronze, observa-se uma redução significativa na transmissão da radiação visível, em comparação com o vidro incolor. Em torno de 1000nm a 1250nm, há uma queda nas curvas de transmissão espectral de ambas as cores, sendo que para o bronze esta é menos acentuada, implicando em maior transparência do bronze ao infravermelho. Para comprimentos de ondas superiores a este intervalo, há uma elevação da curva, acusando então uma maior transmissão do infravermelho. O vidro bronze apresenta, ainda nesta região, uma maior transparência ao infravermelho que o cinza, sendo superado apenas pelo incolor. Como acima de 1500nm a intensidade da radiação solar na superfície terrestre não é tão acentuada (Duffie e Beckmann, 1980 e Cheremisinoff e Regino, 1974), a alta

transmissividade nessa região do espectro não chega a ser crítica em termos de conforto térmico. Da curva de transmissão do vidro verde, observa-se que este apresenta uma boa transmissão da radiação

Tabela 1. Transmissões relativas aos intervalos característicos e transmissão total das amostras

Float	Espessura	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
		ultra-V	visível	infra-V	
Incolor	4 mm	39	88	77	78
	6 mm	38	86	70	72
Verde	4 mm	18	71	43	48
	6 mm	16	68	40	45
Bronze	4 mm	14	61	57	56
	6 mm	11	49	54	52
Cinza	4 mm	14	57	56	54
	6 mm	12	46	43	42
Refletivo Prata	6 mm	18	54	63	60
Refletivo Incolor	6 mm	6	34	60	53

visível, sofrendo uma queda acentuada quando entra na região do infravermelho, entre 750nm e 1500nm, aproximadamente. Comparando-a com as outras curvas da figura, observa-se que, para o infravermelho próximo, o vidro verde é o que possui menor coeficiente de transmissão energética.

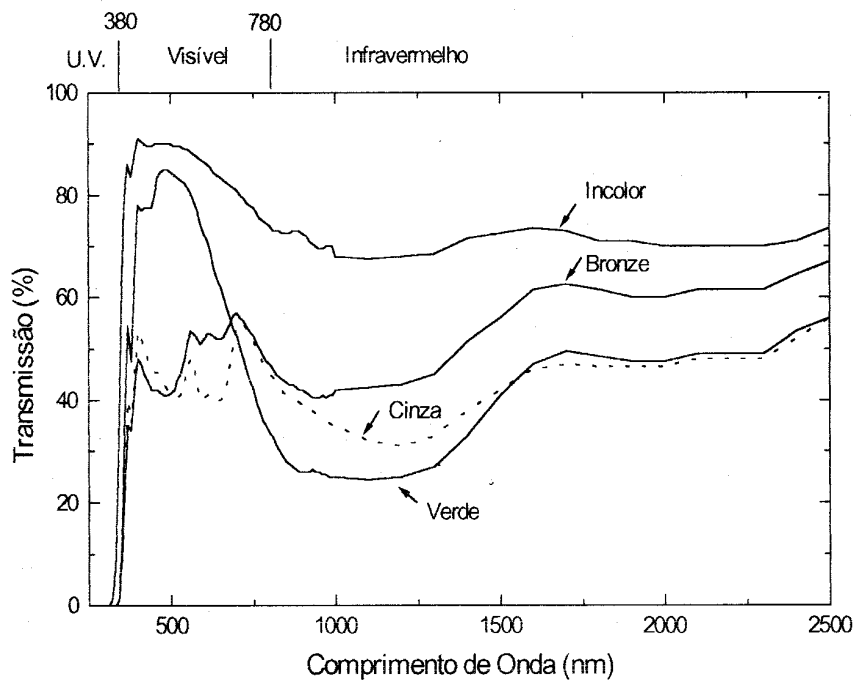


Figura 1. Transmissão da radiação solar nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho, através das amostras de 6mm analisadas.

Acima de 1500nm, apresenta também, assim como os vidros cinza e bronze, uma elevação da curva, coincidindo com a região do espectro solar onde a intensidade de energia recebida já não é tão significativa. Na prática, isto significa uma boa transparência à luz visível e uma menor transparência ao infravermelho. A curva de transmissão espectral do vidro verde é a que mais se aproxima do que poderia ser chamado de vidro ideal (figura 2), devido a essa propriedade de prover luminosidade ao

ambiente, reduzindo a radiação solar na região do infravermelho, mais crítica termicamente (Lechner, 1986).

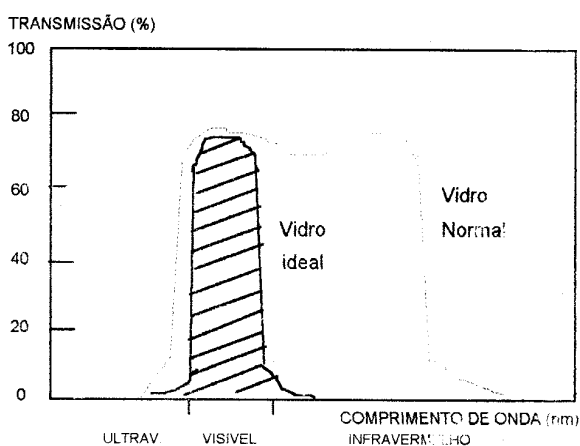


Figura 2. Curva de transmissão esperada para um vidro ideal como redutor da radiação solar

Na figura 3, observa-se mais detalhadamente a transmissão da radiação ultravioleta, para as mesmas amostras. O vidro incolor apresenta a maior transparência ao ultravioleta, com início no comprimento de onda de 310nm, tornando-se mais significativa a partir de aproximadamente 340nm. O vidro verde transmite o ultravioleta desde 340nm, sendo que sua maior transparência a este tipo de radiação está situada entre 360nm e 370nm, já quase na região do visível. Dentre as amostras analisadas, as de cor cinza e bronze são aquelas com menor transmissividade ao ultravioleta, sendo a curva de transmissão espectral do

vidro bronze ligeiramente abaixo do cinza. Suas transmissões também se iniciam em 340nm.

Vidros refletivos. Observando-se as curvas espectrais dos vidros refletivos (incolor e prata), nota-se que há um aumento na transmissão da radiação, à medida que se aproxima do infravermelho. (Figura 4).

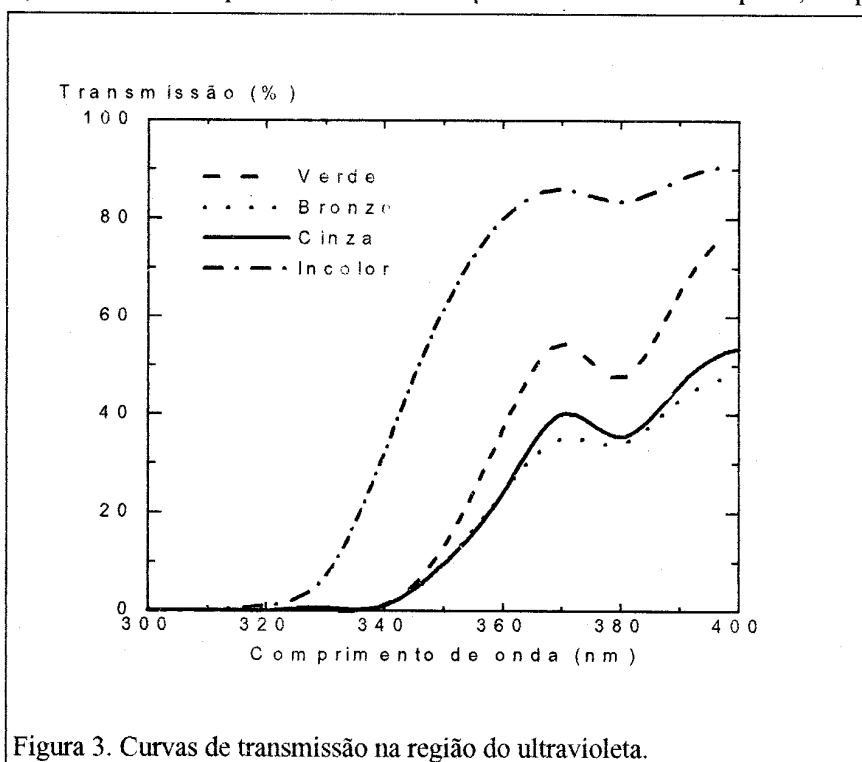


Figura 3. Curvas de transmissão na região do ultravioleta.

ambiental em climas quentes: apresenta o menor índice de transmissão ao visível, e uma das maiores transparências ao infravermelho, superado apenas pelo refletivo prata e o vidro incolor comum. É também o que apresenta a menor transmissividade ao ultravioleta. É interessante salientar que o vidro refletivo incolor apresenta uma coloração mais escura do que o prata. Um cliente ou projetista pode, inadvertidamente, optar pelo incolor, pensando ser este o mais claro e transparente. Estará

optando por um vidro de transmissividade muito pequena no visível. O vidro refletivo prata é o mais claro dentre os refletivos, apresentando boa transmissão ao visível.

CONCLUSÕES

As conclusões que podem ser tiradas desse trabalho são de que a opção por uma cor ou outra de vidro

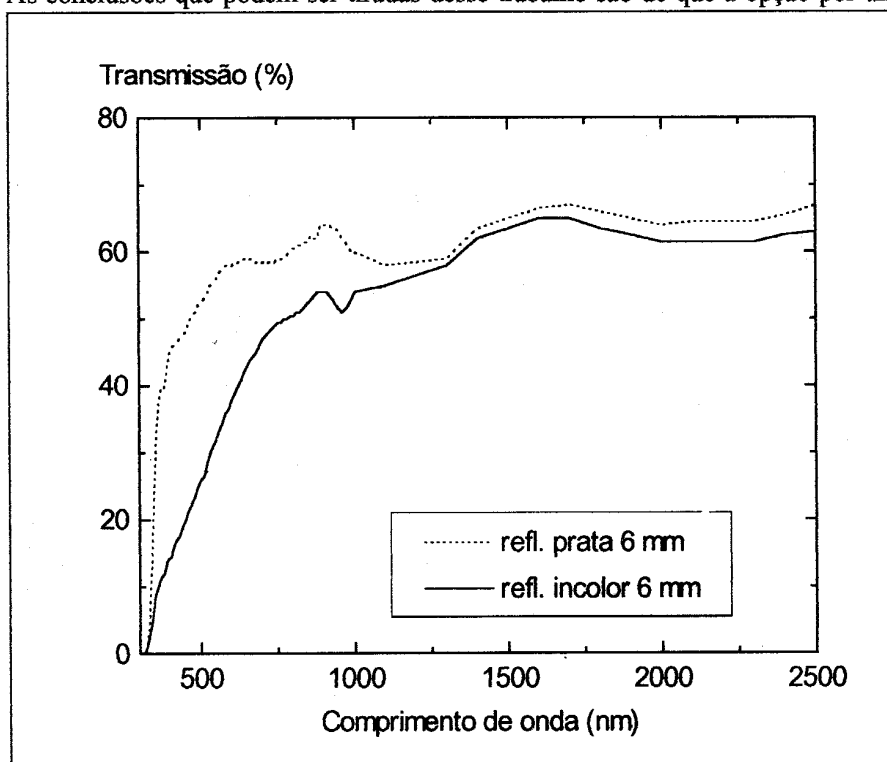


Figura 4. Curvas de transmissão para os vidros refletivos incolor e prata

não deve levar em conta somente aspectos estéticos, mas principalmente a finalidade da edificação. Em termos de conforto térmico, o vidro verde, por exemplo, poderia apresentar respostas muito satisfatórias, para determinadas condições climáticas, dependendo do projeto. Já o bronze ou mesmo o cinza, poderiam vir a ser adequados a museus ou bibliotecas, onde não se deve admitir a penetração do ultravioleta, que poderia danificar peças valiosas. A opção por vidros refletivos tam-

bém deve ser tomada com cautela, pois a reflexão maior pode não ser na região do espectro esperada para determinada finalidade. Os resultados mostram a necessidade do conhecimento das propriedades espectrais do vidro, para que se possa tomar decisões corretas, ainda no projeto

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos órgãos financiadores CNPq, CAPES e FAPESP. Ao Prof. Dr. M. Siu Li e à Profa. Dra. L. de Oliveira, do Departamento de Física da USP - São Carlos, pelo auxílio nas medidas e pelo uso do espectrofotômetro.

REFERÊNCIAS

1. CARAM, R. M. e LABAKI, L. C. *Caracterização Térmica dos Vidros Empregados na Construção Civil*. Anais do III ENTAC, S. Paulo, 1993
2. CHEREMISINOFF, P.N. and REGINO, T.C. *Principles and Applications of Solar Energy*, Arbor Science Publ. Inc., 7th Ed., 1974
3. DUFFIE, J.A. and BECKMAN, W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley Interscience, NY, 1980
4. GIVONI, B., *Man, climate and architecture*, Elsevier, London, 1976
5. HARKNESS, E.L. and MEHTA, M.L. *Solar Radiation Control in Buildings*. Appl. Sc. Publ., London, - 1978
6. KOENIGSBERGER, O. H., INGERSOLL, T. G., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S. V., *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1977
7. LECHNER, R. *Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects*. Wiley Interscience, NY, 1986.
8. SANTA MARINA Companhia Vidraria, *O Vidro na Arquitetura*, publicação técnica, S. Paulo, 1992
9. van STRAATEN, J.F. *Thermal Performance of Buildings*. Elsevier, Amsterdam, 1967