

SELETIVIDADE LUZ/CALOR (SLC) DE MATERIAIS TRANSPARENTES

Joaquim C. Pizzutti dos Santos; Mariângela C. Cornetet; Cibele S. Klüsener

Universidade Federal de Santa Maria. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil.

Centro de Tecnologia. Camobi. Santa Maria, RS. Brasil. CEP 97119-900.

E-mail: joaquim@smail.ufsm.br; mariangela.cornetet@terra.com.br; cibele@net.crea-rs.org.br

RESUMO

A definição do tipo de material transparente a ser utilizado nas fachadas dos edifícios vai além da questão estética, sendo uma decisão bastante complexa em um projeto arquitetônico, que envolve a consideração das condições internas de conforto térmico e visual e a economia de energia. O conceito chave para a eficiência energética é a seletividade espectral, de maneira que o material transparente tenha as propriedades óticas adequadas para os diferentes comprimentos de onda, de acordo com as necessidades de seu uso. Dentro dessa idéia, o desafio dos fabricantes é a obtenção de produtos que possuam uma grande transparência à luz visível, mas que permitam o mínimo possível a entrada do calor em climas quentes e a saída em climas frios, reduzindo o consumo de energia para iluminação e climatização artificial. Este trabalho analisa, para ângulos variados de incidência da radiação solar, a relação entre os ganhos de luz natural e calor através materiais transparentes, definida como a relação de seletividade luz/ calor (SLC). Foram analisados os comportamentos de vidros comuns, laminados e refletivos, policarbonatos e películas de controle solar, a partir de resultados de refletância e transmitância obtidos de ensaios em espectrofotômetros. Os resultados demonstram uma ampla variação desta relação entre os materiais transparente utilizados no Brasil e a nítida predominância de materiais em que o ganho de calor é superior ao ganho de luz visível, indicando a baixa seletividade dos elementos ensaiados quando em composições simples.

ABSTRACT

The definition of the glass type to be used in buildings facades goes beyond the aesthetic, being a very complex decision in an architectural project, that considers the internal conditions of thermal and visual comfort and energy saving. The more important concept for the energy efficiency is the spectral selectivity, thus the transparent material has the properties optics adjusted for the different wave lengths, in accordance with the necessities of its use. The manufacturers challenge is to obtain products that possess a great transparency to visible light with the minimum entrance of the heat in hot climates and the exit in cold climates, reducing the consumption of energy for illumination and artificial climatization. This work analyzes, for varied incidence angles of the solar radiation, the relation between heat gains and natural light gains through transparent glasses, defined as the relation light/heat selectivity (LHS). The behaviors of ordinaries, laminated and reflexives glasses were analyzed from values of reflectance and transmittance that result of spectrophotometric assay. The results demonstrate an ample variation of this relation between transparent materials used in Brazil and the clear predominance of materials where the heat gains is superior to the visible light gains, indicating a low selectivity of the elements assayed when in simple compositions.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o conforto térmico e visual e a economia de energia são itens determinantes na definição do tipo de vidro a ser utilizado em uma edificação. Segundo GRANQVIST (1991), o conceito chave para a eficiência energética é a seletividade espectral, de maneira que o material transparente tenha as propriedades óticas adequadas para os diferentes comprimentos de onda, de acordo com as necessidades de seu uso. Dentro dessa idéia, o desafio dos fabricantes é a obtenção de produtos que possuam uma grande transparência à luz visível, mas que permitam o mínimo possível a entrada do calor em climas quentes e a saída em climas frios.

Dessa maneira, o projeto de uma área de janela além do necessário para uma iluminação natural satisfatória, buscando melhoria na estética do edifício, deve ser implementado sem que isso implique em ganho ou perda exagerada de calor. Pensando nesse sentido, de acordo com LECHNER (1991), em adição ao fato de que a quantidade de calor é função da quantidade de luz solar incidente, ela também é função da qualidade da luz que entra, visto que aproximadamente 50% da radiação solar está na região do infravermelho, o qual produz calor sem que contribua para a iluminação do ambiente.

A ASHRAE (1993) é mais específica e cita que, embora a luz visível esteja distribuída entre 370 e 770 nm, os valores entre 430 e 690 nm contribuem com aproximadamente 99,4% da iluminação. Por outro lado, a radiação solar neste intervalo é 34% do total, ou seja, se utilizarmos um elemento transparente que seja um filtro perfeitamente seletivo nestes intervalos podemos deixar passar 99,4 % da luz visível com apenas 34% da energia total solar.

No caso de climas frios, essa relação não deve ser procurada, pois a transmissão de todo o espectro incidente pode ser utilizada para melhoria no aquecimento dos ambientes. Nesse caso, devem ser ainda utilizadas camadas de baixa emissividade na face interna do material transparente para redução das perdas do calor interno por radiação de onda longa.

A dificuldade encontrada pelos projetistas para, em climas quentes, especificarem janelas que deixem entrar o máximo de luz com o mínimo de calor, ou seja, utilizarem superfícies transparentes que sejam seletivas quanto ao espectro de energia solar incidente, acarretou a necessidade de conhecimento de índices dos materiais transparentes que relacionem coeficientes de ganhos de energia total admitida com coeficientes de admissão de luz visível. Segundo Carmony *et al.*(2000), o *Coolness Index (CI)* faz esse relacionamento, sendo definido como o quociente entre a transmitância da luz visível e o coeficiente de sombreamento de determinada superfície transparente. Quanto maior o *Coolness Index* mais seletiva é a vedação transparente com relação à transmitância da luz visível em detrimento do calor. Este índice varia entre 0,25 e 1,6 nas composições de vidros fabricadas atualmente. Esses dados somente podem ser considerados para países em que tecnologias mais apuradas são exigidas e estão disponíveis.

Deve-se tomar cuidado com a utilização desse fator, pois em alguns casos um alto *CI* pode vir da relação de uma transmissão baixa no visível com um menor ainda coeficiente de sombreamento, logo o fato de um material possuir alto *CI* não significa que transmita muita luz, mas que transmite proporcionalmente mais luz que calor.

JOHNSON(1991) adota o *Coolness Index* de forma invertida, considerando como sendo o quociente entre o coeficiente de sombreamento e a transmitância da luz visível. Nesse caso, quanto menor o índice mais seletivo é o elemento transparente, o que não parece ser conveniente.

A ASHRAE(1997) adota um índice semelhante ao *CI*, porém definido como a relação entre a transmissão da luz visível e o ganho total de calor solar (*GCS*) ou Fator Solar, como adotado neste trabalho.

1.1 Relação de Seletividade LUZ/CALOR (SLC)

Nesse trabalho adotaremos a denominação de Relação de Seletividade Luz/Calor (*SLC*) como parâmetro para avaliar a relação entre a luz visível e o calor solar admitidos através do elemento transparente, sendo definida pela fórmula Eq. 1 abaixo:

$$SLC = T_v / FCS \quad \begin{array}{l} T_v = \text{Transmitância da luz visível} \\ FCS = \text{Fator de Calor Solar} \end{array} \quad (1)$$

No entanto, esta relação SLC será apresentada sem que seja efetuada a divisão, com os valores de T_v e FCS aparecendo separadamente, devido ao fato que o quociente dessa relação não aponta a realidade do comportamento do elemento, pois neste caso os números individuais perdem sua identidade. Observa-se que um material que tenha $SLC=1$ tanto pode ter $T_v=10$ e $FCS=10$, como $T_v=85$ e $FCS=85$. A apresentação da relação de Seletividade Luz/Calor abertamente fornece ao projetista uma visão mais apropriada do que é necessário ser levado em consideração. No caso anterior, por exemplo, o primeiro teria $SLC=10/10$ e o outro $85/85$, o que é de maior utilidade e facilidade de análise.

Assim como a T_v e o FCS , a relação SLC depende do ângulo de incidência, o qual deve ser especificado quando diferente do ângulo normal. Por exemplo: SLC_{60} , para o seu valor a 60° .

2. METODOLOGIA

Para a execução deste trabalho foram analisados ensaios à reflexão e à transmissão de 38 tipos de vidros, conforme SANTOS (2002). Nestes ensaios o ângulo de incidência variou de 0 a 80° , e o intervalo espectral de 300 a 2000 nm.

As medidas de refletância foram obtidas através de espectrofotômetros CARY 17/Olis, e a confecção de um dispositivo de simples manuseio, que foi adaptado em seus percursos de funcionamento para o desvio dos feixes de luz e a variação do ângulo de incidência nas amostras. As medidas de transmitância foram obtidas com equipamento CARY 5G e dispositivo interno já existente para a variação de ângulo. Os valores de Absortância foram calculados através da fórmula $A=100-R-T$.

2.1 Amostras Ensaçadas

Os tipos de vidros ensaiados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de vidros ensaiados

TIPO DE VIDRO	Espessura (mm)	TIPO DE VIDRO	Espessura (mm)
VIDROS COMUNS		REFLETIVOS PIROLÍTICOS	
Incolor	3	Verde – Antélio Cebrace	6
Incolor	5	Bronze – Antélio Cebrace	6
Incolor	8	Cinza – Antélio Cebrace	6
Verde	5	Prata – Antélio Cebrace	6
Cinza	5	REFLETIVOS A VÁCUO	
Bronze	5	Prata neutro 120 - Cebrace	5
Azul	5	Prata médio 114 - Cebrace	5
LAMINADOS COMUNS		Prata escuro 108 - Cebrace	5
Incolores/ PVB incolor	3+3	Bronze claro 120 - Cebrace	5
Incolores/ PVB verde	3+3	Bronze médio 114 - Cebrace	5
Incolores/ PVB bronze claro	3+3	Bronze escuro 108 - Cebrace	5
Incolores/ PVB bronze escuro	3+3	Azul claro 140 - Cebrace	5
Incolores/ PVB cinza	3+3	Azul médio 130 - Cebrace	5
Incolores/ PVB azul	3+3	Azul escuro 120 - Cebrace	5
Incolores/ PVB rosa	3+3	Azul intenso claro 120 - Cebrace	5
Incolores/ PVB azul escuro	3+3	Azul intenso médio 114 - Cebrace	5
Verdes/ PVB incolor	4+3	Azul intenso escuro 108 - Cebrace	5
Bronzes/ PVB incolor	3+3	Terra 115 - Cebrace	5
Cinzas/ PVB incolor	3+3	Clear (azul claro) - Guardian	5
LAMINADOS REFLETIVOS		Verde (verde claro) - Guardian	5
Azul 140 (vácuo)+Incolor/ PVB inc	4+4		
Prata neutro108 (vácuo)+Incolor/ PVB inc	4+4		
Incolor (Pirolíticos)+Incolor/ PVB inc	4+4		

2.2 Tratamento dos Resultados do Espectrofotômetro

A Figura 1(a) apresenta para o vidro incolor 3 mm e ângulo de 10^0 um exemplo de gráfico utilizado, relacionando os percentuais de reflexão e transmissão com os diferentes comprimentos de onda, os quais foram obtidos a partir dos dados listados pelos espectrofotômetros nos ensaios de reflexão e transmissão a ângulos variados.

A ponderação destes resultados pelos valores de energia do espectro solar padrão em cada comprimento de onda gerou gráficos como o da Fig. 1(b), que relacionam o valor do comprimento de onda com o valor da radiação solar incidente na superfície terrestre multiplicado pela percentagem de reflexão ou transmissão obtida das medições para aquele comprimento de onda. Obtém-se, assim, o valor da radiação que é refletida ou transmitida pelo elemento transparente em cada comprimento de onda, estando o mesmo sendo atingido pela radiação solar sob determinado ângulo de incidência.

Para a obtenção final das características óticas de determinado elemento em relação à radiação solar, para determinado ângulo de incidência, faz-se a razão entre a integral da área sob a curva dos gráficos de reflexão ou transmissão ponderados, que resulta na energia solar total refletida ou transmitida, respectivamente, pela integral da área sob a curva do espectro solar, que aponta o total de energia solar incidente.

Para a obtenção de características óticas apenas dentro de determinado intervalo do espectro é realizado esse último procedimento somente dentro do intervalo selecionado, ou seja, de 300 a 380 para obter UV, de 380 a 780 para Visível e 780 a 2000 para IV.

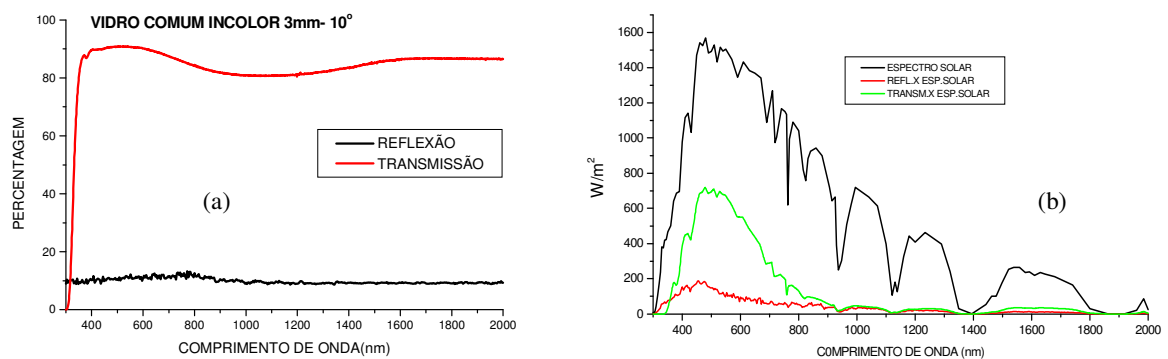


Figura 1: Exemplo de gráficos resultantes do espectrofotômetro(a) e ponderados pelo espectro solar padrão(b)

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Figuras 2 a 6 apresentam os gráficos de valores da variação da relação SLC (T_v/FCS) com o ângulo de incidência para os diferentes tipos de vidros. Foram utilizados apenas os valores para os ângulos de 10, 40, 60 e 80^0 . Estes gráficos são de grande importância na observação do valor do ganho de luz natural em relação ao ganho de calor e da variação dessa relação com o ângulo de incidência.

Observam-se nessas figuras que a linha diagonal central marca os valores de igualdade entre os dois parâmetros. Na parte superior, temos os pontos com T_v maior que FCS e, na parte inferior, o inverso. Se com o aumento do ângulo de incidência os pontos localizados na parte inferior aproximam-se da linha central, a redução de T_v com o ângulo de incidência é inferior à do FCS , o que é favorável ao desejado.

Na Figura 2 observa-se que o vidro incolor apresenta relação SLC mais eficiente que os vidros comuns coloridos, embora tenha os maiores valores do Fator de Calor Solar. Dentre os coloridos, o vidro verde seguido do azul são os que têm esta relação mais próxima de um (1), sendo que o verde apresenta para o ângulo normal $SLC = 71/71$, enquanto o vidro bronze apresenta $SLC = 56/71$, com redução na T_v de 15% com o mesmo FCS , e o vidro cinza-fumê $SLC=51/68$, com comportamento semelhante ao bronze.

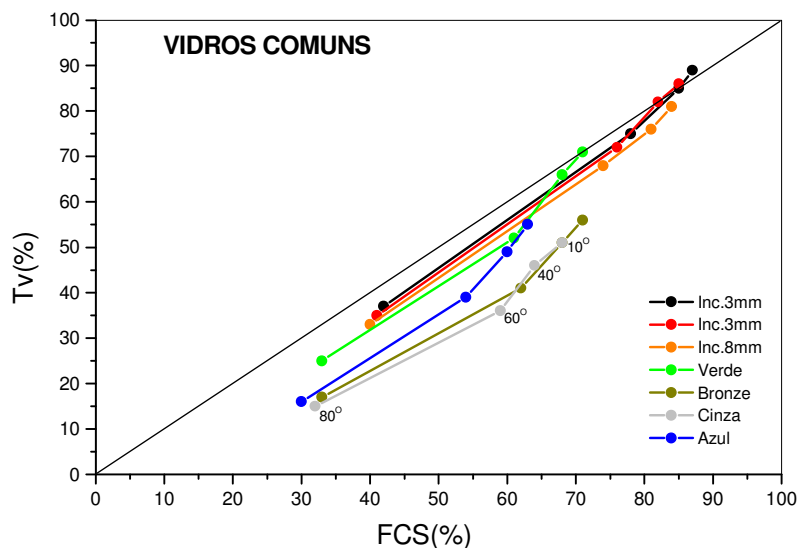


Figura 2: Relação de Seletividade Luz/Calor – VIDROS COMUNS

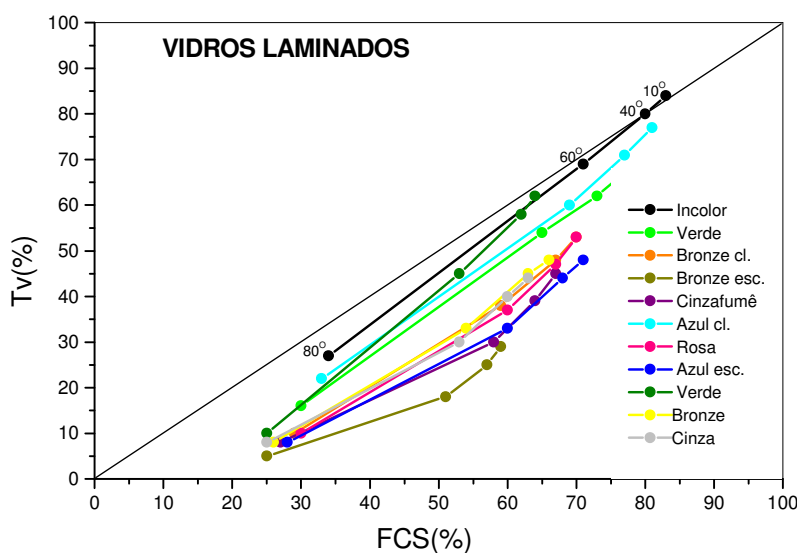


Figura 3: Relação de Seletividade Luz/Calor – VIDROS LAMINADOS COMUNS

Nos vidros laminados comuns compostos de vidros incolores a película colorida é introduzida com o objetivo de dar a cor desejada ao conjunto, sem cuidados com ganhos de calor, sendo que associada a cada coloração ocorre uma redução nos ganhos de luz visível, fazendo com que o conjunto apresente relação *SLC* bem menos eficiente que os vidros incolores usados em sua confecção, conforme observa-se na figura 3. Nos vidros laminados em que são usadas películas mais claras (azul claro, verde claro) esta perda é menos acentuada.

Quando estes vidros são confeccionados com o uso de vidros coloridos e película incolor, passam a ter o comportamento dos vidros coloridos usados, caso do vidro verde escuro que apresenta $SLC_{10}=62/64$, com eficiência semelhante ao vidro comum verde, mas com valores menores devido à maior espessura do conjunto (7 cm).

O vidro laminado refletivo tem o comportamento óptico e a relação *SLC* de acordo com o vidro refletivo base usado na sua confecção, como se pode observar nos gráficos da figura 4.

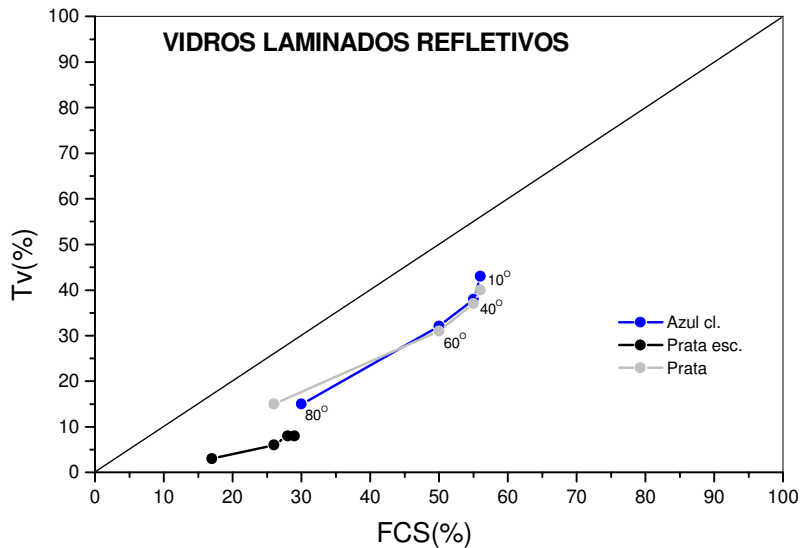


Figura 4: Relação de Seletividade Luz/Calor – VIDROS LAMINADOS REFLETIVOS

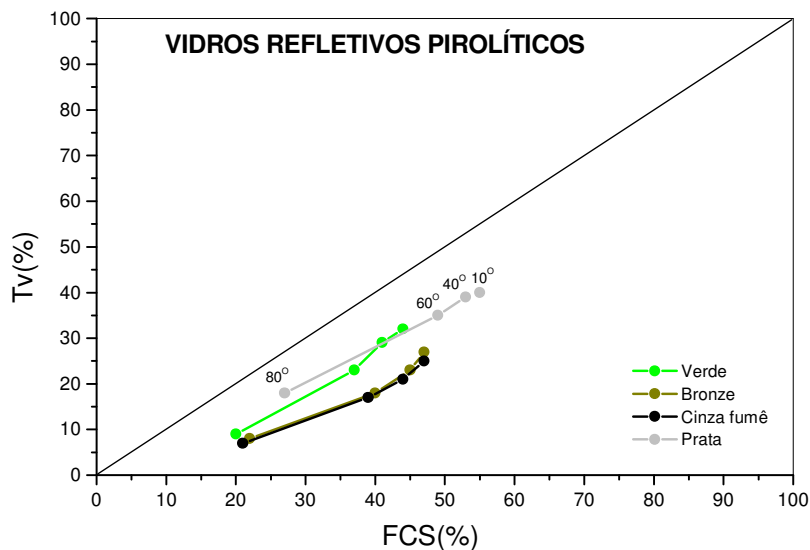


Figura 5: Relação de Seletividade Luz/Calor – VIDROS REFLETIVOS PIROLÍTICOS

Os vidros refletivos pirolíticos têm como vidro base os vidros comuns incolor e coloridos, o que acarreta comportamento de acordo com estes vidros, observado na figura 5, com valores menores de T_v e FCS , mas com relação SLC menos eficiente devido à camada metalizada deste tipo de vidros permitir uma transmissão mais acentuada na região do IV.

A figura 6 mostra que nos vidros refletivos a vácuo Cebrace os baixos valores do FCS estão associados a valores ainda mais baixos da transmitância da luz visível, apresentando a relação SLC com baixa eficiência. Isto ocorre devido à alta absorção de energia da camada metalizada em todos os comprimentos de onda, a qual é emitida em grande parte para o interior, com aumento do FCS .

Os vidros Sun Guardian ensaiados apresentam maior T_v e melhor relação SLC , devido aos vidros bases verde e azul usados, de melhor seletividade luz/calor, e menor absorção da camada metalizada.

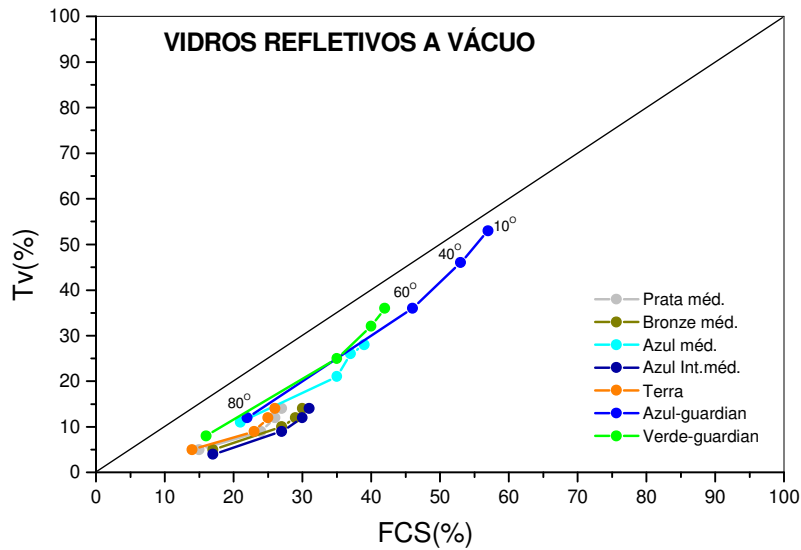


Figura 6: Relação de Seletividade Luz/Calor – VIDROS REFLETIVOS A VÁCUO

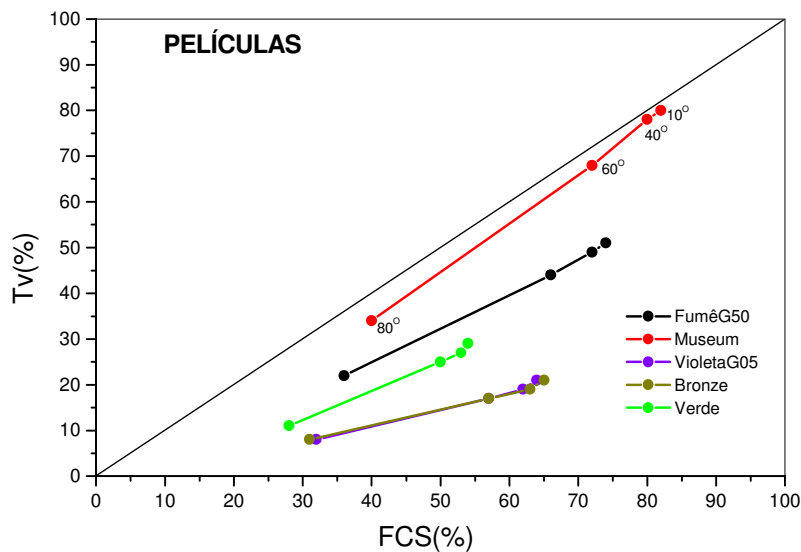


Figura 7: Relação de Seletividade Luz/Calor – PELÍCULAS COMUNS

As películas comuns tem baixa relação entre ganho de luz e calor, devido principalmente a grande absorção e à alta transmissão no IV, que se mantém alta mesmo para películas com baixa transmissão no visível, o que indica seu uso apropriado para clima frio. Quanto menor a transmissão no Visível destas películas maior é a diferença entre a T_v e o FCS , afastando os pontos da reta central do gráfico, conforme apresenta a figura 7.

Nas películas refletivas temos em geral baixo FCS associada a uma ainda mais reduzida T_v , o que é demonstrado pela figura 8, o que indica bom uso para controle do calor, mas com redução muito acentuada da iluminação natural. Seu uso seria conveniente em grandes áreas envidraçadas com orientação solar desfavorável, em que há grandes ganhos de calor com excesso de luz natural e ofuscamento.

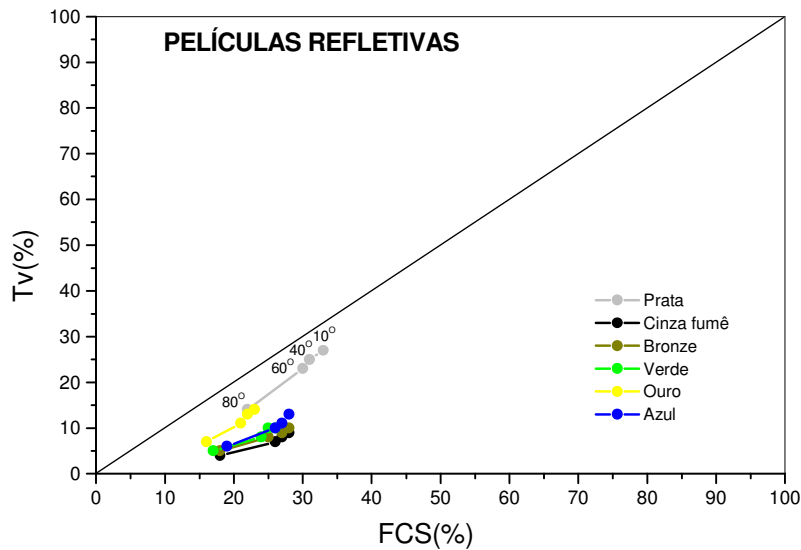


Figura 8: Relação de Seletividade Luz/Calor – PELÍCULAS REFLETIVAS

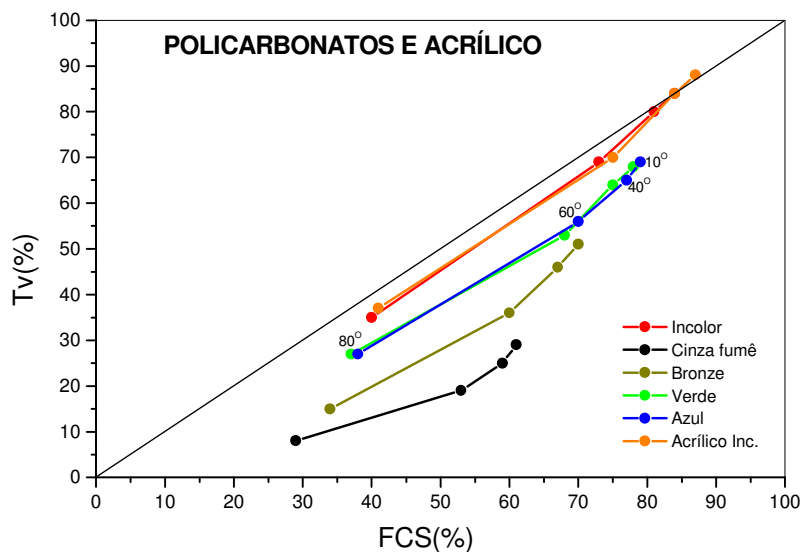


Figura 9: Relação de Seletividade Luz/Calor – POLICARBONATOS E ACRÍLICO

Na figura 9 observa-se que o policarbonato incolor e o acrílico incolor têm um comportamento semelhante ao vidro incolor. As demais cores de policarbonato em comparação aos vidros de mesma cor têm desvantagens na relação entre ganhos de luz e calor, principalmente devido aos maiores ganhos na região do IV neste tipo de material.

4 CONCLUSÕES

Existe no mercado uma grande variedade de tipos de vidros, que se adaptam às condições específicas de cada projeto. Isso resulta, em uma ampla diversidade de valores das características óticas e dos parâmetros associados à análise das condições de conforto térmico e visual. A importância do vidro dentro dessa análise reforça o interesse por sua especificação mais detalhada, coerente e em concordância com as variáveis do projeto arquitetônico, o que resulta em melhorias sensíveis nas condições ambientais da edificação, com conseqüente economia no consumo de energia elétrica. Esse maior cuidado com a especificação depende da qualidade e disponibilidade das informações

necessárias ao processo de análise, pois isso facilita a aproximação entre o conhecimento teórico e prático dos profissionais e a quantidade de produtos, com suas potencialidades de utilização.

No caso do clima quente predominante no Brasil, a observação da relação entre os ganhos de luz e calor tem importância devido ao interesse de que o elemento possua o maior valor possível de transmitância de luz visível, para favorecer a iluminação natural, com o menor ganho de calor possível, reduzindo a necessidade posterior do uso de resfriamento artificial.

Nos vidros analisados é nítida a predominância de relações em que o ganho de calor é superior ao ganho de luz visível. Mesmo vidros que possuem transmissão no visível bem superior à transmissão no UV e no IV possuem esta relação abaixo da igualdade. Isso ocorre pelo fato que a seletividade de transmissão entre essas três regiões do espectro é causada pela absorção seletiva e não pela reflexão seletiva. Assim, os comprimentos de onda menos transmitidos são mais absorvidos e uma expressiva parcela desta energia acaba indo para o interior, sendo considerada no Fator de Calor Solar. Outro fato que colabora neste sentido é o ganho de luz visível ser considerada no ganho de calor como energia transmitida.

Quanto maior a absortância do elemento menor é a relação *SLC*, o que faz com que os pontos do gráfico se afastem da linha central para baixo. Esse fato ocorre devido à baixa *T_v* associada à grande absorção da radiação por estes elementos, a qual migra em grande proporção para o interior aumentando o *FCS*.

Conforme literatura, a relação 1,6 da divisão *T_v/FCS* é um valor máximo alcançado em composições especiais de composições de vidros de outros países. Nos gráficos apresentados, em nenhum caso, com exceção dos vidros incolores, esse valor ultrapassa 1,0 (linha central do gráfico), o que demonstra a baixa seletividade entre luz e calor dos elementos ensaiados quando em composições simples, devendo ser estudadas possibilidades de composições laminadas e em caixilhos múltiplos mais bem elaboradas neste sentido.

Dentro do tratamento dos resultados dos ensaios, a ponderação dos valores em relação ao espectro solar padrão, considerando as energias incidentes na superfície terrestre em cada comprimento de onda, é um detalhe importante para evidenciar e diferenciar a capacidade seletiva dos diversos vidros nas diferentes faixas espectrais.

A análise dos resultados possibilita as seguintes considerações:

- **Vidros comuns coloridos**, ditos de controle solar, reduzem o ofuscamento por possuírem alta absorção, mas podem causar desconforto térmico em climas quentes por grande parte da energia absorvida, ser reemitida para o interior. Desses vidros, o verde e o azul apresentam uma seletividade marcante entre a transmissão do visível e do IV, sendo mais eficientes na relação de seletividade luz/calor. Isso faz com que esses dois vidros sejam também boas opções para serem usados como vidro base de vidros com tratamento refletivo (pirolíticos e a vácuo) e laminados.
- **Vidros laminados comuns** através da película de butiral impedem a passagem do UV devido à sua estrutura química, mas não acarretam melhorias específicas no desempenho dos vidros em relação à radiação solar. A película é introduzida apenas para possibilitar a laminação, aumentar a resistência do conjunto e permitir maior quantidade de opções de cores para o projetista.
- **Vidros laminados refletivos** têm a função de aderência e proteção da metalização, mantendo para o vidro laminado características óticas semelhantes às do vidro refletivo base do conjunto.
- **Vidros refletivos pirolíticos** possuem a reflexão apenas um pouco superior à de seus vidros comuns base. Esse tipo de vidro possui a absorção mais elevada que a reflexão, sendo a maior absorção causada tanto pelo vidro base colorido utilizado em suas composições, como pela característica absorvente do tratamento metalizado. Eles têm, portanto, características de vidros absorventes.
- **Vidros refletivos a vácuo** Cebrace têm características refletivas mais salientes que nos pirolíticos, e uma absorção também bastante elevada, superior à reflexão para muitos ângulos de incidência, resultando numa transmitância muito baixa. Em alguns tipos praticamente impedem a passagem da luz natural. Já os tratamentos metalizados dos vidros Guardian, praticamente não têm características refletivas, tendo grande absorção e uma seletividade expressiva entre o visível e o IV na

absorção. Possuem maior transmitância que os Cebrace, mas também têm características absorventes acentuadas, mas com melhor relação de seletividade Luz/Calor.

- **O uso de Películas comuns de controle solar** sobre vidraças existentes objetiva reduzir o ofuscamento e obstruir UV, mas apenas a transmissão da luz visível e do UV sofrem redução, enquanto a transmissão do IV praticamente não se altera. Além disso, nessas películas, a energia que não é transmitida é absorvida e será em grande parte reemitida para o interior. São portanto pouco indicadas para situações em que a redução da admissão de calor é também importante, e quanto menor a transparência à luz visível menos indicada é a sua utilização.
- **As Películas refletivas** reduzem a transmissão da luz visível com redução do IV e o bloqueio do UV, sendo que grande parte da energia não transmitida é refletida, diminuindo a absorção e o ganho de calor. São boas opções para o clima predominante quente, no entanto, somente possuem opções de escolha que acarretam uma redução acentuada da transmitância da luz visível, não existindo opções para situações em que se deseje apenas uma pequena redução da luz visível.
- **Os Policarbonatos** têm vantagens sobre os vidros comuns com relação à sua maior resistência, na possibilidade de conformação a frio e no bloqueio do UV. No entanto, embora tenham características óticas semelhantes aos vidros comuns de mesma coloração, não possuem, como eles, seletividade espectral sensível entre a transmissão do visível e do IV.

Em geral, os fabricantes relacionam a baixa transmitância dos produtos refletivos a uma grande refletância, o que seria mais interessante visando ao menor ganho de calor. No entanto, foi observado que geralmente esse fato está mais relacionado à maior absortância, causada pelo vidro base ou pela camada refletiva.

A utilização do conjunto de dados apresentados exige um conhecimento e um interesse mais detalhado por informações que, em muitos casos, não são considerados pelo profissional. No entanto, independente dos valores numéricos das características óticas e parâmetros de desempenho dos elementos transparentes, eles possuem diferenças de concepção para a produção que os identificam e os tornam mais apropriados a situações diferenciadas de utilização. Esse fato, se observado, facilita ao projetista o relacionamento entre as variáveis de um projeto específico e as possibilidades iniciais de escolha de produtos mais adequados ao mesmo.

5 REFERÊNCIAS

- ASHRAE (1993) "Fundamentals Handbook". American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA. Cap. 27: Fenestration.
- ASHRAE (1997) "Fundamentals Handbook". American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA. Cap. 29: Fenestration.
- CARMONY, J.; SELKOWITZ, S.; ARASTEH, D.; HESCHUNG, L. (2000) Residential windows: a guide to new technologies and energy performance. New York, W. W. Norton E Company.
- GRANQVIST, C. G. (1991) Materials science for solar energy conversion systems. New York, Pergamon Press.
- JOHNSON, T. E. (1991) Low-e glazing design guide. Stoneham, Butterworth Architecture.
- LECHNER, N. (1991) Heating, cooling, lighting design methods for architects. New York, John Wiley & Sons.
- SANTOS, J. C. PIZZUTTI. (2002) Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar. Tese (Doutorado). Ciência e engenharia de materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos.