

PROCEDIMENTO PRÁTICO PARA CÁLCULO DE GANHOS DE CALOR SOLAR ATRAVÉS DE MATERIAIS TRANSPARENTES

J.C.P. dos SANTOS¹, E.P. SICHIERI², R.M. CARAM², M. RORIZ³

Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Camobi. Santa Maria, RS.

Brasil. CEP 97119-900. E-mail: joaquim@smail.ufsm.br

1) UFSM, Santa Maria, RS. 2) USP, São Carlos, SP. 3) UFSCar, São Carlos, SP.

RESUMO

Para o cálculo dos ganhos de calor através de superfícies transparentes é indispensável o conhecimento das características óticas dos materiais para ângulos variados de incidência da radiação solar. A diversidade de produtos disponíveis no mercado dificulta a execução de ensaios a ângulos variados para todos os tipos existentes. Esse artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que identificou grupos de materiais com comportamentos similares de variação do Fator de Calor Solar (FCS) em função do ângulo de incidência. Determinou-se um material hipotético de referência, cujos valores do FCS para cada ângulo foram calculados a partir da média do FCS relativo dos materiais do grupo. Ele serve como base para o cálculo dos ganhos de calor, sendo que a correção dos ganhos para um material qualquer é feita através do Coeficiente de Admissão de Calor (CAC), que relaciona o FCS desse material ao de referência do grupo. Os resultados para diferentes tipos de vidros, películas de proteção solar e policarbonatos e o acrílico incolor, foram obtidos a partir de ensaios espectrofotométricos realizados à transmissão e à reflexão para ângulos de incidência variados. Identificada a possibilidade de classificação dos materiais ensaiados em cinco grupos, com padrões específicos de variação do FCS, obteve-se uma equação genérica da variação do FCS dos materiais de referência de cada um desses grupos em função do ângulo de incidência.

Palavras-chaves: Materiais transparentes, Fator de Calor Solar, Admissão de Calor

ABSTRACT

For heat gains calculation through transparent materials is indispensable to know the materials optics characteristics for varied solar radiation incidence angles. The diversity of available transparent products hinders the execution of experiments to varied angles for all the existent types. This paper presents results of a research that identified materials groups with similar variation performance of the Solar Heat Coefficient (SHC) as function of incidence angle. A hypothetical reference material was determined, whose SHC values for each angle were calculated from the relative SHC average of the group materials. This reference material is adopted in heat gains calculation, and the gains correction for any material is made through the Heat Admission Coefficient (HAC), that relates that material SHC to the group reference material. The results for different glasses types, solar protection films, policarbonates and acrylic, were obtained from spectrophotometric experiments, in relation to transmission and reflection and for different incidence angles. Identified the possibility of these materials classification in five groups, with specific SHC variation patterns, was obtained a generic equation of the reference materials SHC variation for each one of those groups as incidence angle function.

Word-keys: Heat Gains, Transparent Materials Performance, Solar Heat Coefficient.

1. INTRODUÇÃO

Os elementos transparentes para utilização em vedações de edificações tiveram uma grande evolução tecnológica, decorrente da crescente preocupação com o consumo de energia e das novas exigências do mercado consumidor, devido a seu uso cada dia mais diversificado. Isso causou um significativo aumento do número de opções disponíveis aos projetistas, e ao mesmo tempo uma ampla variação nas características óticas desses elementos.

Os ganhos de calor solar através desses elementos constituem-se numa das parcelas mais significativas de ganhos de calor das edificações, sendo de grande importância sua determinação visando aos procedimentos de análise das condições de conforto térmico de ambientes.

O cálculo desses ganhos para determinado instante envolve basicamente três variáveis: a intensidade da radiação solar incidente; o ângulo de incidência da radiação e o Fator de Calor Solar (FCS) do elemento transparente para o ângulo de incidência no instante considerado. O ganho total para um período de tempo qualquer é obtido pelo somatório desses valores ao longo do mesmo.

O valor do FCS é variável com o ângulo, tendo-se duas maneiras de considerar essa variação no cálculo de ganhos:

- Pode-se obter, para ângulos variáveis, o valor da Transmitância (T), da Absortância (A) e do FCS para a totalidade de tipos de elementos transparentes passíveis de serem utilizados. Assim, entra-se no cálculo com o valor dos FCS específico para cada ângulo de incidência e para cada elemento. Esse procedimento envolveria a necessidade de uma grande quantidade de ensaios a ângulos variados, para que se pudesse compor o banco de dados necessário.

- Uma segunda maneira, mais prática e já utilizada, é obter-se o valor de T, A e do FCS a ângulos variáveis para um material de referência. Assim, os cálculos dos ganhos de calor são realizados para esse material e após é efetuado um ajuste para o elemento qualquer a ser utilizado, através da multiplicação do valor calculado por um coeficiente obtido da relação entre o FCS do elemento qualquer e o FCS do material de referência, denominado usualmente de Fator de Sombreamento (FS), e que nesse trabalho denominamos de Coeficiente de Admissão de Calor (CAC).

Esse processo somente proporciona uma precisão satisfatória se os elementos correlacionados apresentarem comportamentos semelhantes de variação do FCS com o ângulo de incidência, pois o valor de CAC é único, obtido apenas para incidência normal, e deve manter-se constante, independentemente do ângulo.

Esse último procedimento de cálculo possui vantagens evidentes, tanto para cálculo computacional, como pela possibilidade de utilização de tabelas para cálculo simplificado. No entanto, ao longo de anos, o material adotado como referência, para todos os demais tipos de materiais transparentes, foi o vidro incolor de 3 mm. Esse fato gera distorções devido à diferença de variação com o ângulo de incidência do FCS desse vidro em relação a diversos outros tipos.

Assim, esse trabalho apresenta o procedimento adotado para a determinação de materiais de referência mais convenientes, os quais são definidos a partir da observação da existência, dentro dos diferentes tipos de elementos transparentes disponíveis no mercado, de grupos de elementos que possuem padrões de comportamento similares de variação do FCS com o ângulo de incidência.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado a partir da obtenção do FCS dos diferentes tipos de elementos transparentes para ângulos variados de incidência. Esse valor é obtido da soma da Transmitância (T) e da parcela da Absortância (A) que vai para o interior da edificação. Dessa maneira foram realizados ensaios espectrofotométricos de Refletância (R) e Transmitância para ângulos de incidência variados, sendo a Absortância obtida fazendo-se $A=100-(T+R)$.

As medidas de reflexão foram realizadas com a utilização do espectrofotômetro Cary 17/Olis. Para a obtenção de dados de reflexão através desse equipamento foi necessária a montagem de um dispositivo que desviasse o feixe de luz, para que a incidência sobre a amostra fosse em ângulos variados e que o feixe medido, após incidir sobre a amostra, fosse o feixe refletido e não o transmitido.

As medidas de transmissão para ângulos variados de incidência foram efetuadas da mesma forma que a reflexão, sendo empregado para essa finalidade o espectrofotômetro CARY 5G. Este aparelho possui o Ângulo de Brewster, dispositivo apropriado para variação no ângulo de posicionamento da amostra em relação ao feixe incidente. O intervalo espectral utilizado nas medições foi de 300 a 2000 nm. A partir da ponderação da curva espectrofotométrica resultante do ensaio, em relação ao espectro solar padrão utilizado, conforme ASTM-E892-87, e da integração da curva ponderada, foram calculadas a Transmitância e a Refletância. O FCS para os diferentes ângulos de incidência foi calculado por $FCS=T+Ni.A$, sendo Ni a parcela de energia absorvida que vai para o interior da edificação, considerado conforme SANTOS (2002), e A (Absortância) calculada por $A=100-(T+R)$.

Para a visualização e a determinação de grupos de elementos com comportamento semelhante de variação do Fator de Calor Solar (FCS) com o ângulo de incidência, é utilizada a análise comparativa da variação do valor do FCS relativo (FCSrel). Os valores de FCSrel resultam da divisão do FCS de cada ângulo pelo FCS para incidência normal.

Na metodologia de cálculo do FCS foi considerada uma velocidade do vento de 2 m/s e a superfície na posição vertical, parâmetros que influem na parcela da energia absorvida que migra para o interior da edificação (Ni). No entanto, paralelamente, foram calculadas tabelas de FCS para velocidades de 0 a 3 m/s, variando de 1 em 1 m/s, utilizando-se o mesmo procedimento adotado nas tabelas para a velocidade do vento de 2 m/s. Esse procedimento foi repetido para vedações na posição horizontal. Observou-se, na análise desses valores, que a consideração de diferentes velocidades do vento e orientações da superfície transparente, não acarreta, para nenhum dos grupos de elementos determinados, uma alteração sensível do modo de variação do FCSrel com o ângulo de incidência. Nesse caso, se o padrão de variação do FCSrel não apresenta alteração sensível com outras velocidades do vento e posições da superfície, pode ser mantido o mesmo material de referência definido para a velocidade de 2 m/s, calculando-se apenas o Coeficiente de Admissão de Calor (CAC) apropriado para as diferentes velocidades do vento e posições de fachada.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As figuras 1 a 4 apresentam os gráficos comparativos da variação do FCSrel em função do ângulo de incidência, observando-se a relação entre os diversos materiais e o vidro incolor de 3 mm (material usual de referência).

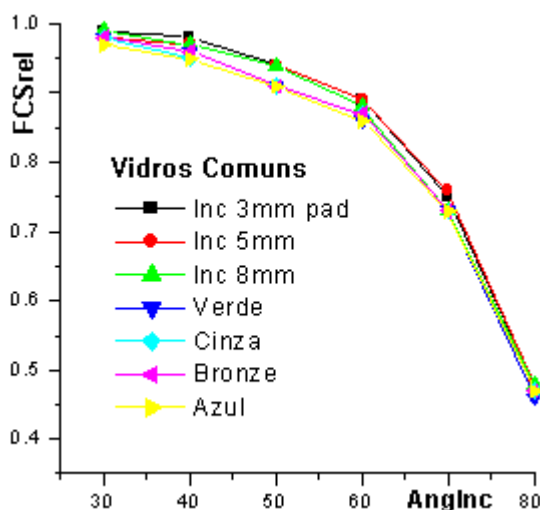


Figura 1 – Vidros Comuns: variação do Fator de Calor Solar Relativo (FCSrel) em função do ângulo de incidência (AngInc).

As distorções no comportamento de variação do FCS de alguns elementos em relação ao vidro comum incolor ocorrem mais acentuadamente para ângulos de incidência acima de 50°, pois até esse ângulo os valores de R, A e T sofrem pequenas variações, resultando valores do Fator de Calor Solar (FCS) praticamente constantes.

Acima desse ângulo o FCS sofre redução basicamente devido ao aumento da reflexão, que acarreta fenômenos distintos no vidro comum incolor e nos elementos refletivos. No vidro comum incolor esse aumento é compensado pela redução da transmissão, pois a absorção tem pouca influência nesse fato, principalmente por seu pequeno valor. Nos refletivos a redução da absorção é o fator mais significativo na compensação do aumento da reflexão, pois nesse caso a absorção possui maior valor percentual no total.

Assim, observa-se os seguintes comportamentos nos diferentes elementos transparentes analisados:

- Os vidros comuns mantêm entre eles uma grande semelhança de variação tanto de T como de A, ficando A praticamente constante para todos os ângulos, enquanto T diminui lentamente até 50° e mais abruptamente a partir daí. Nesse tipo de vidro esse fato é causado pelo aumento da reflexão, principalmente na primeira interface. Dessa maneira, o valor do FCS varia de acordo com o valor de T e similarmente em todos os vidros comuns ensaiados, conforme mostra o gráfico do FCS relativo desses materiais.

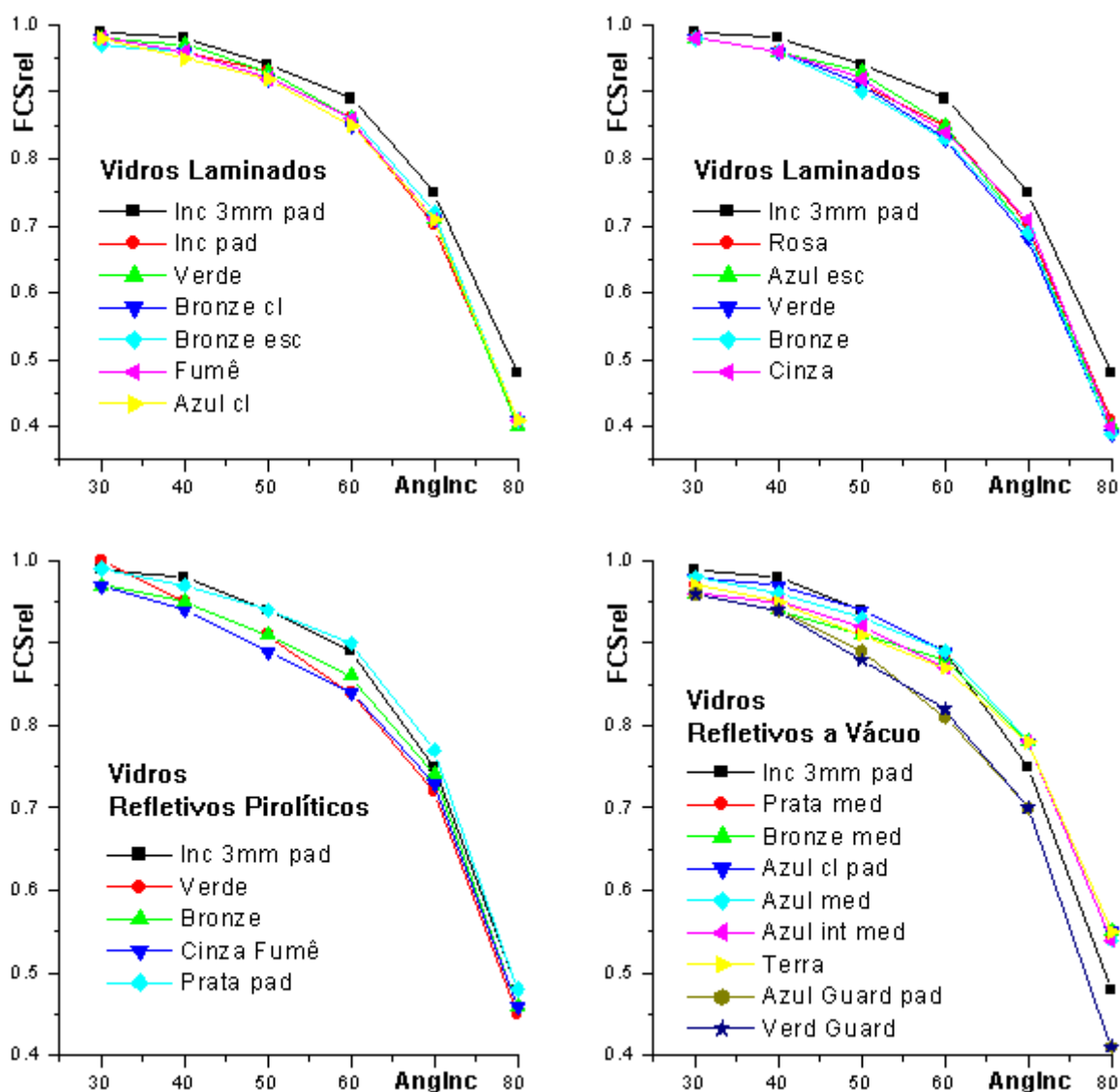


Figura 2 – Vidros Laminados e Vidros Refletivos: variação do Fator de Calor Solar Relativo (FCSrel) em função do ângulo de incidência (AnglInc).

- Os vidros laminados apresentam comportamento similar aos comuns, mas a influência da película de butiral interna acarreta, para ângulo de 80°, uma diminuição brusca de T e consequentemente do FCS.

- Os vidros laminados refletivos podem ser considerados da mesma forma que os vidros refletivos que foram usados nas suas composições, pois têm a mesma variação de T, A e do FCS com o ângulo de incidência que os vidros refletivos originais.
- Os vidros refletivos pirolíticos, embora apresentem T muito inferior ao vidro comum incolor, têm essa perda compensada pelo aumento de A, o que acarreta similaridade de variação do FCS com o vidro incolor.
- Os vidros refletivos a vácuo Cebrace diferem dos vidros comuns nos ângulos maiores tanto na transmitância, com variação menos acentuada, como na absortância, com variação mais acentuada. Essas diferenças causam a redução menos acentuada do FCS para os ângulos de 70° e 80°, em relação ao vidro incolor.

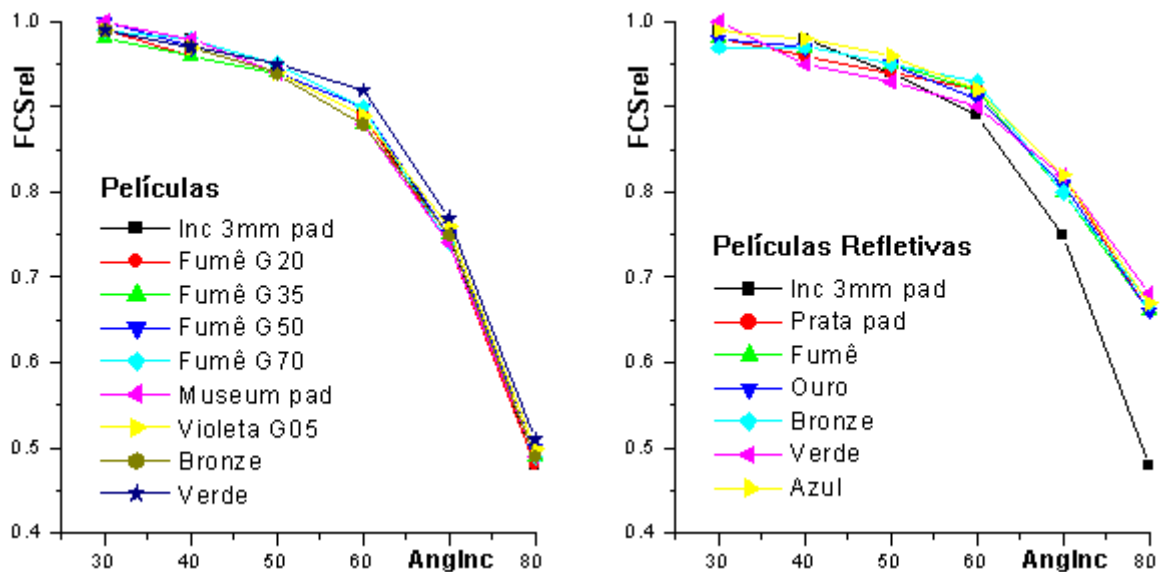


Figura 3 – Películas Comuns e Películas Refletivas: variação do Fator de Calor Solar Relativo (FCSrel) em função do ângulo de incidência (AngInc).

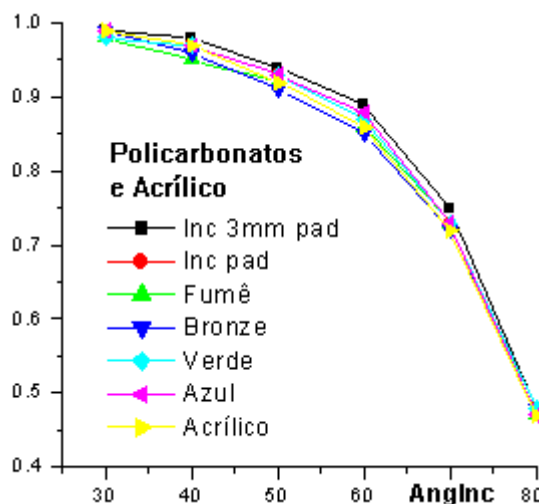


Figura 4 – Policarbonatos e Acrílico: variação do Fator de Calor Solar Relativo (FCSrel) em função do ângulo de incidência (AngInc).

- Com os vidros refletivos a vácuo Sun-guardian ocorre o contrário, pois a variação brusca de T e A acarreta a diminuição mais acentuada do FCS para os ângulos maiores.

- Nas películas comuns, o aumento de A em relação ao vidro comum incolor é compensado pela diminuição de T, mantendo o mesmo padrão de variação do FCS que o vidro incolor usado como substrato.
- As películas refletivas assemelham-se aos vidros refletivos Cool-lite, mas sofrem redução mais acentuada do FCS para 70° e 80°.
- Os policarbonatos e acrílico têm o comportamento de variação como os vidros comuns de mesma coloração, tendo comportamento similar de variação do FCS com os vidros comuns.

A análise dos gráficos de variação do FCSrel permite a observação, além das diferenças de variação em relação ao vidro incolor 3 mm, da existência de grupos de elementos com comportamentos semelhantes de variação dos valores de FCS com o ângulo de incidência. Assim, pode-se observar, dentre os elementos ensaiados, cinco (5) grupos distintos de elementos, que possuem entre eles comportamentos similares de variação do FCS com o ângulo de incidência:

- Grupo 1 – Vidros comuns, refletivos pirolíticos, laminados refletivos com base nos refletivos pirolíticos, películas comuns, policarbonatos e acrílico.
- Grupo 2 – Vidros laminados.
- Grupo 3 – Vidros refletivos a vácuo Cebrace e vidros laminados refletivos com base nos refletivos a vácuo Cebrace.
- Grupo 4 – Vidros refletivos a vácuo Guardian.
- Grupo 5 – Películas refletivas.

Esse agrupamento permite a adoção de um material de referência para cada grupo. Nesse caso, embora pudesse ser utilizado como referência um elemento do grupo, preferiu-se adotar um material hipotético de referência, com valores de FCS obtidos a partir dos valores médios para cada ângulo do FCSrel de todos os elementos do grupo. Esse material terá valores do FCS partindo de 1 para incidência normal e terminando em 0 para 90°. A proposição de adoção desse material é o objetivo principal desse trabalho. Um exemplo desse procedimento, para os vidros comuns, está apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Valores de FCSrel e FCSrel médio para os vidros comuns

FATOR DE CALOR SOLAR RELATIVO GRUPO 01												
ÂNGULOS	VIDROS COMUNS							REFLETIVOS PIROLÍTICOS				
	Incolor 3 mm	Incolor 5 mm	Incolor 8 mm	Verde 5 mm	Cinza 5 mm	Bronze 5 mm	Azul 5 mm	Verde 6mm	Bronze 6mm	Cinza 6mm	Prata 4mm	
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
20	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	1,00	
30	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	1,00	0,97	0,97	0,99	
40	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,97	
50	0,94	0,94	0,94	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,89	0,94	
60	0,89	0,89	0,88	0,86	0,87	0,87	0,86	0,84	0,86	0,84	0,90	
70	0,75	0,76	0,75	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,74	0,73	0,77	
80	0,48	0,48	0,47	0,46	0,47	0,47	0,47	0,45	0,46	0,46	0,48	
ÂNGULOS	PELÍCULAS COMUNS					POLICARBONATOS E ACRÍLICO						FCSrel MÉDIO GRUPO 01
	Fumê	Museu	Violeta	Bronze	Verde	Incolor 5mm	Cinza 5mm	Bronze 5mm	Verde 5mm	Azul 5mm	Acrílico 5mm	
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99
30	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
40	0,96	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96
50	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,93	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93
60	0,89	0,88	0,89	0,88	0,92	0,87	0,86	0,86	0,87	0,88	0,86	0,87
70	0,74	0,74	0,76	0,75	0,77	0,73	0,74	0,73	0,74	0,73	0,73	0,74
80	0,48	0,49	0,50	0,49	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,48

A utilização desse material hipotético, que reproduz o padrão médio de variação do FCS dos elementos de cada grupo, apresenta as seguintes vantagens adicionais em relação à utilização de um elemento de referência existente no grupo:

- Maior precisão como padrão de variação do FCS ao longo dos ângulos, por apresentar o comportamento médio de variação do FCS dos elementos do grupo.
- Sendo o FCS_{rel} para incidência normal de todos os elementos igual a 1, resulta o FCS do elemento de referência para incidência normal igual a 1 (um), resultando o valor do FCS para incidência normal de qualquer elemento igual ao CAC do mesmo, facilitando a obtenção desses dois parâmetros e evitando confusões no cálculo dos ganhos de calor solar.

Na tabela 2 são apresentados os valores médios do FCS_{rel} para cada grupo, que passam a ser os valores do FCS do material hipotético adotado como referência.

Tabela 2: Fator de Calor Solar Relativo Médio de cada grupo

Ângulo	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00
30	0,98	0,98	0,98	0,96	0,98
40	0,96	0,96	0,96	0,94	0,97
50	0,93	0,92	0,93	0,88	0,95
60	0,87	0,85	0,88	0,81	0,92
70	0,74	0,70	0,78	0,7	0,81
80	0,47	0,40	0,55	0,39	0,67

A Figura 5 apresenta a variação do FCS dos materiais de referência de cada grupo de elementos, em relação ao ângulo de incidência.

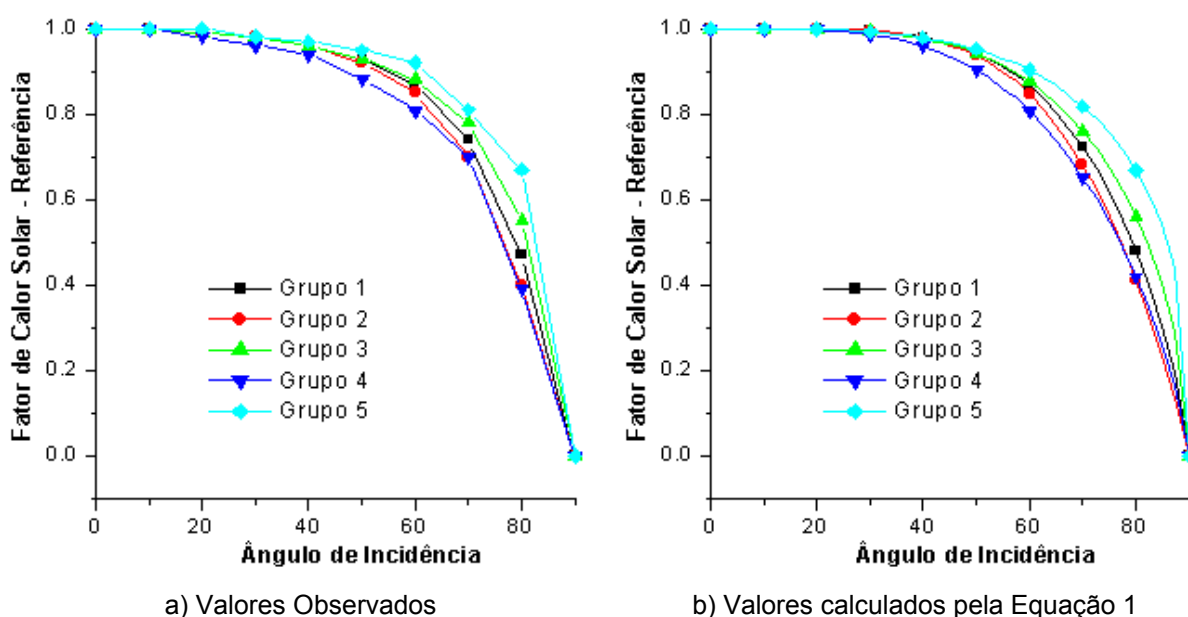


Figura 5: Curvas de variação do FCS dos materiais de referência de cada grupo

Com base nos valores observados (Figura 5a) e através de análise de regressão, foi obtida uma equação genérica (Equação 1), que define a variação do FCS dos materiais de referência dos diferentes grupos em função do ângulo de incidência. Sendo “A” o ângulo de incidência e “b” e “c” os parâmetros das curvas de regressão apresentados da Tabela 3:

$$\text{FCS} = [\cos(A)]^{b(A^c)} \quad [\text{Equação 1}]$$

Tabela 3: Parâmetros para o cálculo do FCS dos materiais de referência

Grupo	b	c
1	0,186	2,441
2	0,213	2,596
3	0,175	1,907
4	0,287	1,638
5	0,137	1,543

4. CONCLUSÕES

Embora possa parecer excessivamente detalhada a divisão dos 60 elementos ensaiados em 5 grupos, deve-se considerar que é grande o número de opções de espessuras e composições que poderão ser analisadas a partir dos valores aqui obtidos, para as quais, sabendo-se a que grupo pertencem, basta que sejam calculados, ou obtidos por ensaio, suas características óticas e o valor do FCS para a incidência normal, para que se possa obter os valores para os demais ângulos, o que permite o cálculo dos ganhos de carga térmica solar para qualquer situação de incidência da radiação.

Com a utilização dos dados disponíveis nesse trabalho, o procedimento para cálculo de ganhos de calor pode ser efetuado tanto pelo cálculo computacional, como pelo cálculo simplificado, utilizando-se tabelas de Ganhos de Referência do Calor Solar (GRCS), confeccionadas através do método computacional. Essas tabelas contêm os valores de ganhos de calor para diferentes orientações de fachada, horários do dia e períodos do ano, para os materiais adotados como referência dentro dos grupos que foram estabelecidos, o que permite que se calcule para esses materiais os ganhos em um período de tempo desejado. Para o cálculo dos ganhos de calor de um outro elemento qualquer, dentro de cada grupo específico, basta multiplicar os valores de ganhos obtidos para o material de referência do grupo pelo coeficiente de correlação entre o FCS para incidência normal do elemento avaliado e o desse material, ou seja, pelo Coeficiente de Admissão de Calor (CAC) do elemento.

A definição de curvas de referência de variação do FCS com o ângulo de incidência simplifica a necessidade de ensaios necessários à caracterização de determinado elemento transparente, que esteja enquadrado dentro dos grupos estabelecidos, bastando a realização de ensaios para incidência normal, pois o valor do FCS para incidência normal coincide com o valor de CAC usado no ajuste dos ganhos. Do mesmo modo, materiais que são compostos dos materiais ensaiados, mas com outra espessura ou composição laminada, podem ser caracterizados apenas pelo cálculo de suas características para incidência normal, realizado a partir dos valores conhecidos, obtidos dos ensaios, e fórmulas disponíveis na bibliografia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SANTOS, J. C. PIZZUTTI. 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, 2002.