



## **AValiação DO DESEMPENHO TéRMICO E GANHO DE CALOR SOLAR DE TRÊS TIPOS DE VIDROS**

**Adriana Petito de Almeida Silva Castro; Carolina Lotufo Bueno-Bartholomei;  
Lucila Chebel Labaki; Rosana Caram de Assis**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo,  
Caixa Postal 6021, CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil, Fone: (19) 3788-2384  
e-mail: [dripasc@aol.com](mailto:dripasc@aol.com); [carolinalotufo@terra.com.br](mailto:carolinalotufo@terra.com.br); [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br), [rcaram@sc.usp.br](mailto:rcaram@sc.usp.br)

### **RESUMO**

As áreas envidraçadas em fachadas ocupam um papel importante em se tratando de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Este trabalho relaciona o desempenho térmico de três tipos de vidros (verde laminado, verde float e incolor float), instalados em protótipos, e sua influência no ganho de calor solar. Foram obtidos dados de temperatura do ar externo, temperaturas superficiais da face do vidro voltada para o interior do protótipo, bem como a temperatura de bulbo seco do ambiente interno. Analisando-se os resultados e gráficos obtidos concluiu-se que, quanto às temperaturas internas dos protótipos, aquele com vidro laminado apresentou os menores valores, após às 13:00 h. Apesar disso, o vidro laminado proporcionou um ganho de calor intermediário entre o vidro comum incolor e o comum verde.

### **ABSTRACT**

Glazed surfaces in building façades, due to the strong transmission of solar radiation, must be designed very carefully, concerning thermal comfort indoors. The well-known greenhouse effect elevates to high levels the internal air temperature. This work describes results about the thermal performance of three types of glasses (laminated green, float green and float colorless), installed in prototypes, and their influence on solar heat gain. Data of external air temperature, surface internal temperature of the glass and dry-bulb temperature were collected. Results show that laminated glass got the lowest internal temperatures in the prototypes after 1:00 PM. Nevertheless, laminated glass had an intermediated solar heat gain between the others.

### **1. INTRODUÇÃO**

Uma das funções dos fechamentos exteriores de uma edificação é controlar de forma adequada as interferências do meio externo, visando proporcionar um melhor condicionamento ambiental. As áreas envidraçadas, ao serem utilizadas nesses fechamentos, ocupam um papel importante quando se trata de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Portanto, as necessidades de iluminação e contato visual com o exterior, às quais essas superfícies transparentes visam atender, devem ser conjugadas com os requisitos para conforto térmico, de modo que se tenha um melhor aproveitamento da energia solar incidente, resultando em eficiência energética.

No Brasil, 17,5% do consumo de energia elétrica são relativos aos setores de comércio e serviços, cujas edificações são, geralmente, compostas por fachadas envidraçadas. Desse percentual, cerca de 75% são gastos com iluminação artificial e ar condicionado, indicando que a climatização exige demanda energética maior, e que as fachadas envidraçadas em países predominantemente quentes funcionam como “sugadores” de energia (NUTAU, 1998).

Conforme Rivero (1986), os fechamentos transparentes são um ponto fraco da envoltória de um edifício, apresentando uma série de inconvenientes: possuem elevada transmissão térmica, obrigando a aumentar o dimensionamento dos equipamentos condicionadores de ar para verão e inverno, e incrementando as despesas de instalação e funcionamento.

A utilização racional de energia implica não somente em consumir menos, mas principalmente em adequação, otimizando o emprego de energia para determinados fins, eliminando desperdícios, desenvolvendo equipamentos com maior rendimento e adotando uma nova atitude de projeto (PETRONE, 1993). Na fase de projeto é onde se obtém o melhor potencial de economia de energia, ao se definir a implantação e orientação das fachadas.

Do ponto de vista do conforto ambiental, a radiação solar e as janelas relacionam-se diretamente com o conforto térmico e visual nas edificações, sendo a janela, através de suas superfícies transparentes, o componente do envelope responsável pelo ingresso desta radiação no ambiente interno.

A radiação solar, ao ser absorvida, se converte em energia térmica. Na fase do projeto arquitetônico, o principal objetivo é o controle do aumento de calor no interior da edificação, sendo necessários sistemas de envidraçamentos de controle solar que reflitam ou que absorvam e re-irradiem a energia.

É interessante evitar o excesso de radiação solar sem diminuir o aproveitamento de iluminação natural. O incremento da carga térmica interna devido aos ganhos por radiação solar pode ser muito grande em alguns casos, levando ao superdimensionamento de equipamentos de refrigeração, que, geralmente, consomem muita energia.

Este é o caso de muitos edifícios brasileiros que utilizam fachadas-cortina. Em sua maioria, os vidros recobrem também suas vigas periféricas, formando um colchão de ar não ventilado. É nesse ambiente – parede de alvenaria, ar e vidro – que se verifica perfeitamente o efeito estufa e onde a temperatura pode chegar a 70°C. O calor acumulado é transferido à alvenaria, aquecendo-a por condução, e esta, por sua vez, aquece o ambiente interno por irradiação. Esse fenômeno se agrava ainda mais quando as alvenarias são pintadas de preto ou os vidros são escuros (MACEDO FILHO, 1999).

Atualmente, um constante desafio aos projetistas é o de projetar grandes áreas envidraçadas que controlem, efetivamente, a penetração da radiação solar no interior dos edifícios, e que obtenham, como consequência, um desempenho adequado quanto ao nível de iluminação e de carga térmica.

É fundamental verificar se o tipo de vidro escolhido é o ideal para atender aos requisitos do projeto, pois equívocos na escolha podem causar vários problemas e, corrigi-los pode ser praticamente inviável. A especificação correta deve considerar as normas técnicas, mas também depende de conhecimentos sobre o comportamento do vidro diante da radiação solar. O mercado oferece variada gama de produtos, com diferentes cores, tipos e índices de refletância, para atender às necessidades específicas de cada situação. Cabe ao projetista, além de consultar os catálogos dos fabricantes, possuir condições de atentar ao desempenho energético da edificação, bem como às características óticas do material transparente selecionado.

Depreende-se, portanto, que a fachada é um dos elementos responsáveis pelos resultados obtidos na economia de energia, e o vidro, imprescindível para compor a fachada, é um dos materiais mais requisitados nas exigências de desempenho térmico e energético.

Caram (2002) obteve valores de transmitância e absortância à radiação solar de vários tipos de vidros, através de análise espectrofotométrica. A partir desses valores, sentiu-se a necessidade de verificar experimentalmente os resultados da aplicação desses materiais em fachadas sujeitas à incidência de radiação solar. Com isso é possível analisar o comportamento dos vidros com relação ao ganho de calor solar, verificando o efeito dessas superfícies transparentes no conforto térmico e visual.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho visa, especificamente, estudar o comportamento de três tipos de vidros comercialmente disponíveis no mercado, com relação ao ganho de calor solar, através de medições em protótipos. Os vidros analisados foram: vidro laminado verde 8mm, vidro float (comum) verde 4mm e vidro float (comum) incolor 4mm, localizados nas fachadas oeste.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O período de medições dos parâmetros necessários à avaliação do desempenho dos vidros e do ganho de calor solar compreendeu oito dias (entre 08 e 15 de março) de 2004.

### 3.1 Materiais

Os vidros analisados possuem dimensões de 1,06 X 0,86m, e foram doados pela empresa Blindex: vidro laminado verde 8mm, vidro float (comum) verde 4mm e vidro float (comum) incolor 4mm. O vidro laminado verde é composto de dois vidros incolores de 4mm intercalados com película de PVB (polivinil-butiral) verde.

O vidro float é um vidro plano sem distorções óticas, espessura uniforme e massa homogênea. O processo de fabricação do vidro float incolor é utilizado como referência para a produção de outros tipos de vidros como os coloridos e laminados. A diferença entre os vidros coloridos e incolores é a incorporação de aditivos minerais à mistura vitrificável, de acordo com a coloração desejada. Para a produção dos vidros verdes é utilizado o Selênio (Se).

O vidro laminado é composto por duas ou mais chapas de vidro float, intercaladas por uma película polimérica de grande resistência (PVB), incolor ou colorida. Em caso de rompimento ou quebra acidental, a principal função da película é a de reter os fragmentos, fazendo com que a lâmina permaneça intacta.

### 3.2 Equipamentos

#### 3.2.1 Protótipos

Neste trabalho, foram analisados vidros instalados em três protótipos, localizados na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, na cidade de Campinas - SP.

Os protótipos (Fig. 1) estão orientados com as fachadas de 2,70m a Norte-Sul, e as de 2,20m a Leste-Oeste. A implantação foi realizada de forma que não houvesse sombreamento das paredes ou sombras de vento, a fim de garantir as mesmas condições para todos. Quanto à execução, foram construídos em condições idênticas, sobre uma base de radier de concreto desempenado e paredes de tijolos de barro maciços sem revestimento, assentados com argamassa comum de cimento e pintados na cor branca (interna e externamente). As dimensões externas são 2,20 X 2,70m e internas 2,00 X 2,50m; área interna de 5,00m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,40m.



Figura 1 – Protótipo com vidro instalado

Na face superior há uma laje pré-moldada (cerâmica e concreto), também pintada de branco, com ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro nos oitões das faces Leste-Oeste. A cobertura é de telha fibro-vegetal, pintada externamente de branco, contando, junto ao caibramento de sustentação, com um filme de alumínio polido (isolante térmico tipo “foil”), reduzindo a influência da superfície mais exposta à radiação solar nos resultados das medições.

Os protótipos possuem duas aberturas para análise voltadas para as faces Norte e Oeste, com dimensões de 1,20 X 1,00m, e peitoril de 1,10m. Neste trabalho a abertura orientada ao Norte foi vedada por um painel com resistência térmica equivalente à parede de tijolos, estando totalmente selada para evitar a interferência da ventilação (Fig. 1).

### 3.2.2 Estação Meteorológica

Próximo aos protótipos foi implantada uma mini-estação meteorológica automática de aquisição de dados, CR10X Campbell Scientific Inc. (Fig. 2), com o objetivo de adquirir dados do microclima local. Os registros foram realizados a cada 30 segundos, sendo totalizados a cada 10 minutos. A estação monitora os seguintes elementos atmosféricos externos: temperatura do ar, umidade do ar, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar incidente, índice pluviométrico. Os dados coletados ficam armazenados na estação, depois são descarregados e transferidos para o computador.



Figura 2 – Estação meteorológica

### 3.2.3 Termopares

Para este trabalho foram fixados dois sensores (termopares tipo T), distribuídos da seguinte maneira:

- 1 termopar medindo a temperatura superficial da face do vidro voltada para o interior do protótipo;
- 1 termopar medindo a temperatura de bulbo seco do ambiente interno do protótipo.

## 4. CÁLCULO DO GANHO DE CALOR SOLAR

O ganho de calor solar ou transmissão total da radiação é definido como a soma do fator solar (FS) e da transferência de calor devido à diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior (ASHRAE, 1993). Dessa forma, foi calculado considerando-se:

$$q = FS(I_o) + U(t_e - t_i) \quad [1]$$

onde:

q = ganho de calor solar através do vidro (W/m<sup>2</sup>);

FS = fator solar;

I<sub>o</sub> = energia incidente (W/m<sup>2</sup>);

U = transmitância térmica do vidro (W/m<sup>2</sup> °C);

(t<sub>e</sub> - t<sub>i</sub>) = diferença entre a temperatura do ar externo e interno (°C).

No cálculo do fator solar considerou-se:

$$FS = \tau + \frac{1}{3}\alpha \quad [2]$$

onde:

FS = fator solar;

$\tau$  = transmitância do vidro (%);

$\alpha$  = absorptância do vidro (%).

Os valores de transmitância e absorptância foram obtidos em pesquisa anterior (CARAM, 2002), para incidência da radiação solar a ângulos variados: 0°, 20°, 40°, 60° e 70°. Embora as espessuras dos vidros analisados neste estudo sejam diferentes daquelas referentes aos vidros ensaiados por Caram (2002), pode-se dizer que no cálculo de ganho de calor total esta diferença não é significativa, devido à pequena espessura dos vidros.

Desta forma, utilizando a carta solar correspondente à cidade de Campinas – SP e a época do levantamento de dados (08 a 15 de março), foram determinados os horários correspondentes a esses ângulos de incidência.

A Tab. 1 mostra os ângulos e seus respectivos horários. Pode-se observar que, no período do ensaio, o maior ângulo de incidência solar na fachada oeste do protótipo foi de 71°, por isso foram adotados valores de transmitância e absorptância correspondentes a 70°.

**Tabela 1 – Ângulos de incidência solar e seus respectivos horários.**

Ângulos	Hora (h)
0°	18:10
20°	16:45
40°	15:20
60°	13:40
70°	12:00

Com os horários determinados, foram calculados os FS e o ganho de calor para todos os vidros, em cada dia de medição, em todos os ângulos. A partir daí, foram feitas as médias do ganho de calor correspondentes a cada ângulo, para o período analisado.

Cabe lembrar que, na parcela  $U(te-ti)$ , referente ao ganho de calor total devido à diferença de temperatura, adotou-se o valor de  $U= 5,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (para o vidro de 8mm) e  $U= 5,76 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (para o vidro de 4mm).

Estes valores foram calculados de acordo com a norma (ABNT NBR 15220-2, 2005), que estabelece:

$$R_{se} = 0,04 \text{ (fluxo horizontal)}$$

$$1/R_{se} = h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ (fluxo horizontal)}$$

$$1/R_{si} = h_i = 7,70 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\lambda = 1,10 \text{ W/m.K (condutividade térmica do vidro)}$$

Portanto, calculou-se a resistência térmica total de cada vidro ( $R = 1/h_i + d/\lambda + 1/h_e$ ):

- Para o vidro de 4mm  $\rightarrow R = 0,1735 \rightarrow U = 5,76 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Para o vidro de 8mm  $\rightarrow R = 0,1771 \rightarrow U = 5,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Observa-se que a parcela referente à contribuição da espessura do vidro é irrelevante no ganho de calor total. Conforme Caram (2002), para envidraçados, usualmente a resistência térmica  $d/\lambda$  é pequena, em comparação com os outros termos, devido à pequena espessura dos vidros utilizados nas janelas.

Na Tab. 2 são apresentados os valores do ganho de calor solar para os diferentes tipos de vidros analisados.

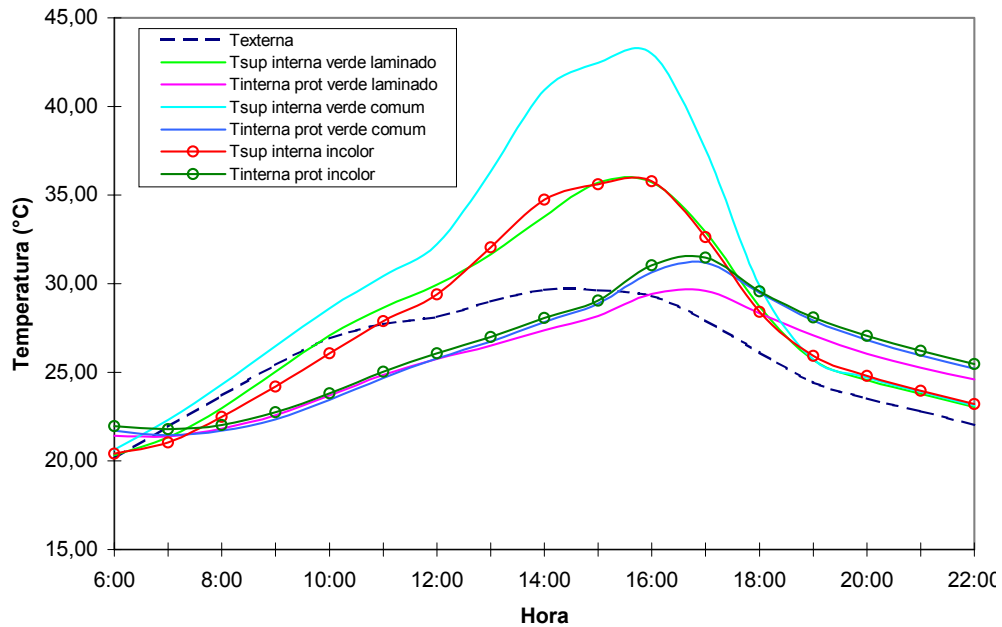
**Tabela 2 – Ganho de calor solar.**

<b>Vidro</b>	<b>Ângulos de incidência</b>	<b><math>\tau</math> (%)</b>	<b><math>\alpha</math> (%)</b>	<b>q (kW/m<sup>2</sup>)</b>
Laminado Verde (8mm)	0°	63	29	1,63
	20°	63	29	16,61
	40°	61	29	28,56
	60°	53	29	38,01
	70°	40	32	34,39
Comum Verde (4 mm)	0°	54	39	1,49
	20°	53	40	15,16
	40°	50	40	25,59
	60°	43	42	34,57
	70°	35	39	32,58
Comum Incolor (4 mm)	0°	81	9	1,93
	20°	81	9	19,80
	40°	78	10	34,21
	60°	71	11	46,70
	70°	60	10	44,12

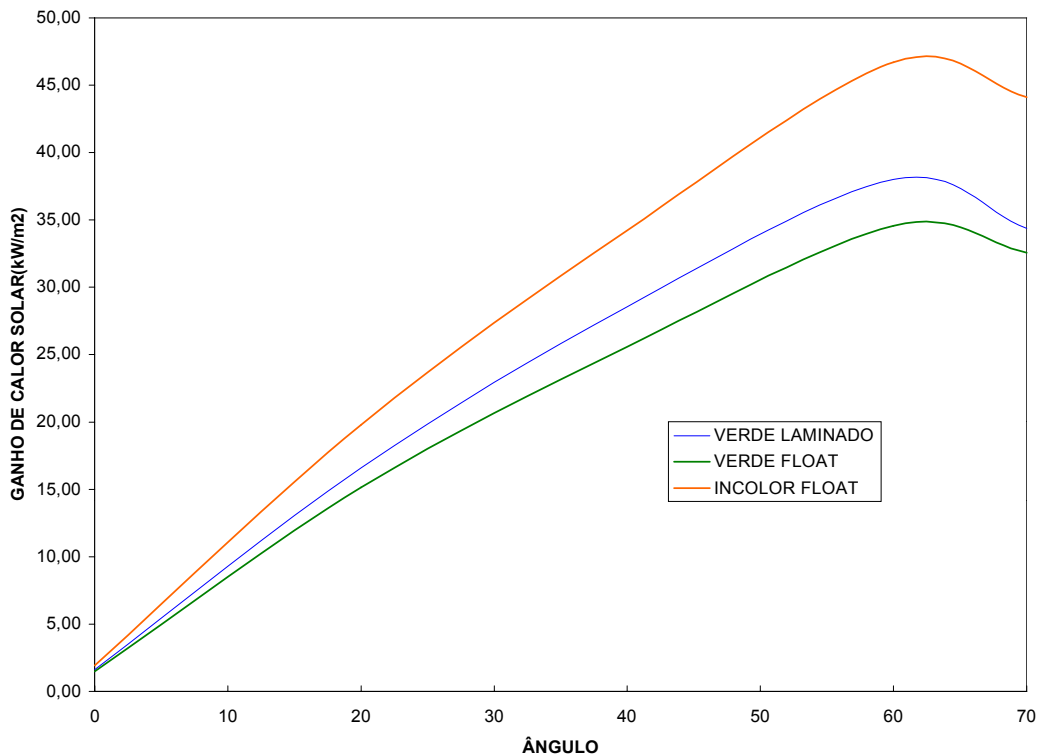
## 5. RESULTADOS

A partir das médias, em cada horário, das temperaturas externas, das temperaturas superficiais das faces dos vidros voltadas para o interior de cada protótipo e das temperaturas de bulbo seco dos ambientes internos dos protótipos, nos oito dias de medições, foi feito um gráfico que exhibe todos esses valores (Graf. 1).

O gráfico 2 exhibe o ganho de calor solar total de cada vidro analisado, em função do ângulo de incidência.



**Gráfico 1 – Relação entre temperatura externa, temperaturas superficiais dos vidros e internas dos protótipos.**



**Gráfico 2 – Ganho de calor solar dos vidros analisados.**

De acordo com a carta solar utilizada, a fachada oeste começou a receber insolação (radiação solar global) somente após o meio-dia, mas desde aproximadamente 7:00 h os vidros já sofriam influência da radiação solar indireta do ambiente.

Analisando-se os gráficos foi possível notar que as temperaturas de bulbo seco dos protótipos (internas) permaneceram inferiores à temperatura externa até aproximadamente 15:00 horas, quando a situação se inverteu.

As maiores diferenças entre as temperaturas superficiais internas dos vidros em relação às internas dos protótipos foram apresentadas pelo vidro comum verde, chegando a aproximadamente 13°C. No caso do vidro comum incolor, as maiores diferenças ocorreram por volta de 14:00 h e chegaram a 6°C, já no laminado essa variação foi de 7°C.

Para todos os vidros os maiores ganhos de calor ocorreram a 60° aproximadamente, o que corresponde às 13:40 h.

O vidro incolor foi aquele de maior contribuição com relação ao ganho de calor solar, além de apresentar as maiores temperaturas do ar dentro do protótipo, as quais estiveram, em todos os horários, muito próximas daquelas do protótipo com vidro comum verde. Cabe ressaltar que o protótipo com vidro laminado foi o que apresentou as menores temperaturas do ar internas.

O vidro verde laminado (incolor com película verde) apresentou um maior ganho de calor que o verde comum; em contrapartida, as temperaturas internas do ar do protótipo com o vidro laminado foram menores que naquele com vidro verde. Isso comprova que a película utilizada, neste caso, em particular, não teve grande influência no ganho de calor solar. O vidro laminado apresentou um comportamento intermediário entre o incolor e o verde comum, com relação ao ganho de calor total.

Oportunamente, os resultados apresentados neste trabalho serão confrontados com resultados a serem obtidos em espectrofotômetro, para as espessuras iguais àquelas dos vidros colocados nos protótipos. Segundo Santos (2002), como um elemento com maior espessura ou maior absorvância apresenta redução nos valores de refletância, poder-se-á encontrar, no ensaio em laboratório, alguns valores de refletância um pouco diferentes daqueles considerados neste trabalho. Como por exemplo, neste caso o vidro laminado utilizado é de 8mm, e os valores de absorvância utilizados no cálculo de fator solar foram obtidos para vidro laminado de 6mm. Seguindo esse raciocínio, pode-se inferir que os valores de absorvância a serem obtidos serão maiores do que aqueles adotados nesse trabalho. Em contrapartida, para os vidros de 4mm, considerados nesse estudo, os valores de absorvância a serem obtidos tenderão a ser menores do que aqueles adotados para comparação, os quais possuem a espessura de 5mm.

O objetivo principal deste trabalho foi de verificar o ganho de calor total de três tipos de vidros com propriedades óticas diferentes, através das temperaturas superficiais obtidas em protótipos, e compará-las com as temperaturas de bulbo seco internas, salientando, assim, a importância de medições de vidros em condições reais. Até o presente momento, não há, no Brasil, de conhecimento das autoras, resultados de estudo de vidros em protótipos, considerando o ganho de calor total.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15220-2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil. Maio/2005.

ASHRAE (1993) "Fundamentals Handbook". American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA. Chapter 27.

CARAM, R. M. "Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura: Ênfase na Eficiência Energética". 2002. 189 f. Texto (Livro Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MACEDO FILHO, A. "Vidro, eficiência energética e conforto ambiental nas edificações". *Finestra Brasil*, nº 19, 1999, p. 121-125, 1999.



- NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO – NUTAU – 1998. Disponível em: [www.usp.br/nutau](http://www.usp.br/nutau) Acesso em: 15 jan. 2005.
- RIVERO, R. “Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural”. 2ª ed. Porto Alegre: DC Luzzato/UFRGS, 1986.
- SANTOS, J. C. P. “Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar”. 2002. 363 f. Tese (Doutorado) – Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da EESC, IFSC, IQSC, da Universidade de São Paulo.