



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ASSOCIAÇÃO DE VIDROS E BRISE-SOLEIL EM SISTEMAS DE ABERTURAS: ANÁLISE DAS TEMPERATURAS INTERNAS

Grace Cristina Roel Gutierrez (1); Lucila Chebel Labaki (2)

(1) Mestre, Professora do Depto de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, gracegutierrez@ufmg.br
Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e
Eficiência Energética em Edificações, Belo Horizonte - MG, Tel.: (31) 3409 8825

(2) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Construção, lucila@fec.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Laboratório
de Conforto Ambiental e Física, Cx. Postal: 6021, Campinas-SP, 13083-852, Tel.: (19) 3521.2384

RESUMO

Sistemas de aberturas são um importante componente da envoltória das edificações, exercendo funções de controle do fluxo térmico, ventilação e luz natural. Cada elemento que compõe o sistema de abertura - caixilho, superfície transparente e proteção solar - atua de forma distinta. Neste estudo buscou-se analisar o comportamento da associação de superfície transparente e dispositivo de proteção solar, em ensaios de campo sob condições climáticas reais de forma a avaliar o desempenho combinado de ambos. A partir de pesquisas anteriores, foram selecionados três tipos de vidro (incolor, verde e fumê), associados a soluções de brise-soleil mais comumente utilizadas – placas horizontais e verticais, fixos e externos a fachada, correspondendo a nove sistemas em teste. Os ensaios foram realizados na área experimental da FEC UNICAMP em Campinas SP, onde um sistema automático de aquisição coletava dados das variáveis ambientais e dos sensores instalados nas células teste, monitorando os sistemas de aberturas instalados na fachada norte. Os resultados obtidos mostram o efeito combinado entre as diferentes associações de dispositivos de sombreamento e vidros testados, sendo que os melhores resultados foram obtidos pela associação de vidro verde e brise-soleil horizontal. Além disso, destacam-se as diferenças observadas entre as interações das características individuais de cada elemento.

Palavras-chave: desempenho térmico de sistemas de aberturas, dispositivos de sombreamento, células-teste.

ABSTRACT

Fenestration systems are an important component of the envelope of buildings, acting for the control of heat flow, ventilation and natural light. Each element of the fenestrations system – framing, glazing and shading devices - works differently. In this study we have analyzed the thermal performance of this component in field test under real climate conditions, in order to evaluate the combined performance of this kind of system. From previous research, we selected three types of glass (clear, green and gray), associated with solutions of external shading devices most commonly used - horizontal lowers and vertical fins, fixed. There were nine different systems under test. The tests were conducted at experimental area of FEC UNICAMP in Campinas SP, with an automated system for collecting data acquisition of environmental variables and sensors in the test cells, monitoring systems fenestration installed on the north façade. The results show the combined effect between different tested types of glazing and shading devices, and the best results were obtained by the green glass and horizontal “brise-soleil” system. Therefore, the highlights are the differences between the interactions of individual characteristics of each element compared to the system fenestration all.

Keywords: thermal performance of fenestration systems, shading devices, test-cells.

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar atua diretamente sobre as superfícies externas da edificação, e o ganho de calor devido a essa energia depende das características da superfície sobre a qual incide. Essa envoltória atua como

uma barreira entre o meio externo e interno, moderando a dinâmica da variabilidade das condições climáticas externas. A envoltória é composta por superfícies opacas e transparentes, que tem comportamentos distintos em relação à incidência da radiação solar. Olgyay & Olgyay (1957) comentam que a questão do controle da radiação solar deve considerar sua composição espectral, uma vez que essas características particulares demandam diferentes estratégias de controle. Rivero (1986) destaca que os materiais se comportam de forma seletiva em relação à radiação incidente, ou seja, a quantidade de energia que absorvem, refletem e transmitem é diferente em cada comprimento de onda.

Segundo o “US Department Of Energy” (DOE) a envoltória controla o fluxo de energia entre o ambiente interno e o meio externo, e corresponde ao fator que mais influencia o consumo de energia para o condicionamento de uma edificação. Dentre os elementos que compõem a envoltória de um edifício os sistemas de aberturas são elementos complexos e interessantes dadas suas características estético-funcionais para a concepção de projetos. Entretanto, os sistemas tornam as edificações extremamente vulneráveis às variações climáticas, principalmente em relação à radiação solar, pois é através deles que uma parcela considerável de calor é trocado.

As aberturas configuram um espaço aberto na envoltória da edificação com a finalidade de permitir a acessibilidade, seja física ou apenas visual, e a entrada de ar e luz para o ambiente interno. As aberturas ligam, física e visualmente, o exterior com o interior de uma edificação, recebendo radiação solar (calor e luz natural), e podem permitir a ventilação natural dos ambientes (ASHRAE, 2009). As funções de sistema de abertura podem ser classificadas segundo alguns critérios: estrutural e segurança; funcional e psicológico; e, estético e dimensional. Esses componentes construtivos podem compor soluções de sistemas passivos de aquecimento ou resfriamento (Givoni, 1998). Além da funcionalidade e controle, esses elementos também influenciam a expressão plástica da edificação, bem como a percepção do usuário em relação a aspectos que envolvem a sensação de bem estar.

Um sistema de abertura é composto por uma superfície transparente ou translúcida, caixilhos, e pode contar ou não com dispositivos de proteção solar. Cada um desses elementos possui características próprias e atuando de forma distinta:

- *superfície transparente ou translúcida*: transparência, seletividade, transmissão, visibilidade, admissão de luz natural e calor;
- *caixilhos*: integridade estrutural, durabilidade, estanqueidade, tipologia e controle da ventilação;
- *dispositivos de proteção solar*: intercepta a radiação solar, propicia sombreamento, controle da luz natural e calor; interfere na ventilação e na visibilidade; depende da orientação, da tipologia, material e cor.

Croiset (1976) comenta que para as aberturas protegidas por dispositivos, as parcelas relativas às propriedades óticas de absorvância (α), refletância (ρ), e transmitância (τ), dependem da cor, do material, e da transparência desse elemento, além de suas propriedades termo-físicas. Para um sistema de abertura exposto à radiação solar, ambas as parcelas, transmitida e absorvida, estão atuando. A transmissão ocorre de maneira direta, e depende fundamentalmente das propriedades óticas dos materiais. Já a parcela absorvida e re-irradiada, depende das propriedades óticas e também das propriedades termo-físicas dos materiais. Com relação à parcela da radiação solar que foi absorvida pelo elemento, é interessante observar que essa energia transforma-se em calor, e depende das propriedades termo-físicas e dos mecanismos de trocas térmicas para ser transmitido para o interior da edificação. Segundo Santos (1999) outro aspecto a ser considerado é a diferença no processo de absorção da radiação entre materiais opacos e transparentes, que nesse último ocorre ao longo da espessura. Embora o sistema de abertura seja composto por uma superfície transparente ou translúcida, caixilhos, e dispositivos de proteção solar, esses elementos costumam ser avaliados separadamente, e por métodos distintos. No entanto, como se comportaria um sistema de abertura complexo composto pela associação de vidro e brise-soleil? Os artigos e normas pesquisadas trazem procedimentos de cálculo e medições (ISO, 2003a; ISO, 2003b; Klems et al, 1995), mas em sua maioria informam que o procedimento não se aplica a dispositivos de proteção solar externos.

O estudo doravante apresentado integra uma pesquisa da mais abrangente acerca do comportamento de componentes construtivos, especificamente coberturas e sistemas de aberturas¹, realizada em células-teste sob condições climáticas reais. Este estudo optou por destacar dois destes elementos: as superfícies transparentes e os dispositivos de proteção solar. Dessa forma, analisa a associação de superfície transparente e superfície opaca e o desempenho combinado do sistema.

¹ “Sustentabilidade e eficiência energética: avaliação do desempenho térmico de coberturas e materiais transparentes em relação à radiação solar”, FEC UNICAMP e Arquitetura EESC USP.

1.1. Superfície transparente ou translúcida

As superfícies transparentes ou translúcidas têm a transparência como sua principal característica, permitindo a transmissão direta da radiação solar através do material. Esses materiais são transparentes a radiação compreendida entre comprimentos de onda de 300 a 4000nm e, portanto, transparentes a quase totalidade do espectro da radiação solar.

Esses elementos têm como funções principais a visibilidade e a admissão de luz natural. Permitem também a passagem da radiação térmica de ondas curtas. Devido as propriedades óticas de transmissão, reflexão e absorção dos materiais transparentes e translúcidos, esses materiais se comportam de forma seletiva em relação à radiação solar incidente, sendo opacos a transmissão de comprimentos de ondas inferiores a 300nm e superiores a 4000nm. Essa seletividade ao espectro solar depende principalmente da composição do material, sendo que também ocorre em função de outros fatores como a espessura, o índice de refração do vidro, assim como o ângulo de incidência da radiação.

1.2. Dispositivos de proteção solar

Os dispositivos de proteção solar são elementos que interceptam os raios solares, reduzindo a admissão da radiação solar incidente para o ambiente interno, e dessa maneira minimiza o aporte de calor solar através da envoltória da edificação, principalmente nas aberturas e superfícies transparentes ou translúcidas. Dessa forma, atua no controle do ganho de calor solar e da luz natural, devido ao sombreamento das superfícies por eles protegidas, e dependem fundamentalmente da orientação da fachada. Geralmente são classificados em função de sua posição no sistema de abertura: interno, entre vidros e externos; por sua mobilidade; e pela sua tipologia, entre outras classificações existentes.

O brise-soleil ou quebra-sol é um dispositivo de proteção solar, constituído por uma ou mais lâminas, geralmente paralelas, externas à edificação. Apresenta duas tipologias básicas (horizontal e vertical), e uma solução combinada entre esses tipos.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo comparar diferentes sistemas de aberturas constituídos por duas tipologias de dispositivos de sombreamento, externos e fixos, associado a diferentes tipos de vidro, em ensaios de campo sob condições climáticas reais. Avaliar como se comporta a associação de vidros distintos e proteção solar em relação às temperaturas do ambiente interno num sistema de abertura complexo.

3. MÉTODO

Para realizar a análise proposta, foi realizada uma pesquisa em campo experimental em células-teste com os sistemas de aberturas selecionados para ensaio, sob condições climáticas reais. As condições experimentais são apresentadas a seguir:

3.1. Descrição dos ensaios experimentais

3.1.1. Caracterização do local

Os ensaios de campo foram realizados na área experimental da FEC (fig. 1), dentro do terreno da UNICAMP, em Campinas SP. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região de Campinas é o Cwa: clima mesotérmico com verões quentes e inverno ameno e seco. Os meses que apresentam maior horário de insolação média diária são março/abril e outubro/novembro, em função das condições de céu e nebulosidade. Os ventos predominantes são de sudeste, com velocidades médias em torno de 2,0 m/s. Embora sejam consideradas as normais climatológicas para a região de Campinas, a monitoração do micro-clima local é de grande importância para estabelecermos relações comparativas com as leituras dos sensores instaladas nas unidades experimentais. A figura 2 mostra as nove células-teste instaladas no campo experimental.

3.1.2. Caracterização das unidades experimentais

Todas as células-teste foram construídas sobre uma base de radier de concreto desempenado (3,20 x 3,70m), com piso interno em concreto com revestimento em argamassa de cimento desempenada. Essas unidades possuem paredes de tijolos de barro maciço sem revestimento (½ tijolo - espessura 10,0 cm), assentados com argamassa comum de cimento e pintados na cor branca (interna e externamente). A figura 3 apresenta planta, vista e corte da célula-teste, que possui dimensões externas de 2,20 x 2,70 m e internas de

2,00 x 2,50 m, com uma área útil de 5,00 m², pé direito de 2,40m, e volume interno de 12,00 m³. Na face superior, uma laje pré-moldada (bloco cerâmico 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 fibrovegetal, pintada externamente de branco, e junto ao caibramento de sustentação, um filme de alumínio polido (isolante térmico tipo “foil”), reduzindo a influência da superfície mais exposta à radiação solar nos resultados das medições. As portas e os caixilhos das janelas são de madeira (cedro), na cor de branca. A fachada maior está orientada a Norte/Sul (2,70m) e a menor a Leste/Oeste (2,20 m). A figura 4 mostra uma foto de uma das células-teste em ensaio.



Figura 1 – Localização do campo experimental, na UNICAMP. (<http://maps.google.com>)



Figura 1 – Área experimental com as células-teste.

Para facilitar o manuseio e troca de vidros, optou-se por colocar o vidro numa moldura de madeira sobre batente, com alças e fechos de travamento, ficando a área envidraçada efetiva com as dimensões de 0,86 x 1,06 m, e área de 0,91 m². As superfícies envidraçadas não possuem aberturas para ventilação, sendo o interior dos protótipos um ambiente fechado. A intenção era de restringir as variáveis envolvidas, pois a ventilação poderia interferir na temperatura interna, trazendo o calor dissipado pelos dispositivos. Na face oeste havia uma segunda abertura, oriunda de pesquisa anterior, que foi fechada com a utilização de um painel de resistência térmica equivalente a parede de tijolos.

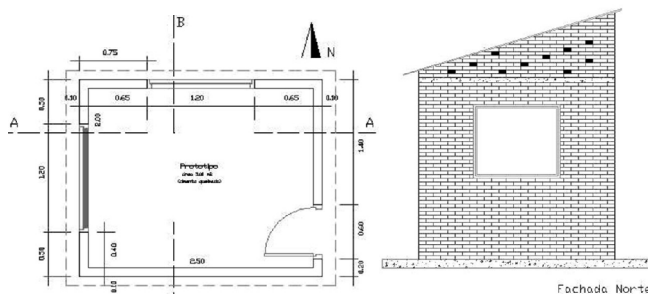


Figura 3 – Planta, vista e corte esquemático da célula-teste.

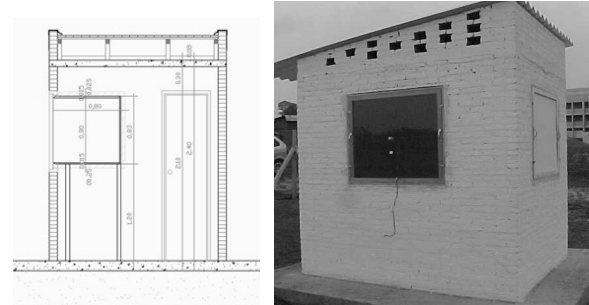


Figura 4 – Célula-teste.

As células teste estão distanciadas de forma que não haja sombreamento das paredes ou sombras de vento, a fim de garantir condições homogêneas de implantação para todos, estando expostos às mesmas condições ambientais, sem ocupação durante as medições nem fontes internas de calor.

Assim, como o elemento em ensaio era o sistema de abertura e, portanto, para reduzir a interferência das demais superfícies da célula-teste optou-se por: por pintar todas as superfícies de branco; utilizar um ático ventilado acima da laje, com foil e telhas pintadas de branco; manter as janelas fixas e sem ventilação; inserir uma câmara interna que tivesse contato com meio externo apenas através do sistema de abertura em ensaio; condicionar o ambiente interno da célula-teste com o uso de um condicionador de ar de janela. De acordo com essas considerações, a câmara interna foi construída como uma caixa de 0,80 x 0,80m e volume de 0.64m³, em placa de compensado de 15 mm e manta isolante térmica de lã de vidro de 25mm com foil de alumínio. Apenas uma face contém uma abertura posicionada junto ao sistema de abertura em ensaio. O ponto de contato entre a caixa e o vidro foi isolado com uma fita de espuma para diminuir a transferência de calor por condução. A câmara foi projetada de modo a não permitir troca de ar entre ela e o interior da célula-teste e, portanto, configura um processo com volume constante, de forma que a alteração na energia

térmica seria apenas resultado de ganho ou perda de calor pelo sistema em ensaio. Para assegurar que as demais superfícies do ambiente interno da célula teste não interferissem nos resultados registrados onde se inseria a câmara, o mesmo foi condicionado com a utilização de um aparelho de ar condicionado de janela.

O campo experimental abrigava 9 células-teste, e embora todas as unidades tenham sido utilizadas na pesquisa, os resultados apresentados consideram apenas as três unidades que contavam com a câmara interna e ar condicionado, localizadas junto ao limite norte do campo experimental. Uma unidade experimental foi destinada para referência e controle, estando totalmente exposta à radiação solar, nas mesmas orientações, porém sem os dispositivos de proteção solar. Nas demais, foram instalados sobre a superfície transparente os dispositivos de sombreamento: brise-soleil horizontal e brise-soleil vertical em argamassa armada.

3.1.3. Caracterização dos sistemas de abertura em ensaio

A seleção dos sistemas de abertura em estudo foi realizada considerando os vidros e as soluções de brises-soleil mais comumente utilizadas nas edificações.

1. Superfícies transparentes compostas por 3 tipos de vidro distintos: incolor, verde e fumê, de 4mm (fig. 6);
2. Dispositivos de sombreamento: constituídos por placas paralelas, de argamassa armada, externos, fixos, distanciados, perpendiculares a fachada, de duas tipologias: horizontal ou vertical (fig.5). As placas foram confeccionadas em argamassa armada, e tem dimensões de 1,36 x 0,36m, e espessura de 1,5cm, estando posicionadas a uma distância de 0,05m da empena.



Figura 5 – Brises horizontal e vertical, com termopares instalados.



Figura 6 – Amostras dos vidros em ensaio.

3.2. Medições in loco

As três células teste utilizadas nos ensaios contavam com as câmaras internas, e a sequência e ordem dos sistemas de abertura em ensaio foram definidas em função do tipo de vidro, o qual era trocado após o período de monitoramento, ficando os dispositivos de sombreamento - horizontal, vertical e sem proteção - fixos em determinadas unidades.

3.2.1. Variáveis monitoradas

Inicialmente foram definidas as variáveis a serem monitoradas nos sistemas em ensaio: a radiação incidente nos planos horizontal e vertical, a radiação refletida e transmitida através do sistema de abertura, as temperaturas superficiais dos elementos que o constituem, e as temperaturas do ar na câmara e no ambiente interno. As variáveis ambientais foram monitoradas por uma estação meteorológica.

3.2.2. Equipamentos e sensores

As variáveis ambientais externas foram obtidas pela estação meteorológica do Laboratório de Conforto Ambiental e Física (LACAF) do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Essa estação está localizada na área experimental, próxima às células teste, estando situada na latitude 22° 48'53'' S e longitude 47° 03'43'' W, numa altitude de 627m. As variáveis ambientais monitoradas pela estação foram a temperatura do ar, umidade relativa, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar global e pluviometria, registradas em data loggers bem como os demais sensores instalados nas unidades experimentais.

Para o monitoramento da edificação, os dados de temperatura interna e superficiais dos sistemas de aberturas em ensaio nas células teste foram adquiridos através de termopares tipo T (cobre-constantan). Estes sensores foram posicionados nos elementos em ensaio da seguinte forma: dois sensores para monitoramento das temperaturas do ar – na célula-teste e na câmara interna, e outros quatro sensores medindo as temperaturas superficiais dos elementos em ensaio – faces interna e externa do vidro (fig. 7 e 8), e faces do brise (superior e inferior no caso das placas horizontais, ou leste e oeste para as verticais – fig. 5).

Nas três células teste que contavam com a câmara calorimétrica instalada no seu interior havia mais 01 termopar instalado dentro da câmara, monitorando a temperatura do ar interno da caixa.



Figura 7 –Termopares temperaturas superficiais.



Figura 8 – Câmara interna

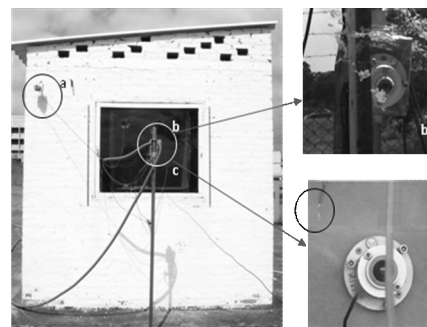


Figura 9 – posicionamento dos piranômetros

Nessa montagem experimental também foram utilizados piranômetros CM3 da Kipp & Zonen, com resposta espectral de 300 a 4000nm, para monitorar a atuação da radiação solar no sistema em ensaio. Assim, os sensores utilizados foram posicionados da seguinte forma: a) um externo medindo a incidência da radiação solar total no plano vertical; b) outro sensor externo, porém voltado para o sistema de abertura em ensaio monitorando a radiação refletida por esse elemento; c) e outro interno a edificação e voltado para o sistema de abertura para medir a radiação transmitida através do sistema (fig. 9). No entanto esses resultados não serão abordados neste artigo.

3.2.3. Período de medições

Cada associação de vidro e dispositivo de proteção ficou em ensaio no decorrer de uma semana, no período de 23 de março a 15 de abril de 2009, de forma a contar com pelo menos três dias de dados válidos (em função das condições climáticas). Na análise dos resultados foram desprezados os dados relativos aos dias nos quais se observou condições ambientais desfavoráveis devido à instabilidade das condições climáticas, como em dias de céu encoberto ou parcialmente nublado caracterizados por alta variabilidade dos valores registrados de radiação solar. A leitura dos sensores foi configurada, em intervalos pré-estabelecidos a cada 30s, com médias calculadas a cada 30 minutos.

3.2.4. Calibração e pré-teste

Para a calibração das condições experimentais, foram realizados pré-testes que serviram para avaliar a homogeneidade das condições experimentais relativas ao campo e as células teste, dessa forma a comparação dos resultados das temperaturas internas e superficiais foi possível uma vez que as condições experimentais eram semelhantes nas células-teste utilizadas. Os sensores da estação haviam passado por calibração através do suporte técnico da Campbell Scientific do Brasil, mas os piranômetros precisavam ser calibrados, pois estavam sem utilização há algum tempo. Uma aferição foi realizada no próprio campo experimental com o auxílio de um piranometro CM3 de um equipamento recém adquirido e calibrado de origem (Kipp & Zonen).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise de resultados foi elaborada comparando os resultados de temperatura obtidos pelos sistemas monitorados: vidro incolor sem proteção (VI); vidro incolor e brise horizontal (BHVI); vidro incolor e brise vertical (BVVI); vidro verde sem proteção (VV); vidro verde e brise horizontal (BHVV); vidro verde e brise vertical (BVVV); vidro cinza sem proteção (VC); vidro cinza e brise horizontal (BHVC); e vidro cinza e brise vertical (BVVC). Os gráficos apresentados foram agrupados fixando um dos elementos para comparação das variações do outro. Assim, o primeiro conjunto de resultados apresenta um determinado tipo de vidro e a variação dos dados em função da influência do tipo de dispositivo de sombreamento, já o segundo conjunto de gráficos apresenta um tipo de proteção determinado e a variação dos dados em função da influência dos diferentes vidros em ensaio.

4.1. Resultados para comparação dos dispositivos de proteção

Com relação às temperaturas do ar dos ambientes: externo, interno, e da câmara, pode-se observar nos gráficos o comportamento das temperaturas internas das câmaras em relação aos dispositivos em ensaio. As temperaturas externas e internas do ambiente das células-teste e câmara servem de referência para a comparação com os resultados obtidos.

a) Resultados para vidro incolor, no período de 24 a 30/03/2009

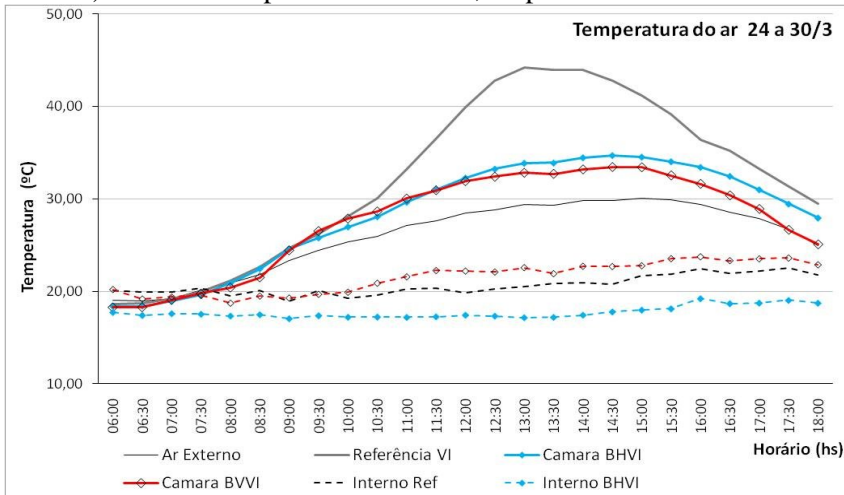


Figura 10 – Temperaturas do ar médias para ensaio com vidro incolor

A figura 10 mostra a diferença entre os sistemas que contavam com proteção solar e a unidade de referência sem proteção. As diferenças nas temperaturas internas registradas chegam a 10,33°C. Já entre as duas tipologias, as temperaturas internas registraram diferenças bem menores, na casa de décimos de grau. Os resultados apresentam um comportamento ligeiramente melhor da tipologia vertical.

b) Resultados para vidro cinza, no período de 01 a 05/04/2009

A figura 11 apresenta uma diferença significativa entre os sistemas com e sem proteção solar, sendo que as diferenças registradas foram maiores para o vidro incolor, chegando a 12,01°C. Outra diferença observada foi que os resultados apontam para um comportamento ligeiramente melhor da tipologia horizontal, a exceção dos períodos do início e final do dia, no qual a eficiência das placas verticais é melhor.

Alguns aspectos podem ser observados em todos os gráficos em análise, as temperaturas no início da manhã até as 10:00h ficam próximas para todas as combinações em ensaio, mas ao final da tarde as temperaturas caem mais rapidamente para as placas verticais do que nas horizontais, e nota-se uma diferença na inclinação desse decaimento. Observa-se com clareza que os vidros cinza e verde diminuem as diferenças registradas em função da tipologia em ensaio, chegando a registrar temperaturas praticamente similares no caso do vidro verde.

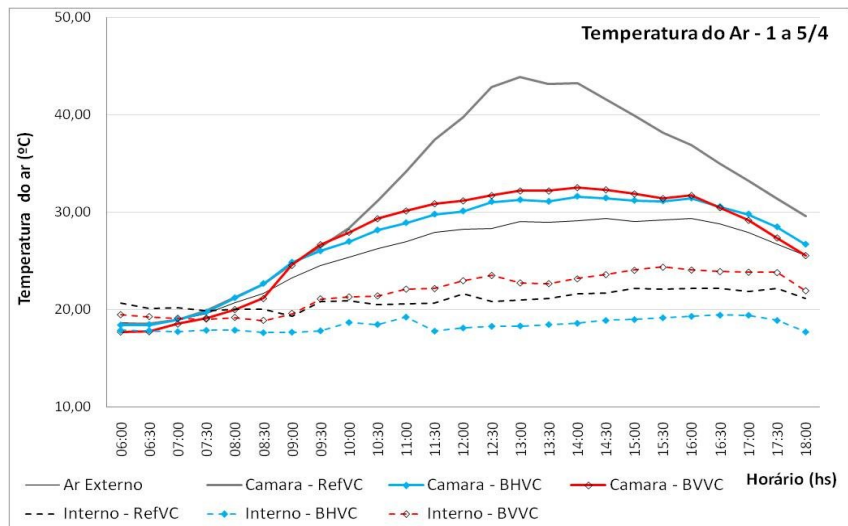


Figura 11 – Temperaturas do ar médias para ensaio com vidro cinza/ fumê

Observa-se com clareza que os vidros cinza e verde diminuem as diferenças registradas em função da tipologia em ensaio, chegando a registrar temperaturas praticamente similares no caso do vidro verde.

a) Resultados para vidro verde, no período de 08 a 14/04/2009

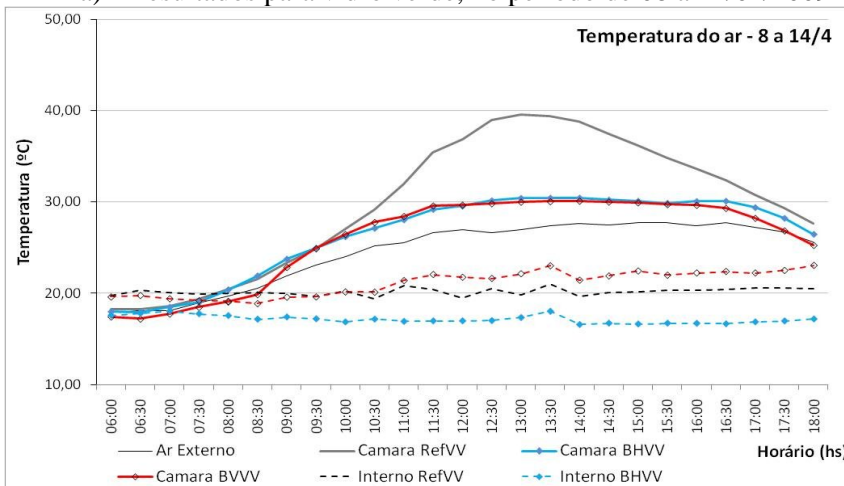


Figura 12 – Temperaturas do ar médias para ensaio com vidro verde

A figura 12 mostra uma diferença expressiva com relação aos maiores valores registrados pelo sistema sem proteção, que apenas nesse caso fica abaixo dos 40°C, cabe observar que as temperaturas externas também registraram valores menores, mas não na mesma proporção de diferença encontradas anteriormente.

Os resultados apresentam um comportamento próximo para os sistemas que contavam com proteção solar seja horizontal ou vertical. Nesse ensaio nota-se que a in-

fluência do tipo de vidro foi maior do que as diferenças de eficiência entre as tipologias de brise em ensaio.

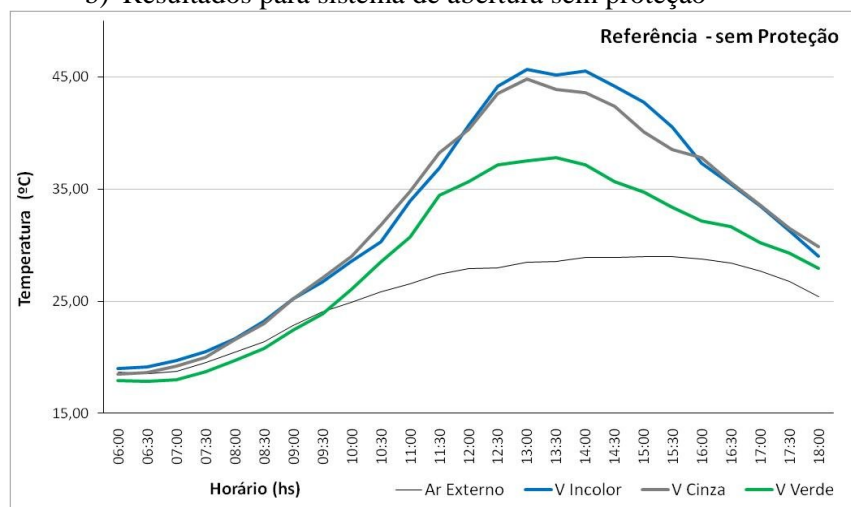
Era esperado que o brise horizontal obtivesse resultados melhores que os registrados uma vez que esse tipo dispositivo apresenta desempenho melhor que o vertical para essa orientação e época do ano. No entanto, através da análise dos gráficos 10, 11 e 12 é possível observar que o sombreamento proporcionado pelo dispositivo de proteção solar é maior do que os desempenhos dos diferentes vidros ensaiados.

Observa-se também que a temperatura registrada na célula teste, sob influência do ar condicionado, manteve-se mais estável para os sistemas com brise horizontal, sendo que os outros dois sistemas elevaram suas temperaturas a partir das 10:00 h, sendo que nesse horário o dispositivo vertical permite a incidência solar na superfície dos vidros, e que na célula sem proteção recebe maior carga térmica.

4.2. Resultados para comparação dos diferentes vidros em ensaio

Para permitir a comparação entre os resultados de mesmo dispositivo de proteção e diferentes tipos de vidro, utilizou-se a média ponderada, dado que os períodos monitorados foram distintos.

b) Resultados para sistema de abertura sem proteção



A figura 13 mostra os resultados das temperaturas do ar no interior da câmara comparando os três tipos de vidros ensaiados sem proteção solar. Observa-se o bom desempenho do vidro verde, fato esperado ao considerarmos suas propriedades óticas. No entanto, o vidro cinza obteve resultados muito próximos ao do vidro incolor, embora também apresente um fator solar próximo ao do vidro verde. A diferença registrada entre os vidros coloridos deve-se ao comportamento distinto entre as faixas do espectro, uma vez que o vidro verde apresenta uma absorvância maior, principalmente para ângulos de incidência acima de 60° (Santos, 2002), o que eleva a temperatura superficial, e para um sistema com um volume de ar pequeno essa diferença se sobressai.

Figura 13 – Temperaturas do ar médias para ensaio com vidro sem proteção

Quando se analisa os resultados em função dos dispositivos de proteção solar, destaca-se a redução das temperaturas para todos os tipos de vidros, com redução em torno de 10°C, assim como um atraso no horário de registro da maior temperatura: sem proteção, o pico ocorreu às 13:00, com proteção entre 14:30 e 15:00h. Com relação as diferenças entre as tipologias de brise, observou-se que o brise-soleil horizontal obteve resultados melhores do que da tipologia vertical.

c) Resultados para sistema de abertura com brise-soleil horizontal

Os resultados para o brise horizontal mostram a boa amortização que essa tipologia confere aos resultados dos sistemas ensaiados, apresentando boa redução dos valores das temperaturas internas. O vidro verde registra valores semelhantes as temperaturas externas quando associado a esse dispositivo. Outro ponto de destaque é que essa tipologia mostrou resultados mais expressivos quando associada ao vidro cinza comparado ao incolor, fato devido ao sombre-

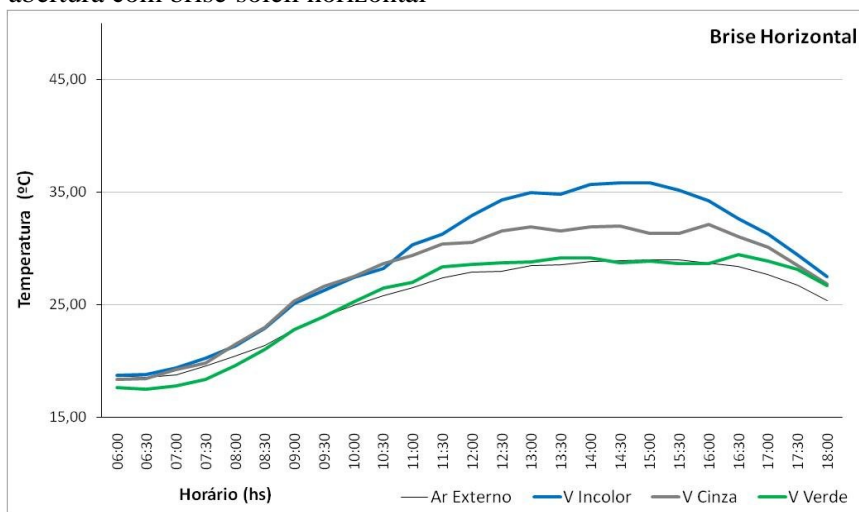


Figura 14 – Temperaturas do ar médias para ensaio com brise horizontal

amento que, ao minimizar a parcela absorvida, registrou temperaturas superficiais menores e, assim, obteve melhor resultado que o vidro incolor.

d) Resultados para sistema de abertura com brise-soleil vertical

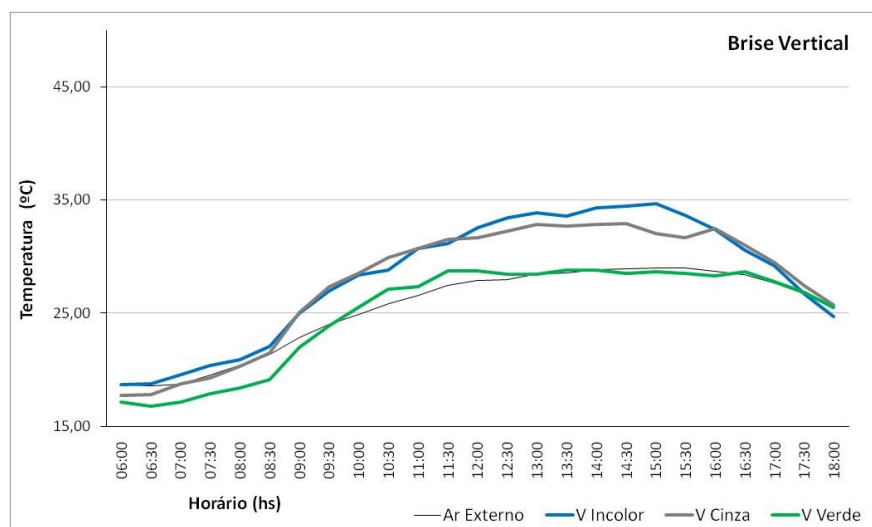


Figura 15 – Temperaturas do ar médias para ensaio com brise vertical

No caso da tipologia vertical, a figura 15 mostra comportamento semelhante do vidro verde ao registrado pelo mesmo associado ao brise horizontal, mas registra uma diferença perceptível em relação ao comportamento dos vidros incolor e cinza, que tornam a apresentar resultados mais próximos. Fato devido ao dispositivo vertical não oferecer proteção nos horários próximos ao meio dia, indicando a influência da parcela absorvida pelo vidro cinza que é maior para os ângulos de incidência correspondentes a esse horário.

Esse resultado ressalta a diferença de eficiência entre as tipologias para esses casos específicos em ensaio, uma vez que o vidro verde também estava recebendo a mesma carga de insolação, mas como suas propriedades óticas são distintas em função do espectro e do ângulo de incidência, ele obteve resultado semelhante ao observado nos ensaios do brise-horizantal.

Observando os gráficos 13, 14 e 15, é possível considerar que a tipologia vertical, embora apresente uma boa redução nas temperaturas internas quando comparada ao sistema sem proteção, registra comportamento semelhante entre os vidros incolor e cinza quando a eficiência do sombreamento não é total. Dessa forma, pode-se considerar que para a tipologia vertical o desempenho do vidro verde é mais significativo em função de suas propriedades óticas do que a influência do sombreamento proporcionado quando comparado ao mesmo horário para o brise horizontal.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem a comparação dos diferentes sistemas de aberturas em relação às temperaturas internas registradas. É possível observar as diferenças de comportamento registradas entre as diferentes tipologias de brise, bem como em relação aos tipos distintos de vidro ensaiados, analisando a interferência e interação entre as diferentes formas de atuação de cada elemento quando em conjunto. A associação de dispositivos de sombreamento e superfícies transparentes distintas constituindo sistemas complexos de abertura resulta em significativa melhora do desempenho térmico, em função da forma, das propriedades térmicas e óticas dos componentes e da interação dessa associação.

Os resultados para os sistemas de aberturas testados indicam que a utilização do dispositivo de sombreamento com vidro incolor padrão é mais eficaz em relação à redução do aporte de calor solar do que os resultados conhecidos para vidros de melhor desempenho, no caso cinza e verde, sem proteção.

A princípio era esperado um comportamento melhor do vidro cinza em relação ao incolor, bem como um melhor desempenho do brise horizontal considerando a eficiência do sombreamento do mesmo em relação ao dispositivo vertical. Ainda assim, o brise horizontal correspondeu ao esperado quando analisado em conjunto com os vidros distintos, resultando em melhora expressiva dessa combinação.

Destacam-se as diferenças registradas entre os sistemas de aberturas quando se analisa seus resultados em associação ao esperado por cada elemento individualmente. Para o conjunto de vidro verde e proteção solar, embora haja uma redução significativa em relação ao sistema incolor e sem proteção os resultados apontam que para esse sistema em particular o desempenho do vidro tem peso maior do que as diferenças entre as tipologias ensaiadas. No entanto, para a associação com o vidro cinza, a tipologia é determinante para um melhor desempenho desse sistema em específico.

Portanto, pode-se concluir que embora determinados padrões de comportamento sejam esperados em função das características de desempenho de cada elemento individualmente, a associação de tipologias distintas de vidro e proteção solar podem resultar em combinações onde o peso de cada elemento, vidro e dispositivo, variem em função dessa interação: razão da eficiência do sombreamento, influência do ângulo de incidência e das propriedades óticas por faixa do espectro. E que em determinadas situações podem destacar-se o desempenho do vidro, noutros do dispositivo de proteção.

De modo geral, dentre os sistemas de aberturas analisados o que apresentou resultados mais efetivos em relação à redução das temperaturas internas foi o vidro verde associado ao brise-soleil horizontal, ficando próximo para esse mesmo vidro associado ao dispositivo vertical. Os piores resultados foram o vidro incolor sem proteção, que era a referência deste ensaio. As diferenças de comportamento mais expressivas foram as do vidro cinza, com comportamento distinto em relação às diferentes tipologias de brise-soleil testadas.

Como continuidade deste trabalho novas análises serão realizadas considerando além das temperaturas internas, os demais dados coletados em campo: as temperaturas superficiais dos elementos dos sistemas de abertura, e os dados de radiação transmitida, refletida e absorvida pelo sistema em ensaio; de forma a estabelecer relações entre esses parâmetros quando analisados em conjunto. Em ensaios futuros, outros tipos de vidros (metalizados, laminados, multicamadas, e películas) poderiam ser testados, de forma a verificar se a relação de custo benefício de um vidro de alta tecnologia compensa o investimento, em comparação aos vidros incolor e coloridos associados aos dispositivos de sombreamento.

Uma questão que merece ser registrada é a dificuldade de realização de ensaios experimentais em função da variabilidade das condições climáticas, a pouca disponibilidade e o custo dos equipamentos, além do tempo necessário a esse tipo de estudo, são aspectos restritivos apontados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 2009 **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2009.
- CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2006. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2006.
- CROISET, M. **Humedad y temperatura en los edificios**. Barcelona: Ed. Técnicos, 1976.
- ISO. **ISO 9050: Glass in buildings: determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors**. International Organization for Standardization, 2003a.
- ISO. **ISO 15099: Thermal performance of windows, doors and shading devices – detailed calculations**. International Organization for Standardization, 2003b.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- KLEMS, J. H.; WARNER, J. L.; KELLEY, G. O. **A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration systems**.(report). Berkeley: LBL, 1995.
- OLGAY, V.; OLGAY, A. **Solar control and shading devices**. Princeton: Princeton University Press, 1957.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima, acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Luzzatto/UFRGS, 1986.
- SANTOS, J.C.P.; et al. **Reavaliação do fator solar através do estudo da interação da radiação solar com os componentes dos vidros**. In: Anais do II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza: ANTAC, 1999.
- SANTOS, J. C. P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. São Carlos SP, 2002. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- US DOE - <http://www1.eere.energy.gov/buildings>, acesso em nov/08.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Os autores agradecem à FINEP pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.