XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

# AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO RELACIONADO AO USO DE VIDRO INSULADO EM ESCRITÓRIOS COM FACHADA ENVIDRAÇADA EM FLORIANÓPOLIS (SC)

**Mônica Martins Pinto (1); Fernando Simon Westphal (2)**
(1) Me., Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, monicamartinspinto@outlook.com, LabCon - Universidade Federal de Santa Catarina
(2) Dr., Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, fernando.sw@ufsc.br, LabCon - Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO
A arquitetura corporativa com fachadas completamente envidraçadas já é um modelo internacionalmente consolidado, inclusive no Brasil. Entretanto este padrão parece ser o de maior vulnerabilidade às variações climáticas. Portanto, o projeto de abertura deve ser adequado ao clima local e ao tipo de uso da edificação, e seu impacto direto no consumo energético e no conforto dos ocupantes deve ser avaliado. O presente estudo objetiva avaliar possível melhoria que o uso de sistema de vidro insulado poderia proporcionar no conforto térmico das pessoas que permanecem por longos períodos nas proximidades de janelas em ambientes de escritório localizados em Florianópolis. Realizaram-se simulações computacionais de um modelo de sala de escritório no *software EnergyPlus*, verificando dados de conforto térmico e a temperatura radiante média (TRM). Primeiramente, verificaram-se as oscilações nos resultados modelando o zoneamento térmico do ambiente de diferentes formas. Após, foram avaliados e comparados o uso do vidro insulado ao uso dos vidros cinza monolítico e incolor monolítico. Pesquisas anteriores demonstraram que o vidro insulado não apresenta desempenho térmico e energético favorável, comparado a vidros sem isolamento, para edifícios de escritórios no Brasil. Entretanto, os resultados indicam melhora no conforto térmico do ambiente quando o vidro insulado é utilizado, reduzindo a sensação de calor no verão e o desconforto térmico durante o período de ocupação, ainda que o ambiente seja condicionado artificialmente.
Palavras-chave: conforto térmico, vidros, simulação computacional.

## ABSTRACT
Office buildings with fully glazed façades is already consolidated as an international architecture model, even in Brazil. However, this pattern seems to be the most vulnerable to climate variations. Therefore, the fenestration design must be suitable to the local climate and the building's use, and its direct impact on energy consumption and occupant comfort should be assessed. The present study aims to evaluate if the use of insulated glass unit provides improvement in the thermal comfort of people who stay for long periods near windows in offices located in Florianópolis. Thermal comfort and mean radiant temperature data of an office-space model were verified using computer simulation on the EnergyPlus software. First, the oscillations in the results were verified by modeling the thermal zoning of the environment in different ways. Afterward, the use of an insulated glass unit was evaluated and compared to the use of monolithic gray and monolithic clear glasses. Previous research has shown that insulated glass does not present favorable thermal and energy performance for office buildings in Brazil, compared to a single-pane glass unit. However, in this paper, the results indicated improvement in the thermal comfort of the room with the use of insulated glass. Even though the office is artificially conditioned, thermal discomfort by heat on summer, and the thermal discomfort on the occupancy period has been reduced.
Keywords: thermal comfort, windows, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Edificações com fachadas totalmente revestidas por vidro já são um modelo de arquitetura corporativa internacionalmente consolidado. No Brasil esta situação não é diferente. A escolha por amplos planos de vidro é justificada pela permeabilidade com o espaço externo, possibilitando maior sensação de integração entre interior e exterior; pela maior admissão de iluminação natural; pela facilidade de instalação, limpeza e manutenção; e por sua estética. Os avanços tecnológicos na fabricação e composição de vidros, originando produtos com maior capacidade de controle solar, também são fator de incentivo ao se optar por amplas áreas de vidro nas fachadas. (TRAPANO; BASTOS, 2010; HUANG; NIU; CHUNG, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

Ulpiani (2017) atenta ao fato de que é observado um mesmo padrão arquitetônico dominado por fachadas envidraçadas apesar da grande variedade de climas presentes no mundo, sendo que este parece ser o modelo de maior vulnerabilidade a estas variações. O projeto de abertura deve ser adequado ao clima local e ao tipo de uso da edificação, pois tem impacto direto no consumo energético e no conforto dos ocupantes. Segundo a ASHRAE (2009), no momento de projeto, as aberturas devem ser definidas considerando "requisitos arquitetônicos, desempenho térmico, critérios econômicos e conforto humano".

Contudo, ainda que este visual proporcionado pelas fachadas envidraçadas seja desejável pelos usuários, devem ser avaliados os efeitos desta escolha no consumo energético de edificações e conforto visual e térmico dos usuários. Devido à transparência à radiação solar, os vidros são os elementos de envoltória que ocasionam maior ganho de calor e impacto no conforto dos ocupantes, principalmente nos que despendem longos períodos próximos às janelas. Cappelletti *et al*. (2014) enfatizam que a contribuição da radiação solar direta transmitida diretamente nos ocupantes não deve ser negligenciada.

As pesquisas que estudam a influência da variação de parâmetros relacionados às áreas transparentes da envoltória nos índices de conforto térmico dos ambientes internos, em geral, utilizam um método simplificado o qual considera uma temperatura operativa homogênea em todo ambiente (HIEN *et al*., 2005; STEGOU-SAGIA *et al*., 2007; BESEN; WESTPHAL, 2012; BURATTI *et al*., 2013; DUSSAULT; GOSSELIN, 2017). Com isto, a possibilidade de desconforto localizado em áreas próximas aos fechamentos externos, principalmente às janelas, é desprezada. Outro fato constatado é que, em geral, os modelos utilizados nestes estudos não aplicam os requisitos de modelagem para cálculo de desempenho de edificações, estabelecidos pela ASHRAE *Standard* 90.1 (ASHRAE, 2007). Neste documento, quando a edificação ainda não possui projeto de ar condicionado definido, é requerido que se configure as zonas térmicas separando o perímetro limítrofe à fachada, com largura de 4,57 metros (ou 15 pés). Ao atender a esta recomendação, os resultados demonstrariam maior precisão.

Como destacado por Zomorodian e Tahsildoost (2017) a temperatura radiante média (TRM) irá variar dependendo da localização no espaço, principalmente em relação à proximidade com superfícies externas, e até mesmo ao longo da fachada. Desta forma, os índices de conforto, PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied)*, também se alteram conforme estes fatores. Esta espacialidade não costuma ser abordada na avaliação de conforto térmico dos ambientes.

Em pesquisa realizada por Pinto (2017), para edifícios de escritórios com fachada envidraçada nos climas brasileiros, conclui-se que, no que concerne a desempenho térmico e economia com resfriamento do ar, de forma geral o vidro insulado não apresenta vantagem em relação ao uso de folhas simples laminadas. Esse estudo avaliou, por meio de simulação computacional no *software EnergyPlus*, o desempenho energético de um pavimento de escritórios de planta aberta com diferentes configurações na parcela transparente da envoltória. Na região sul do país, onde está localizada Florianópolis, os modelos que utilizaram o vidro insulado consumiram entre 2,1% e 11% mais energia elétrica para condicionamento térmico. Entretanto, o estudo não avaliou o conforto térmico nestes modelos.

O isolamento térmico do vidro insulado tende a diminuir a temperatura superficial interna do vidro e, consequentemente, a irradiação de calor, o que influencia na temperatura radiante média e, consequentemente na temperatura operativa e índices de PMV e PPD, mesmo sendo um ambiente artificialmente condicionado. Além disso, a proximidade do usuário com a fachada envidraçada pode ocasionar desconforto térmico localizado por assimetria de radiação. Isto pois, uma fachada envidraçada pode agir tanto como uma superfície fria, quando não esta recebendo radiação, ao mesmo tempo em que funciona como um irradiador de calor, quando aquecida. Além disso, o vidro permite a entrada e incidência direta de radiação solar. Portanto, neste caso, seria interessante avaliar a variação na sensação de conforto e possível desconforto localizado ao utilizar vidro insulado em vez do simples, apesar dos resultados de

desempenho energético. Isso principalmente focando nos ocupantes que permanecem próximo às áreas envidraçadas por períodos prolongados.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar possível melhoria que o uso de sistema de vidro insulado pode proporcionar no conforto térmico dos ocupantes, principalmente os que permanecem próximo à fachada envidraçada em ambientes de escritório localizados em Florianópolis (SC).

## 3. MÉTODO

A fim de atender aos objetivos deste estudo, realizaram-se simulações computacionais de desempenho térmico de uma sala de escritório, por meio do programa computacional *EnergyPlus*. Para tanto, são necessários arquivos climáticos de extensão *.epw (*Energy Plus Weather File*), os quais caracterizam as condições climatológicas de um ano base para os locais estudados, a partir de dados horários. O arquivo utilizado nesta pesquisa foi obtido na biblioteca de arquivos climáticos do próprio *software*.

### 3.1. Caracterização do clima

O estudo foi realizado para Florianópolis, cidade litorânea localizada na latitude 27ºS. Segundo classificação de Köppen-Geiger, sob indicador Cfa, o local possui clima temperado, com estações do ano bem definidas; sempre úmido, com ocorrência de precipitação durante todo ano; e de verão quente, com temperatura média no ar no mês mais quente acima de 22°C (AMAZONAS, 2012).

A Figura 1 mostra os dados estatísticos mensais sobre a temperatura do ar e a incidência média diária de radiação solar no plano horizontal e no plano oeste, que correspondente a fachada externa do modelo de estudo. Estes dados foram extraídos do arquivo climático disponível na biblioteca *online* do *EnergyPlus* (DOE, 2016). Mesmo possuindo estações do ano bem definidas, a temperatura média mensal mantém-se entre 15ºC e 25ºC.

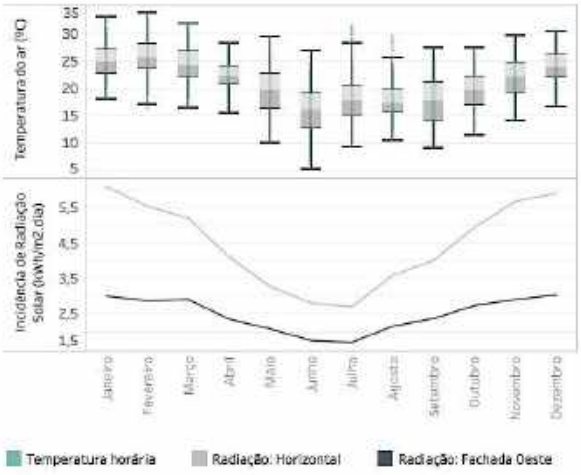


Figura 1 - Temperatura do ar e incidência de radiação solar na no plano horizontal e fachada oeste em Florianópolis.

### 3.2. Definição do modelo

Para este estudo, optou-se por analisar uma sala de escritório condicionada artificialmente com 5m de fachada, 10m de profundidade e pé-direito de 2,45m (distância do piso ao forro). Neste modelo, apenas uma das paredes possui contato com o exterior, a qual possui percentual de abertura de fachada de 60%. Considerou-se um pavimento intermediário, no décimo andar (30m de altura). Por essa razão, as paredes internas, a cobertura e o piso foram configurados como fechamentos adiabáticos, presumindo que os pavimentos e salas adjacentes possuem as mesmas condições térmicas. As áreas entre o forro e a laje, ou seja, o *plenum*, foram configuradas como zonas térmicas distintas.

As densidades de ocupação foram definidas conforme recomendado na norma brasileira ABNT NBR 16.401-1:2008 (ABNT, 2008a), para escritórios com alta carga interna. Configurou-se a densidade de carga de equipamentos em 21,5 W/m$^2$ e a densidade de potência de iluminação em 16,0 W/m$^2$. Considerou-se a ocupação do pavimento de uma pessoa por posto de trabalho, sendo a ocupação definida em 7,7 m$^2$ por pessoa. A taxa metabólica de cada ocupante foi estabelecida em 126 W por pessoa, de acordo com o anexo B da ISO 7730:2005 (ISO, 2005) para atividades sedentárias de escritório.

As rotinas de uso dos sistemas da edificação foram configuradas conforme Figura 2. A ocupação e a utilização dos sistemas são reduzidas entre 12 e 15 horas para o período de almoço. Durante o fim de semana não há ocupação. Determinou-se 5% da iluminação e equipamentos em funcionamento constante em

períodos sem ocupação. O acionamento da iluminação artificial foi configurado de forma estática, sem considerar a disponibilidade de iluminação natural.

O ambiente é condicionado artificialmente com sistema de condicionamento de ar de expansão direta do tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump),* equivalente ao uso de aparelho *split*. A Tabela 1 apresenta as características do sistema de condicionamento de ar. Este sistema deve operar das 7h às 21h, com dimensionamento da capacidade variando conforme dados de simulação. Nos fins de semana a edificação foi considerada desocupada e, portanto, sem funcionamento do sistema de condicionamento.

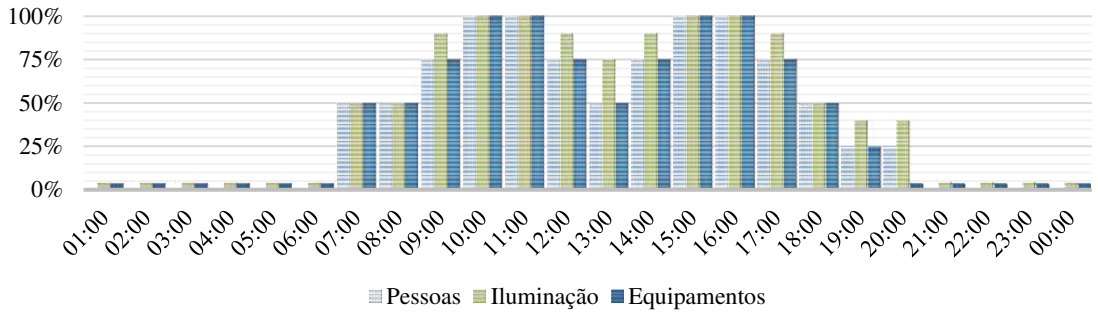


Figura 2 – Schedules de ocupação durante os dias de semana

A Tabela 2 apresenta os valores de transmitância térmica e absortância solar dos fechamentos opacos da envoltória. Optou-se por composições de materiais que atendessem aos pré-requisitos de envoltória para nível A em eficiência energética de edificações, definidos pelo regulamento brasileiro (INMETRO, 2013).

Tabela 1 – Sistema de condicionamento de ar

| | |
|---|---|
| **Sistema** | PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*) |
| **COP** | 3,0 W/W |
| **Termostato** | Aquecimento: 20°C<br>Resfriamento: 24°C |
| **Capacidade** | Definida pelo auto dimensionamento do *EnergyPlus* |
| **Renovação de ar** | 0,0075 m³/s por pessoa |
| **Taxa de infiltração** | 0,3 trocas de ar por hora |

Tabela 2 – Propriedade térmica dos elementos construtivos

| | Composição | Transmitância | Absortância |
|---|---|---|---|
| **Paredes Externas** | Placa Cimentícia (10mm) + Lã de Vidro (50mm) + Placa de gesso (12,5mm) | 0,77 W/m²K | α=0,297 |
| **Paredes Internas** | Placa de Gesso (15mm) + Lã de Vidro (50mm) + Placa de Gesso (15mm) | 0,69 W/m²K | α =0,297 |
| **Forro** | Placa de Gesso (15mm) | 1,40 W/m²K | α =0,297 |
| **Laje** | Piso Cerâmico (7.5mm) + Reboco (25mm) + Laje Concreto (200mm) + Reboco (25mm) | 2,74 W/m² | Piso: α=0,418 |

Estabeleceu-se que o modelo de edificação é completamente revestido de vidro. As composições de paredes externas de cada modelo são revestidas com o mesmo vidro externo utilizado nas janelas, como pode ser observado na Figura . Esta configuração foi incluída nos modelos de simulação no *EnergyPlus* como um material de isolamento transparente utilizando um objeto de entrada chamado "*SurfaceControl: MovableInsulation*", o qual fornece isolamento à perda de calor sem diminuir drasticamente a transmitância de energia solar.

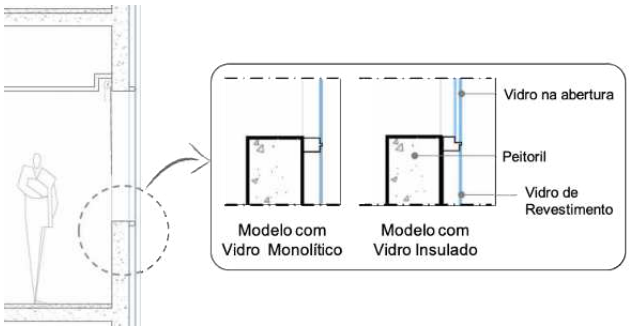


Figura 3 – Revestimento de vidro nas paredes externas.

Foram utilizadas persianas rolô em todas aberturas, com refletância média (50%) e baixa transmitância (10%). As cortinas foram configuradas com controle de sombreamento ativado quando a radiação solar incidente na fachada excede 250 W/m². Para a avaliação de possível contribuição do uso do vidro insulado no conforto térmico de ocupantes com permanência junto às janelas, variou-se o tipo de vidro. Optou-se por um vidro monolítico incolor, um vidro monolítico cinza e uma composição insulada, conforme Tabela 3.

## 3.3. Avaliação de Conforto Térmico

As normas ANSI/ASHRAE *Standard* 55 (ASHRAE, 2013) e a NBR 16401-2 (ABNT, 2008b) recomendam o modelo de conforto térmico de Fanger (FANGER, 1970) para determinar as condições térmicas aceitáveis em espaços ocupados condicionados artificialmente. Este modelo analisa o Voto Médio Predito (PMV, *Predicted Mean Vote*) e o Percentual Previsto de Insatisfeitos (PPD, *Predicted Percentage Dissatisfied*).

A partir de uma condição de conforto térmico ótima (neutralidade), o PMV define a sensação térmica no ambiente em uma escala de -3 (muito frio) a +3 (muito quente). Diretamente relacionado ao PMV, índice PPD indica o percentual de usuários insatisfeitos com as condições térmicas do ambiente. A NBR 16401-2 (ABNT, 2008b) define que o ambiente será termicamente aceitável quando o PPD for menor que 10% e o PMV estiver entre – 0,5 e + 0,5. Além destes dois índices, também se analisou isoladamente a temperatura radiante média (TRM), utilizada no cálculo do PMV.

Tanto fatores humanos, quanto ambientais influenciam na determinação das condições aceitáveis de conforto térmico de ambientes. A taxa metabólica de cada pessoa foi definida conforme ISO 7730:2005 (ISO, 2005) para atividade sedentária de escritório, sendo 126 W/pessoa. Considerou-se o mesmo isolamento de roupas para todos ocupantes: um traje típico em escritórios com isolamento total de 0,94 clo.

Tabela 3 – Propriedades ópticas e térmicas dos vidros

| | **Vidro Incolor** | **Vidro Cinza** | **Sistema Insulado** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Externo** | **Interno** | **Composição** |
| **Espessura (mm)** | 6,00 | 6,00 | 8,00 | 6,00 | 8,00 + 12,70 + 6,00 |
| **Transmissão solar** | 0,82 | 0,47 | 0,15 | 0,82 | 0,13 |
| **Rsol1** | 0,07 | 0,05 | 0,29 | 0,07 | 0,29 |
| **Rsol2** | 0,07 | 0,05 | 0,27 | 0,07 | 0,26 |
| **Tvis** | 0,89 | 0,43 | 0,17 | 0,89 | 0,15 |
| **Rvis1** | 0,08 | 0,05 | 0,34 | 0,08 | 0,34 |
| **Rvis2** | 0,08 | 0,05 | 0,27 | 0,08 | 0,30 |
| **Emissividade 1** | 0,89 | 0,84 | 0,84 | 0,89 | 0,84 |
| **Emissividade 2** | 0,89 | 0,84 | 0,84 | 0,89 | 0,89 |
| **Cond [W/m.K]** | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | - |
| **Processo** | Monolítico | Monolítico | Laminado | Monolítico | Laminado + ar + monolítico |
| **U [W/m²K]** | **5,70** | **5,79** | 5,63 | 5,70 | **2,75** |
| **Fator Solar** | **0,84** | **0,61** | 0,28 | 0,84 | **0,23** |

## 3.4. Análises

Uma limitação da ferramenta EnergyPlus é o fato de adotar uma temperatura homogênea em todo volume de ar da zona térmica. Com o objetivo de identificar a influência da distribuição homogênea na avaliação do conforto térmico relacionado à definição dos fechamentos transparentes, optou-se, então, por primeiramente verificar as alterações no conforto térmico do usuário alterando o padrão de zoneamento térmico do ambiente.

Quatro zoneamentos foram definidos a partir de módulos de 2,5m por 2,5m, conforme esquematizado na Figura 4. O primeiro zoneamento considera toda a área do ambiente como uma zona térmica única. No segundo, a sala é toda dividida nos menores módulos. Comparando os resultados do zoneamento 02 com o 03, é possível verificar se há diferença significativa nos índices de conforto com o aumento da profundidade do módulo para 5m. Ao comparar os resultados do zoneamento 02 com o 04, pode-se observar se há esta diferença ocorre ao se aumentar a largura de fachada do módulo.

As linhas tracejadas representam partições virtuais, sem paredes físicas entre as zonas térmicas, mantendo a configuração de planta aberta. Estas divisórias foram modeladas no EnergyPlus como um material "Infrared Transparent". Este funciona como um elemento transparente que permite a transmissão da radiação visível e solar, porém não participa com trocas convectivas e condutoras entre as zonas que separa.

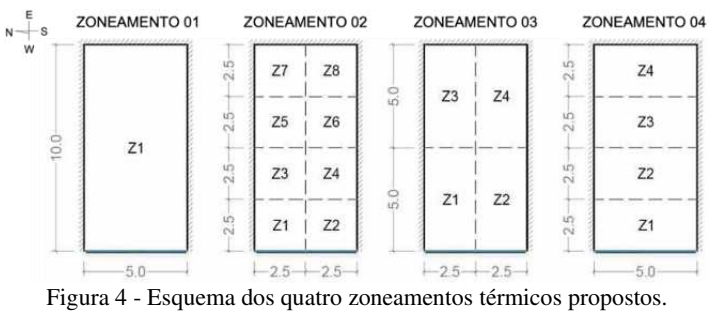

Figura 4 - Esquema dos quatro zoneamentos térmicos propostos.

A análise foi realizada considerando a zona térmica 1 (Z1) de cada zoneamento. Com estas variações, será possível identificar a influência da distribuição homogênea da temperatura no ar da sala na avaliação do conforto térmico relacionado a fechamentos transparentes.

Após, compararam-se os resultados de conforto térmico entre os tipos de vidro, tendo como objetivo verificar possível melhoria no conforto térmico de ocupantes, principalmente os localizados próximo às janelas, ao se aumentar o isolamento térmico das áreas transparentes. O zoneamento utilizado para esta análise foi definido com base nos resultados obtidos na verificação anterior.

Todas as análises foram realizadas para duas semanas representativas, uma de verão e outra de inverno. Utilizaram-se os períodos definidos no arquivo climático como extremos, sendo de 19 a 25 de fevereiro, para verão, e 2 a 8 de setembro, para inverno. Observaram-se os dados de PMV, PPD e TRM. Este recorte permite visualizar as variações nos índices de conforto térmico de forma mais detalhada do que observando resultados anuais. Pôde-se então observar a alteração nos resultados conforme variação no clima externo e também na ocupação do ambiente.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Comparação entre padrões de zoneamento

Os resultados obtidos nos modelos com vidro insulado são apresentados na Figura 5. Nesta, estão dispostos os dados de PMV, PPD e TRM, para os períodos de verão e inverno, comparando-se o tipo de zoneamento. Nos gráficos também se expõe a radiação incidente na janela e os limites de conforto.

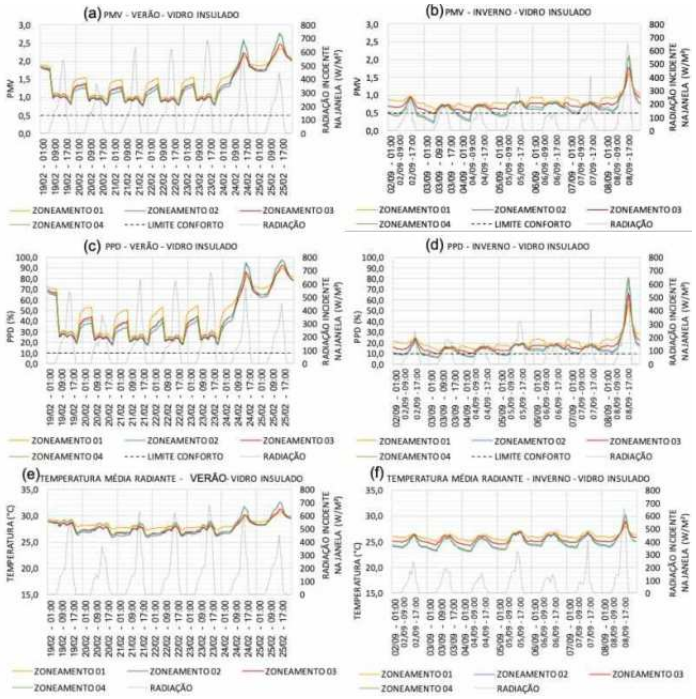


Figura 5 – Avaliação de conforto térmico com vidro insulado comparando os resultados entre formas de zoneamentos: (a) PMV no verão; (b) PMV no inverno; (c) PPD no verão; (d) PPD no inverno; (e) TRM no verão; e (f) TRM no inverno.

Nota-se que durante período em que o sistema de condicionamento estava ativo, os resultados entre os diferentes zoneamentos foram semelhantes. As diferenças tendem a aumentar durante a noite quando o ar condicionado é desligado. Neste intervalo, o modelo com zoneamento 01 apresenta maior desconforto e maior sensação de calor. Este modelo tende a ter maior diferença comparado ao zoneamento 02, sendo de até 0,4 no PMV; 17 p.p. (pontos percentuais) no PPD e 2,1ºC na TRM. No período de inverno, os resultados do modelo com zoneamento 03 tendem a se aproximar do zoneamento 01, porém ainda com diferença visível.

Nos fins de semana, quando ocorre o maior período ininterrupto sem condicionamento térmico, este quadro se inverte. Principalmente nos intervalos de ganho de calor por radiação solar, os modelos com zoneamento 02 e 04 apresentam maior percentual de desconforto e sensação de calor. Devido ao maior ganho térmico sem o acionamento do sistema de condicionamento, os modelos de menor profundidade, ou seja, que demonstram maior influência da fachada externa, possuem maior dificuldade em dissipar o calor interno. O fato de os modelos possuírem fechamentos transparentes com vidro insulado amplificam esta situação.

O modelo com zoneamento 02 apresentou maior variação em relação ao zoneamento que considera toda área da sala. Frisa-se que houve pouca diferença nos dados de conforto entre os modelos com zoneamento 02 e 04, indicando que a influência da fachada é proporcional à profundidade da zona.

Todos padrões discorridos se mostram semelhantes entre PMV, PPD e TRM, visto que estes indicadores estão correlacionados. Em termos gerais, o zoneamento 01 obteve resultados de maior sensação de calor e consequentemente maior percentual de pessoas em desconforto, bem como maior temperatura radiante média. Este modelo considera toda a sala como uma zona térmica única e o ponto de avaliação do conforto térmico é um ocupante localizado no centro do ambiente, a cinco metros de distância da fachada envidraçada.

Com base nos resultados obtidos nas comparações entre os zoneamentos, percebe-se que ao diminuir a distância entre o limite da zona e a janela, maior é a influência das trocas de calor através do vidro. Por ele, as transmissões de calor são mais intensas, seja no ganho de calor ou na sua dissipação para o ambiente externo.

Entretanto, considerando-se apenas o período de ocupação, o qual é de maior importância na análise do conforto térmico do usuário, os zoneamentos não apresentam diferenças significativas nos indicies de PMV, PPD e TRM. Neste período o sistema de condicionamento de ar está ativado, mantendo a temperatura interna do ar em um intervalo de conforto. Visto que a temperatura radiante média é calculada a partir de um ponto médio da zona térmica e também não inclui a radiação solar direta (que atravessa o vidro e incide diretamente no ocupante), o modelo não considera possível desconforto térmico localizado por assimetria radiante.

## 4.2. Comparação entre tipos de vidro

Para todos os modelos, o ambiente, ou a região próxima a fachada envidraçada, indicou desconforto térmico por calor em todo intervalo, mesmo nos períodos em que se encontrava com o condicionamento de ar acionado. Isto ocorre em decorrência do aumento na TRM, principalmente, devido à alta incidência de radiação solar direta pela fachada envidraçada. Foram considerados para esta análise os dois modelos de zoneamento que apresentaram maior discrepância nos resultados da avaliação anterior.

Os gráficos apresentados na Figura 6 expressam os resultados de conforto térmico (PMV, PPD e TRM) para o modelo com Zoneamento 01.

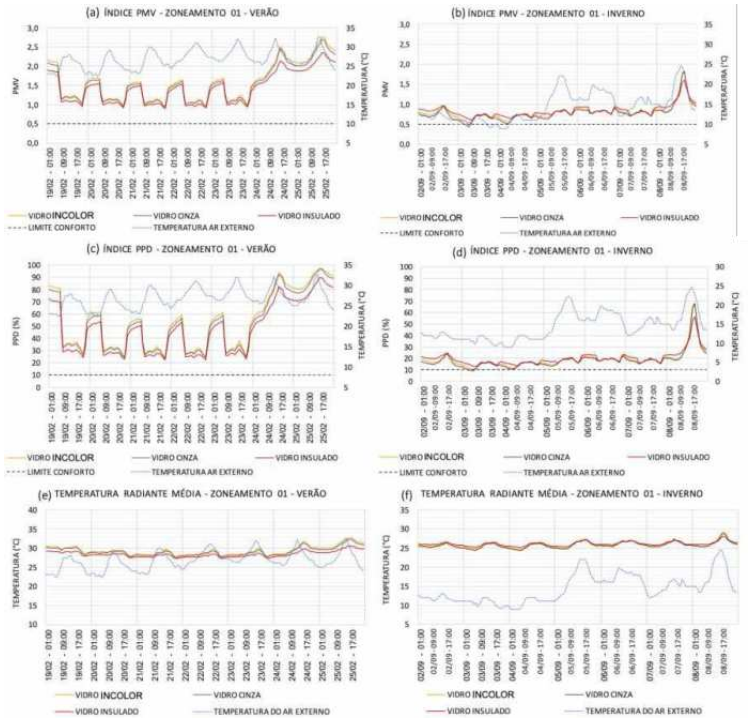


Figura 6 – Avaliação de conforto térmico comparando os tipos de vidro – Zoneamento 01: (a) PMV no verão; (b) PMV no inverno; (c) PPD no verão; (d) PPD no inverno; (e) TRM no verão; e (f) TRM no inverno.

Estes resultados demonstram sensação de calor, entre levemente quente e quente, por todo período de verão independente do tipo de vidro. Nota-se que esta sensação diminui com uso do vidro insulado, comparado aos demais vidro. A maior variação ocorre entre o uso do vidro insulado e do incolor, com diminuição no PMV de até 0,25 em dias úteis (12%) e 0,42 durante o fim de semana (15%). Na TRM esta margem foi de 1,4ºC e 2,2ºC, respectivamente. Em relação ao PPD, esta divergência chega a 12,5 p.p. Durante todo período, o percentual de desconforto permanece acima de 20%, chegando a 100% no período

de fim de semana. Considerando apenas o período ocupado, o PPD máximo com o vidro insulado foi 45%, enquanto o PPD alcançou a 52% e 50% com os vidros incolor e cinza, nesta ordem.

Mesmo no período de inverno o ambiente mantém-se em desconforto por calor, porém com menor intensidade. Neste intervalo, diferentemente do verão, o uso do vidro insulado provocou maior sensação de calor durante os dias em que houve ocupação, e o vidro cinza, menor. Entretanto, a divergência entre os tipos de vidro foi menor, sendo no máximo 0,20 no PMV, 5 p.p. no PPD e 0,9ºC na TRM. No fim de semana essa relação se inverte. Entende-se que esta inversão ocorreu pois, enquanto no início da semana a temperatura do ar esteve entre 8ºC e 13ºC, a temperatura no fim de semana atingiu a 25ºC. Nesta situação, somada ao não acionamento do sistema de condicionamento, há diminuição da transmissão do calor externo para o interior e, consequentemente, na transmissão por radiação e convecção para o interior da sala.

A Figura 7 apresenta os resultados de conforto térmico para o modelo com Zoneamento 02. Os dados seguem os mesmos padrões observados para o zoneamento 01. Na semana de verão, a sensação térmica variou de levemente quente a muito quente. Neste período, a margem no PMV entre os modelos com vidro insulado e com vidro incolor atingiu 0,4 (19%) nos dias de ocupação e 1,0 (30%) no fim de semana. No que se refere a TRM, esta variação foi de 2,4ºC e 5,0ºC, respectivamente; e 17p.p. e 25p.p. no PPD.

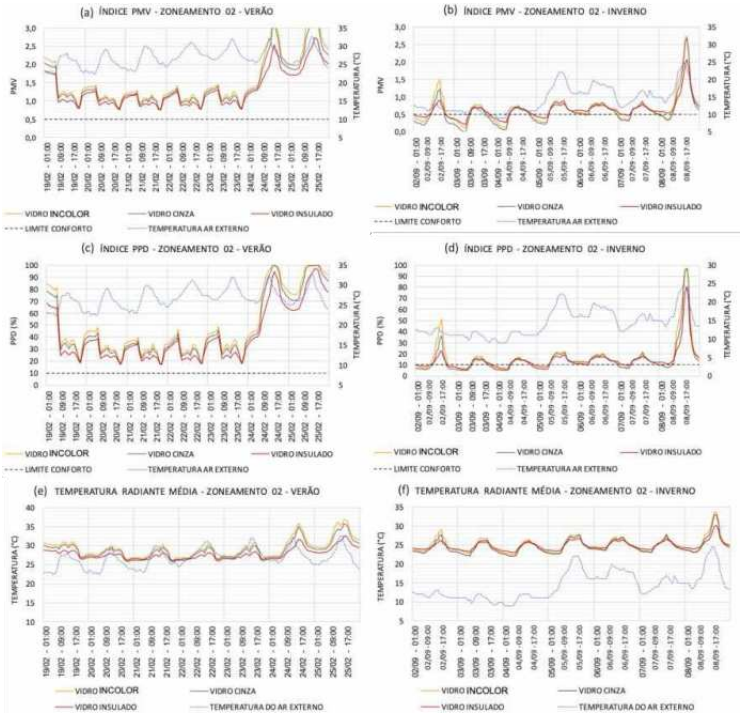


Figura 7– Avaliação de conforto térmico comparando os tipos de vidro – Zoneamento 02: (a) PMV no verão; (b) PMV no inverno; (c) PPD no verão; (d) PPD no inverno; (e) TRM no verão; e (f) TRM no inverno.

Foram registrados momentos em conforto na semana de inverno, contudo as ocorrências foram, em geral, fora do período de ocupação. Neste período, a sensação de térmica atingiu diferença máxima de 0,6, e 3,8ºC na TRM, entre os modelos com vidro insulado e vidro incolor. Esta variação nos dados de desconforto térmico foi menor do que entre os modelos com Zoneamento 01. Durante esta semana a diferença no PPD entre os tipos de vidro se manteve menor do que 4p.p., todavia houve um pico mais acentuado no primeiro dia, em que esta variação alcança 28p.p.

Confrontando os resultados entre os modelos com Zoneamento 01 e Zoneamento 02, percebe-se que, ao criar uma divisão mais próxima à fachada externa, aumenta-se a sensibilidade nos resultados de conforto térmico às variações climáticas e ao uso da edificação, ou seja, ocupação e acionamento do ar condicionado. As diferenças nos resultados entre estes zoneamentos, comparando os tipos de vidro, foram intensificadas quando o ambiente estava desocupado e semelhantes quando ocupado e o ar condicionado acionado.

## 5. CONCLUSÕES

Com o objetivo de identificar a influência da distribuição homogênea da temperatura no ar da sala, como é calculado no *EnergyPlus*, na avaliação do conforto térmico relacionado à definição dos fechamentos transparentes, testaram-se quatro zoneamentos térmicos para este mesmo ambiente. Quando o PMV é

analisado considerando um ponto central e temperatura homogênea em todo ambiente, a sensação de calor e a temperatura radiante média tendem a ser maiores, bem como o percentual de pessoas em desconforto.

Percebeu-se que, ao criar uma divisão com zonas térmicas mais próximas a fachada externa, a sensibilidade às variações climáticas e ao uso da edificação é intensificada. Sugerindo, então, maior influência do vidro nos resultados de conforto térmico, devido ao fato de as trocas de calor por este material serem mais intensas do que através das composições opacas, tanto no ganho de calor ou na dissipação para o meio externo.

Nos períodos ocupados, com o sistema de condicionamento funcionando, as análises entre os diferentes zoneamentos demonstram níveis de conforto térmico similares. Este comportamento ocorre, pois, mesmo diminuindo a profundidade da zona térmica, a temperatura radiante média tende a igualar-se entre os modelos quando o ar condicionado está acionado, visto que o modelo de conforto PMV/PPD não considera a influência da radiação solar direta nos cálculos.

Ao se comparar os índices de conforto térmico calculados para os modelos com os diferentes tipos de vidro, os resultados indicaram desconforto térmico por calor em todas as análises, mesmo nos períodos em que o condicionamento de ar estava acionado. Esta condição ocorre principalmente no verão, mas também no inverno, com temperatura externa abaixo de 15ºC.

Nos períodos com temperaturas externas acima da temperatura de resfriamento (24ºC), o vidro insulado proporciona menor sensação de calor em relação aos vidros incolor e cinza, com redução de até 19% na sensação de calor em dias úteis. Considerando os intervalos com ocupação, o uso do vidro insulado diminuiu em até 7 p.p. o percentual de ocupantes em desconforto durante o verão, ao passo que no inverno, o seu maior isolamento conserva mais o calor no interior da sala. As diferenças nos resultados entre os tipos de vidro foram intensificadas quando o ambiente estava desocupado e significativamente atenuadas quando ocupado e o sistema de condicionamento acionado.

Trabalhos anteriores demonstraram que o vidro insulado não apresenta desempenho térmico e energético favorável, comparado a vidros sem isolamento, para edifícios de escritórios no Brasil. Entretanto, observando-se pela perspectiva do conforto do usuário, os resultados desta pesquisa demonstram que o uso do vidro insulado melhora o conforto térmico dos ocupantes, ainda que o ambiente seja condicionado artificialmente. Mesmo com as limitações que o *software* utilizado apresenta, foi possível verificar diminuição no desconforto térmico, causado pela grande permeabilidade e admissão de radiação solar provocada pelas fachadas envidraçadas. Trabalhos futuros que considerem o desconforto térmico por assimetria radiante oriunda não apenas da radiação direta que incide no ocupante, mas também da temperatura superficial do viro, poderiam elucidar ainda melhor a capacidade de o vidro insulado diminuir o desconforto térmico próximo a grandes áreas de vidro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AMAZONAS. Secretaria de Infraestrutura do Estado do Amazonas. SEINFRA. **Estudo Prévio de Impacto Ambiental:** Diagnóstico Ambiental. Manaus, 2012. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/2 Diagnostico Ambiental - Meio Físico - Cap 6 Atualizado 2.pdf>. Acesso em: 24 maio 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE/IESNA STANDARD 90.1**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA: ASHRAE, 2007. 188p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **HANDBOOK - FUNDAMENTALS**: Chapter 15 - Fenestration. Atlanta: ANSI/ASHRAE, 2009. 62p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE STANDARD 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, GA: ASHRAE, 2013. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401-1**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401-2**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b. 7 p.

BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Uso de vidro duplo e vidro laminado no brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora, MG. **Anais.** Juiz de Fora, MG: ANTAC, 2012. p.2820 - 2826.

BURATTI, C. et al. Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings. **Building and Environment**, [s.l.], v. 59, p.482-491, 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.015.

CAPPELLETTI, Francesca et al. Passive performance of glazed components in heating and cooling of an open-space office under controlled indoor thermal comfort. **Building and Environment**, [s.l.], v. 72, p.131-144, fev. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.022.

DUSSAULT, Jean-michel; GOSSELIN, Louis. Office buildings with electrochromic windows: A sensitivity analysis of design parameters on energy performance, and thermal and visual comfort. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 153, p.50-62, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.046.

FANGER, P. O. Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineerings. Michigan: Mcgraw-hill, 1970. 244 p.

HIEN, Wong Nyuk et al. Effects of double glazed facade on energy consumption, thermal comfort and condensation for a typical office building in Singapore. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 37, n. 6, p.563-572, jun. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.004.

HUANG, Yu; NIU, Jian-lei; CHUNG, Tse-ming. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. **Applied Energy**, [s.l.], v.134, p.215-228, dez.2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.100.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**: RTQ-C. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 3ed. Suíça: ISO, 2005. 52p.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Florianópolis: Eletrobras/procel, 2014. 366 p.

PINTO, Mônica Martins. **Desempenho energético de edifícios de escritórios com vidros insulados em climas brasileiros.** 2017. 237 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/185508>.

STEGOU-SAGIA, A. et al. The impact of glazing on energy consumption and comfort. **Energy Conversion and Management**, [s.l.], v.48, n.11, p.2844-2852, nov.2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2007.07.005.

TRAPANO, Patrizia di; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves. Forma e Qualidade Ambiental: Uma Discussão Sobre O Uso Do Vidro Em Obras Da Arquitetura Contemporânea Brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13. 2010, Canela, Rs. **Anais**. Canela, Rs: Antac, 2010.

ULPIANI, Giulia. Overheating phenomena induced by fully-glazed facades: Investigation of a sick building in Italy and assessment of the benefits achieved via fuzzy control of the AC system. **Solar Energy**, [s.l.], v. 158, p.572-594, dez. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.024.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Engineering Reference**. Estados Unidos da América. DOE, 2016. Disponível em: <https://energyplus.net/documentation>. Acesso em: 27 set. 2016.

ZOMORODIAN, Zahra S.; TAHSILDOOST, Mohammad. Assessment of window performance in classrooms by long term spatial comfort metrics. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 134, p.80-93, jan. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.018.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.