

DESEMPENHO TÉRMICO DO USO DE VIDROS INSULADOS EM ESCRITÓRIOS CONDICIONADOS ARTIFICIALMENTE: CURITIBA (PR) E BOA VISTA (RR).

Mônica Martins Pinto (1); Fernando Simon Westphal (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do 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, fswfernando@gmail.com, LabCon -
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Difundido como uma ferramenta de melhoria no desempenho e conforto térmico em edificações, o vidro insulado, que é amplamente utilizado na Europa e América do Norte, vem sendo introduzido no mercado brasileiro sem considerar, entretanto, o clima local. Este estudo tem como objetivo analisar o desempenho térmico do vidro insulado em edifícios de escritórios de planta aberta e alta densidade de ocupação. Para tanto, realizaram-se simulações computacionais de desempenho termo-energético de um pavimento de escritórios hipotético utilizando o *software EnergyPlus*. Comparou-se o uso de vidros laminados com a sua composição de vidro insulada, para duas cidades brasileiras de climas distintos: Curitiba e Boa Vista. Além do tipo de vidro, variou-se seu fator solar e o percentual de abertura da envoltória. Nos resultados obtidos, em Curitiba os modelos com vidro insulado obtiveram maior consumo para resfriamento comparado aos modelos com vidro laminado de mesmo fator solar e percentual de abertura da fachada. O oposto ocorreu em Boa Vista, onde os modelos com vidro insulado mostraram consumos menores. A partir da amostra observada, entende-se que o aumento da resistência térmica devido à câmara de ar nos vidros insulados será ou não benéfico à edificação dependendo da relação entre as temperaturas externas do ar e a temperatura de *setpoint* mantida internamente pelo sistema de condicionamento de ar.

Palavras-chave: Vidro insulado, Eficiência energética, Simulação computacional.

ABSTRACT

Insulated glass is known worldwide as a tool for improving buildings' thermal performance and comfort. Being extensively used in Europe and North America this material has been introduced in the Brazilian market without proper appreciation of the local climate. This study aims at analyzing the thermal performance of insulated glass in office buildings with open-plans and high occupancy density. The analysis was developed based on computational thermo-energy performance simulations of a hypothetical office floor, using the software *EnergyPlus*. The use of laminated glass was compared to the use of insulated glass composition for two Brazilian cities with distinct climates: Curitiba and Boa Vista. In addition to the type of glass, both its solar factors and the window-to-wall ratios were varied. In the results obtained, the Curitiba models with insulated glass achieved a higher power consumption for air cooling than models with laminated glass with the same solar factor and percentage of opening of the facade. The opposite occurred in Boa Vista, where the models with insulated glass showed lower power consumption. From the observed sample, the conclusion is that the increase of thermal resistance due to the air chamber, within the insulated glass, will be beneficial to the building depending on relation between the external air temperature and the setpoint temperature maintained internally by the air conditioning system.

Keywords: Insulated glass, Energy efficiency, Computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra em um quadro de alto consumo de energia elétrica, o qual permanece em crescimento e com custos cada vez mais elevados. Nos últimos cinco anos, o PIB (produto interno bruto) brasileiro cresceu 14,4%, enquanto o consumo energético total apresentou um aumento de 17,6%. Em 2015, os edifícios foram responsáveis por 43% do consumo total da energia elétrica gerada no país, sendo 14,8% referentes ao setor comercial, como escritórios, centros de compras, escolas, entre outros (MME, 2016). Quando se analisa o uso final da energia elétrica em edificações comerciais, estudos indicam que o condicionamento de ar representa de 35 a 70% do consumo total edificação (LI; LAM, 2000; CARVALHO; ROVERE; GONÇALVES, 2010; BESEN; WESTPHAL, 2014).

Os ganhos de calor de uma edificação são compostos por fontes internas e externas. As cargas internas provêm principalmente da ocupação, do sistema de iluminação e dos equipamentos elétricos. Os ganhos térmicos externos da edificação advêm, em grande parte, das trocas térmicas por condução e da radiação solar que incide na sua envoltória. Esta deve atuar como um filtro moderador – de luz, calor, ar e umidade – entre o espaço interno e o meio externo, tornando-a um fator determinante na manutenção da qualidade ambiental interna e na maximização da eficiência energética da edificação, independente das variações nas condições externas.

Quando se fala na transmissão de calor através da envoltória, enfatiza-se a preocupação com os vidros, pois nestes as trocas são mais diretas e intensas devido à sua transparência à radiação solar e elevada transmitância térmica. Segundo Lee et al. (2013), a transmitância das janelas costuma ser cinco vezes maior que outros componentes do envelope da edificação, devido a este fato, cerca de 20 a 40% da energia total do edifício é desperdiçada através das janelas. Portanto, o vidro deve ser adequado ao clima local e ao tipo de edificação, visto que impacta diretamente no seu consumo energético. A escolha do vidro no projeto arquitetônico pode ser caracterizada como uma estratégia passiva, quando pensada para amenizar o efeito da radiação solar. Singh e Garg (2009) destacam a relação do clima com a economia de energia, visto que uma mesma janela não funcionará de maneira idêntica em um clima que necessita aquecimento e em outro clima que necessita resfriamento, por exemplo. O que é benefício para um, pode se transformar em perda para outro.

Atualmente, nota-se uma tentativa de importar para o Brasil tecnologias construtivas empregadas em outros países, sem considerar, entretanto, o clima local. Os vidros insulados são um exemplo desta situação. Este tipo de composição consiste em duas ou mais lâminas de vidro posicionadas paralelamente com uma câmara de gás de baixa condutividade térmica (como ar, argônio, xenônio e criptônio) entre elas. O principal objetivo desta composição é o isolamento térmico proporcionado pela camada de gás. Este bloqueio atua tanto no fluxo exterior-interior, dificultando a entrada de calor por diferença de temperatura, como no fluxo interior-exterior, dificultando a dissipação de carga interna gerada por pessoas, iluminação e equipamentos (HUANG; NIU; CHUNG, 2014). Devido a este isolamento proporcionado pela câmara de gás, as composições de vidro insuladas são comumente empregadas em edificações na Europa e na América do Norte, onde há invernos rigorosos, com o objetivo promover maior eficiência energética e conforto térmico no interior das edificações. Besen e Westphal (2012) alertam que este tipo de vidro é apropriado para climas extremos e que são necessários mais estudos que avaliem o seu desempenho em climas brasileiros.

Frequentemente encontram-se pesquisas, principalmente europeias, que já pressupõem que os vidros insulados são uma ferramenta de otimização da eficiência energética de edificações, comerciais e residenciais. Este fato é notável ao se perceber que pesquisas realizadas nestas áreas, comparando o desempenho de diferentes tipos de vidros, tendem a contrapor apenas diferentes configurações de vidros insulados (duplos e triplos) como em Stegou-Sagia et al. (2007), que considera climas gregos (Atenas e Tessalônica); Poirazis, Blomsterberg e Wall (2008), para o clima de Gotemburgo (Suécia); Jaber e Ajib (2011), para os climas de Amã, Aqaba (Jordânia) e Berlim (Alemanha); Ochoa et al. (2012), para o clima de Amsterdã (Holanda); Lee et al. (2013), para os climas asiáticos; e Atzeri et al. (2016), para o clima de Roma (Itália).

Os gregos Tsagarakis, Karyotakis e Zografakis (2012) já apresentam o uso de vidros duplos como uma medida de economia de energia que contribui para consumo energético eficiente e para as condições de conforto térmico e acústico no ambiente interno de edifícios de escritórios. Enfatizam que o emprego de vidros duplos é obrigatório na Grécia desde 1979, ano em que entrou em vigência a Regulamentação de Isolamento Térmico de Edifícios, satisfazendo requisitos da normatização da União Europeia.

Entretanto, no geral, essas localidades encontram-se em altas latitudes, acima dos trópicos, entre as latitudes 25° e 70°, enquanto grande parte do Brasil está localizado quase em sua totalidade na região intertropical, entre latitudes entre -33° e 5°. Pinto e Westphal (2016) realizaram um estudo sobre a viabilidade do uso de vidros insulados para o clima brasileiro em escritórios. A pesquisa se focou em duas cidades de clima temperado: Porto Alegre e Florianópolis. Constatou-se que, para estes climas, o isolamento térmico

proporcionado pela câmara de ar impede a dissipação das cargas internas geradas na edificação, aumentando o consumo com condicionamento de ar.

Neste contexto, questiona-se a possibilidade de o isolamento térmico gerado pela utilização de vidros insulados também ser uma ferramenta de melhoria no desempenho térmico das edificações de escritórios para os diferentes climas encontrados no Brasil.

Para tanto, realizou-se um estudo que analisa o desempenho térmico de um pavimento típico de edifícios de escritórios de planta aberta, com alta densidade de ocupação. Este será executado comparando a utilização do vidro laminado e sua composição insulada, variando o fator solar do vidro laminado e o percentual de abertura da fachada. As previsões de consumo de energia elétrica foram obtidas por simulação computacional de desempenho de edificações, utilizando o *software EnergyPlus*.

Neste estudo foram analisadas duas cidades brasileiras de climas bastante distintos. Selecionaram-se Curitiba, devido às suas temperaturas mais baixas e maior variação de incidência de radiação solar ao longo do ano, comparado a outras capitais brasileira, e Boa Vista, por possuir temperatura média anual entre as mais altas e maior constância na intensidade de radiação solar incidente.

2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo analisar o desempenho térmico de escritórios de planta aberta, com alta densidade de ocupação, comparando o uso de vidros laminados com a sua composição de vidro insulada, para duas cidades brasileiras de climas distintos.

3. MÉTODO

Com o propósito de atender ao objetivo proposto, obtiveram-se dados de consumo energético de um pavimento escritórios de planta aberta, com alta densidade de ocupação, por meio de simulação computacional de desempenho de edificações utilizando o *software EnergyPlus*. Esta pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas: (1) seleção as cidades a serem estudadas; (2) caracterização do modelo de edificação base; (3) especificação dos parâmetros variáveis; (4) simulação computacional; e (5) análise dos resultados.

3.1. Seleção dos Climas

A radiação solar incidente na fachada das edificações e a diferença entre a temperatura do ar interno e externo são os principais fatores climáticos que influenciam no desempenho de um vidro. Desta forma, selecionaram-se duas cidades brasileiras de climas distintos dentre as capitais, tendo como critérios a disponibilidade média anual de radiação solar global horizontal, a variabilidade desta radiação solar entre as estações do ano e a temperatura média anual do ar.

Os dados de radiação solar média foram obtidos por meio de observação dos mapas solarimétricos brasileiros disponíveis no Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006). Observaram-se o mapa Radiação Solar Global Horizontal Média Anual e os quatro mapas de Radiação Solar Global Média Sazonal. Estes mapas indicam intervalos de radiação média no território brasileiro. Para obter as temperaturas médias anuais, utilizaram-se os dados de temperatura do ar externo provenientes dos arquivos climáticos das cidades.

A partir destes dados selecionaram-se para este estudo as cidades Curitiba, no Paraná, e Boa Vista, em Roraima. Enquanto Curitiba possui radiação solar global horizontal média anual dentre as mais baixas das capitais brasileiras, entre 4,55 e 4,90 kWh/m², a de Boa Vista está entre as mais elevadas, entre 5,25 e 5,60 kWh/m². Além disso, como se pode observar na Tabela 1, a radiação média sazonal de Curitiba varia entre 3,15 e 5,95 kWh/m² ao passo que esta oscilação é significativamente menor em Boa Vista, entre 4,90 e 5,95 kWh/m². Quanto à temperatura do ar, Curitiba possui a menor média anual dentre as capitais e Boa Vista, uma das maiores.

Tabela 1 – Dados de Radiação Solar Global Horizontal e Temperatura Média Anual do Ar: Curitiba e Boa Vista.

UF	Cidade	Radiação Média Anual [kWh/m ²]	Rad. Média Sazonal [kWh/m ²]				Temperatura do Ar:
			Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Média Anual
PR	Curitiba	4,55 - 4,90	5,60 - 5,95	3,85 - 4,20	3,15 - 3,50	4,90 - 5,25	17,19
RR	Boa Vista	5,25 - 5,60	5,25 - 5,60	4,90 - 5,25	4,90 - 5,25	5,60 - 5,95	27,02

3.2. Modelagem da Edificação

3.2.1. Geometria

No estudo analisou-se um pavimento tipo de um edifício de escritórios hipotético, de planta aberta. Utilizou-se como base o modelo de pavimento de escritórios de Lam e Hui (1995), o qual se caracteriza por sua planta quadrada com divisões internas simplificadas.

O pavimento foi dividido em nove zonas térmicas, sendo quatro zonas periféricas, quatro zonas internas e uma zona central (core). Definiram-se as zonas periféricas limítrofes à parede externa com largura de 4,57 metros de acordo com recomendações dos requisitos de modelagem para cálculo de desempenho de edificações, na ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2007). Esta configuração possibilita análises relacionadas à orientação solar e às áreas mais próximas às janelas, regiões que sofrem maior influência na variação nas aberturas. A Figura 1 apresenta uma planta esquemática do pavimento e suas dimensões. Também retrata o seu zoneamento térmico. Consideraram-se as linhas tracejadas como 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*”, o qual 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.

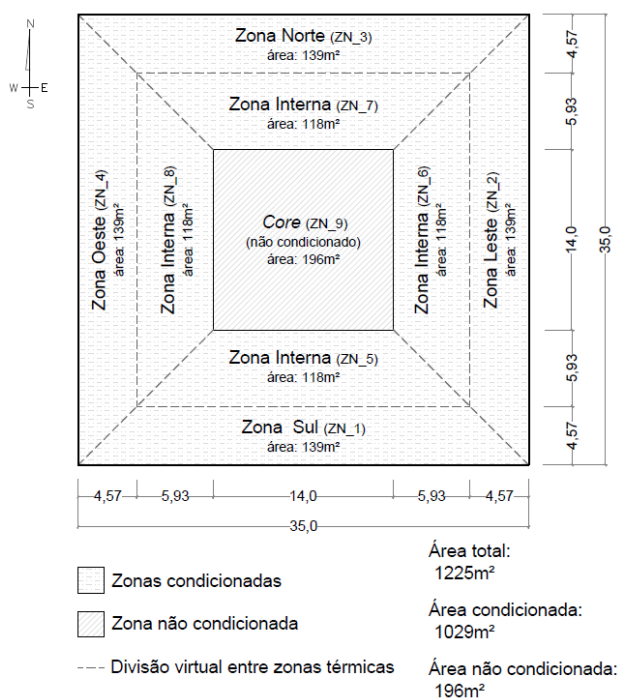


Figura 1 – Planta esquemática do pavimento tipo, considerando o condicionamento de ar, dimensões e divisão das zonas térmicas (unidade: m). Linhas tracejadas representam partições virtuais. Fonte: Baseado em Lam e Hui, 1995. Imagem elaborada pela autora.

3.2.2. Ganhos internos

A ocupação, densidade de carga de equipamentos e a potência de iluminação foram definidas conforme recomendado na ABNT NBR 16.401-1:2008 (ABNT, 2008), considerando escritórios com alta carga interna. Considerou-se a ocupação do pavimento de uma pessoa por posto de trabalho. A taxa metabólica de cada ocupante foi estabelecida de acordo com o anexo B da ISO 7730:2005 (ISO, 2005). A Tabela 2 apresenta as densidades de carga interna utilizadas.

Tabela 2 – Tabela resumo: densidade de ocupação.

Densidade	Ocupação	Equipamentos	Iluminação	Taxa Metabólica
Alta	7,7 m ² /pessoa	21,5 W/m ²	16,0 W/m ²	126W/pessoa

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 considerando o período de almoço. Não se considerou ocupação durante o fim de semana. 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.

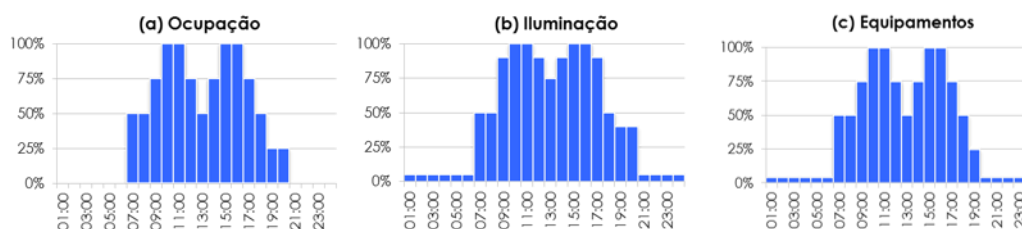


Figura 2 - Schedules para os dias de semana: (a) Ocupação; (b) Iluminação; (c) Equipamentos.

3.2.3. Materiais

Elegeram-se materiais que atendem aos pré-requisitos de envoltória para nível A em eficiência definidos pelo RTQ-C (INMETRO, 2013b) para as duas cidades estudadas, concomitantemente. Este documento apresenta diferentes limites de transmitância (U), capacidade térmica (CT) e absorvância (α) para as zonas bioclimáticas. A Tabela 3 apresenta as especificações dos materiais selecionados. As paredes internas e externas são revestidas por pintura na cor branco gelo. No piso, considerou-se a cor mel. Para definir o valor de absorvância utilizou-se o Anexo Geral V, do RAC. (INMETRO, 2013a)

Tabela 3 - Elementos Construtivos

	Composição	Transmitância [U]	Capacidade Térmica [CT]	Absorvâncias [α]
Paredes Externas	Placa de gesso (12,5mm) + Lã de rocha (90mm) + Placa cimentícia (10mm)	0,90 W/m ² K	29 kJ/m ² K	Interna: $\alpha = 0,297$ Externa: $\alpha = 0,297$
Paredes Internas	Placa de Gesso (15mm) + Lã de Vidro (50mm) + Placa de Gesso (15mm)	0,69 W/m ² K	-	$\alpha = 0,297$
Laje (Piso e Teto)	Reboco (25mm) + Laje Concreto (200mm) + Reboco (25mm) + Piso Cerâmico (7.5mm)	2,74 W/m ² K	-	Reboco: $\alpha = 0,297$ Piso: $\alpha = 0,418$

Em todas aberturas utilizaram-se persianas do tipo rolo com refletância média e baixa transmitância. As cortinas foram configuradas com controle de sombreamento que é ativado quando a radiação solar difusa exceder ao *setpoint* definido, arbitrariamente, em 250 W/m².

Considerou-se um pavimento intermediário, no décimo andar (30 metros de altura). Desta forma, a cobertura e o piso foram configurados como fechamentos adiabáticos. No modelo computacional, para as divisões entre as zonas térmicas foram utilizadas divisórias virtuais. Para a delimitação do *core* utilizou-se a configuração de paredes internas.

3.2.4. Sistema de Condicionamento de Ar

O pavimento é condicionado artificialmente com sistema de condicionamento de ar de expansão direta do tipo PTHP (Packaged Terminal Heat Pump), equivalente ao uso de aparelhos splits, com exceção do core, que não é climatizado. A Tabela 4 apresenta as características do sistema de condicionamento de ar utilizado.

O sistema deve operar das sete horas até as 21 horas, 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.

Tabela 4 - Características do Sistema de Condicionamento de Ar

Tipo	PTHP (<i>Packaged Terminal Heat Pump</i>).
COP	3,0 W/W
Capacidade	Definida pelo auto dimensionamento do <i>EnergyPlus</i> .
Renovação de ar	0,0075 m ³ /s por pessoa
Setpoints	Aquecimento: 20°C Resfriamento: 24°C
Taxa de infiltração	0,3 trocas de ar por hora

3.3. Especificação dos Parâmetros Variáveis

Para analisar a influência do isolamento térmico gerado pela câmara de ar presente no vidro insulado, realizaram-se comparações entre vidros insulados - duplos com câmara de ar – e vidros laminados. Para tanto, a composição insulada é formada pelo vidro laminado correspondente a um fator solar acrescido de uma câmara de ar de espessura 12,7 mm e uma lâmina de vidro monolítico incolor.

Além do tipo de vidro, variou-se o fator solar (FS) do vidro laminado e o WWR (*window-to-wall ratio*, área de janela na envoltória). O FS variou em aproximadamente 30, 40, 50 e 60%. O WWR variou em 30, 40, 50 e 60%, e todas as fachadas do pavimento possuem o mesmo WWR. A combinação destes fatores resultou em 32 modelos para cada cidade. Optou-se por selecionar vidros existentes no mercado brasileiro. A Tabela 5 apresenta, em resumo, as propriedades térmicas do vidro laminado e da composição insulada para cada fator solar base (indicados na tabela como FS 30%, FS 40%, FS 50% e FS 60%). As especificações totais das configurações de vidros insulados foram obtidas por meio do *software* WINDOW 7.4 (LBLN, 2016).

Tabela 5 - Propriedades ópticas e térmicas resumidas dos vidros

Fator Solar Base	LAMINADO		INSULADO		
			Externo	Interno	Composição
FS 30%	Espessura [mm]	8	8	6	8+12,7+6
	Processo	Laminado com incolor	Laminado com incolor	Monolítico	Laminado + câm. ar + monolítico
	U [W/m²K]	5,63	5,63	5,7	2,745
	Fator Solar	0,28	0,28	0,84	0,23
FS 40%	Espessura [mm]	8	8	6	8+12,7+6
	Processo	Laminado com incolor	Laminado com incolor	Monolítico	Laminado + câm. ar + monolítico
	U [W/m²K]	5,63	5,63	5,7	2,745
	Fator Solar	0,40	0,40	0,84	0,34
FS 50%	Espessura [mm]	8,4	8,4	6	8+12,7+6
	Processo	Laminado com incolor	Laminado com incolor	Monolítico	Laminado + câm. ar + monolítico
	U [W/m²K]	5,6	5,6	5,7	2,791
	Fator Solar	0,52	0,52	0,84	0,49
FS 60%	Espessura [mm]	8	8	6	8+12,7+6
	Processo	Laminado com incolor	Laminado com incolor	Monolítico	Laminado + câm. ar + monolítico
	U [W/m²K]	5,63	5,63	5,7	2,745
	Fator Solar	0,57	0,57	0,84	0,5

3.4. Simulação Computacional

Realizaram-se as simulações computacionais de desempenho energético de edificações através do programa computacional EnergyPlus. Estas simulações necessitam de arquivos climáticos com extensão *.epw (Energy Plus Weather File) que caracterizam as condições climatológicas de um ano base para os locais estudados, a partir de dados horários. Os arquivos utilizados nesta pesquisa foram obtidos na biblioteca de arquivos climáticos do próprio software EnergyPlus. Para Curitiba, usou-se o arquivo do tipo SWERA. Para Boa Vista optou-se pelo arquivo do tipo TMY, devido a incoerências encontradas nos dados do arquivo tipo SWERA.

3.5. Análise de Resultados

O desempenho térmico dos modelos foi avaliado por meio dos dados de consumo de energia elétrica obtidos nas simulações. Analisaram-se os consumos anuais de energia elétrica para resfriamento do ar, comparando todos modelos. Este recorte foi feito por este ser o uso energético que sofre maior influência do tipo de vidro.

A fim de entender a relação do clima local com a utilização de vidros insulados, comparou-se a temperatura média diária do ar no exterior da edificação com a diferença de consumo diário em condicionamento do ar entre modelos com vidro insulado e laminado de mesmo FS e WWR. Elegeram-se dois períodos de cinco semanas consecutivas, configurando um período típico de verão, entre os dias 27 de janeiro e 1° de março, e um período típico de inverno, entre 30 de julho e 2 de setembro.

4. RESULTADOS

4.1. Consumo Energético Anual com Resfriamento do Ar

A Figura 3 apresenta o consumo energético anual com resfriamento de ar previsto para os modelos de Curitiba. Nota-se que o modelo de menor consumo foi o com vidro laminado, fator solar 30% e WWR de 60%. O modelo de vidro insulado, com fator solar de 50% e WWR de 60% apresentou o maior consumo em relação aos demais.

Na Figura 4 se pode observar o consumo energético anual com resfriamento de ar previsto para os modelos de Boa Vista. O modelo com vidro insulado, fator solar 30% e percentual de abertura da fachada de 30% obteve o menor consumo dentre os modelos simulados para esta cidade. O modelo com maior consumo foi o com vidro laminado, FS 50% e WWR 60%.

Para Curitiba, todos os modelos com vidro insulado apresentaram consumo anual com resfriamento maior comparado aos modelos com vidro laminado de mesmo FS e WWR. A diferença de consumo entre os pares variou entre 4,6% (FS 40% e WWR 30%) e 9,3% (FS 50% e WWR 60%). Observou-se a tendência de que esta diferença no consumo aumente quanto maior for o WWR. Em contraponto, para Boa Vista os modelos com vidro insulado apresentaram menor consumo energético para resfriamento comparado aos modelos com vidro laminado de mesmo FS e WWR. Entretanto, as diferenças de consumo entre os pares se mostraram

bastante inferiores às encontradas para Curitiba. Observam-se diferenças entre 0,4% (FS 50% e WWR 60%) e 1,5% (FS 40% e WWR 60%).

Espera-se que o consumo dos modelos com mesmo vidro aumente conforme o percentual de abertura da fachada se amplie. Todavia, para Curitiba, identifica-se que nos modelos de FS 30%, tanto com vidro laminado quanto com vidro insulado, e nos modelos de vidro laminado com FS 40% o consumo com resfriamento diminuiu em 2,1%, 4,9% e 2,1%, respectivamente. Nos modelos de vidro insulado com FS 40% o consumo do modelo com WWR 60% foi maior que os demais, porém a diferença com o modelo de WWR 30% foi de apenas 0,6%. Em contrapartida, para os modelos de Boa Vista essa hipótese se aplica integralmente, porém, como era esperado, nota-se que quanto menor o fator solar do vidro, menor é a influência do WWR no consumo para resfriamento. O consumo para resfriamento do ar nos modelos com vidro insulado e FS 30% variam em até 1,2%, enquanto o consumo nos modelos de vidro insulado com FS 50% variam em até 7%.

Apesar das temperaturas médias diárias em Curitiba se manterem entre 7,5°C e 26°C durante o ano, apenas cinco modelos apresentaram consumo para aquecimento, e ainda assim com valores desprezíveis, (abaixo de 0,001 kWh/m² no ano). Isto ocorre devido à elevada carga interna nestes ambientes combinado ao seu horário de funcionamento predominantemente diurno. Os modelos de Boa Vista não apresentaram consumo energético para aquecimento.

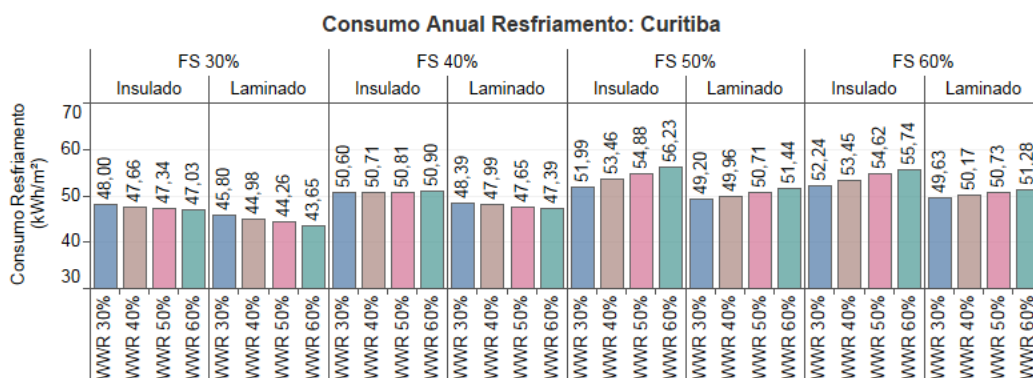


Figura 3 - Consumo de energia elétrica anual para resfriamento: Curitiba.

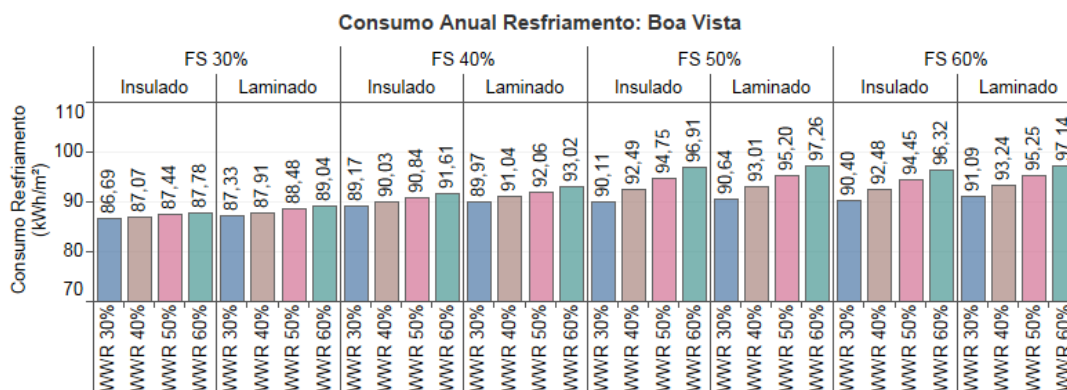


Figura 4 - Consumo de energia elétrica anual para resfriamento: Boa Vista.

4.2. Relação do Consumo Diário com Resfriamento do Ar e Temperatura Média Diária do Ar

Os gráficos apresentados nas Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8 relacionam o consumo energético diário para condicionamento do ar com a temperatura média diária externa do ar para um período de verão e um período de inverno. Para tanto, é exposta a diferença de consumo entre o modelo de vidro insulado e o de vidro laminado com mesmo FS e WWR. Quando esta diferença é um valor negativo significa que o consumo do modelo de vidro insulado é menor do que o de vidro laminado. Para esta análise foram selecionados os pares de cada cidade que obtiveram a maior diferença de consumo para resfriamento. Para as duas cidades foram analisados os modelos com FS 50% e WWR 60%.

Para Curitiba, observa-se que durante os dois períodos o modelo com vidro insulado apresentou maior consumo que o modelo com vidro laminado. Considerando os dados do arquivo climático utilizado, Curitiba possui temperatura média do ar de 17,2°C, com temperatura média diária máxima de 25,1°C e mínima de 7,5°C. Assim sendo, a temperatura média diária se mantém abaixo ou próxima à temperatura de *setpoint* de

resfriamento (24°C), ou seja, a temperatura interna no modelo mantida pelo ar condicionado durante todo período de funcionamento do escritório. (Figura 5 e Figura 6)

O oposto ocorre para a cidade de Boa Vista. O modelo com vidro insulado apresentou menor consumo em condicionamento do ar comparado ao modelo com vidro laminado durante todo o período analisado. Com temperatura média do ar de 27,0°C, temperatura média diária máxima de 30,3°C e mínima de 23,58°C, a temperatura média diária se mantém acima ou próxima à temperatura de *setpoint* de resfriamento (24°C) durante todo ano. (Figura 7 e Figura 8)

Entende-se que este fenômeno ocorre devido ao isolamento térmico gerado pela câmara de ar presente na composição de vidros insulados. Com temperaturas predominantemente abaixo da temperatura mantida pelo sistema de condicionamento de ar, o vidro laminado permite que o modelo dissipe mais facilmente as altas cargas térmicas internas geradas neste tipo de edificação, ao passo que, possuindo maior resistência térmica, o vidro insulado dificulta esta transferência de calor. Em climas muito rigorosos, com temperaturas do ar abaixo de zero, este bloqueio torna-se uma vantagem, gerando economia no consumo com aquecimento do ar.

Em contrapartida, com temperaturas médias diárias mantendo-se acima do *setpoint* de resfriamento, a baixa transmitância térmica do vidro insulado (aproximadamente metade em relação ao vidro laminado), bloqueia a entrada de calor externo a ser acrescido às cargas térmicas internas. O vidro laminado permite maior transmissão deste calor, sobrecarregando o sistema de condicionamento de ar.

Nota-se que, em todos os casos, quanto menor for a diferença entre a temperatura externa do ar e a temperatura no interior da edificação, mantida entre 20°C e 24°C (*setpoints* de aquecimento e resfriamento) pelo sistema de condicionamento de ar, menor será a influência da transmitância térmica do vidro no desempenho energético da edificação. Conseqüentemente, menor será a diferença de consumo para condicionamento do ar entre os modelos com vidro insulado e vidro laminado.

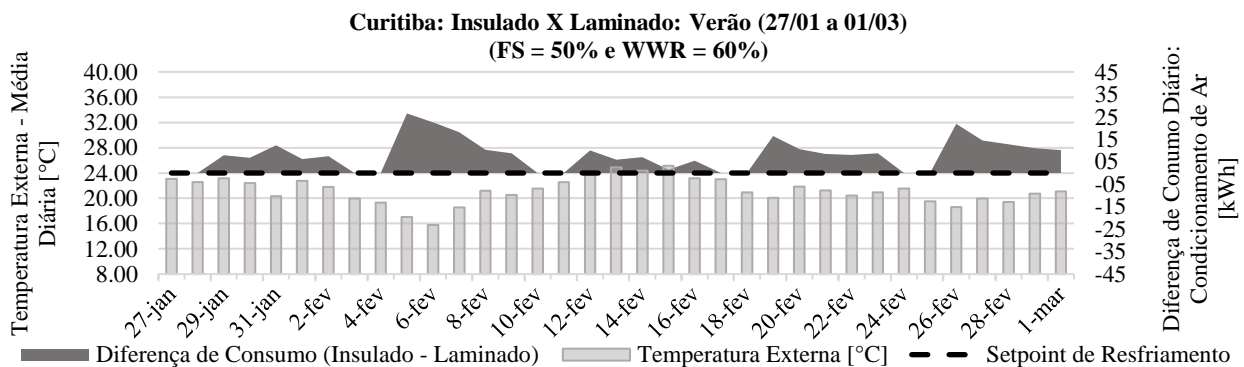


Figura 5 – Diferença de Consumo para Resfriamento Período de Verão: Modelo Laminado X Insulado. Curitiba, Fator Solar 50% e Percentual de Abertura 60%.

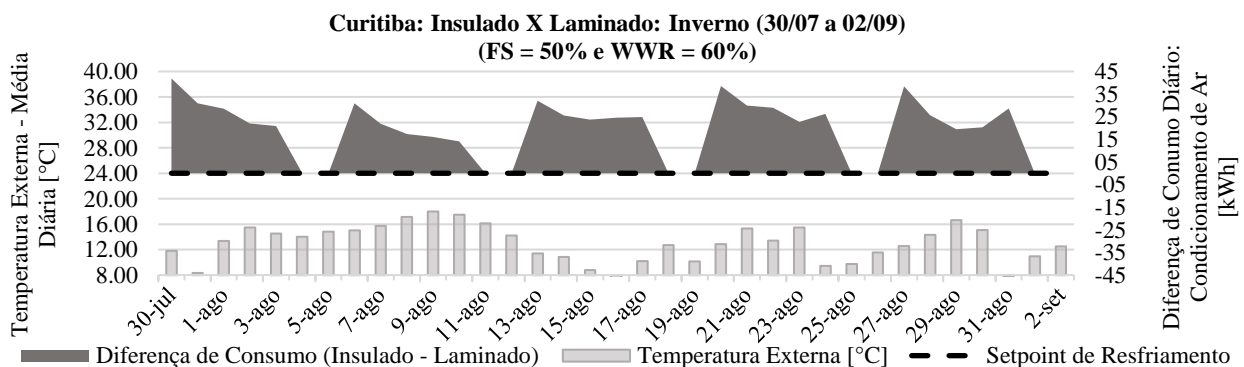


Figura 6 - Diferença de Consumo para Resfriamento Período de Inverno: Modelo Laminado X Insulado. Curitiba, Fator Solar 50% e Percentual de Abertura 60%.

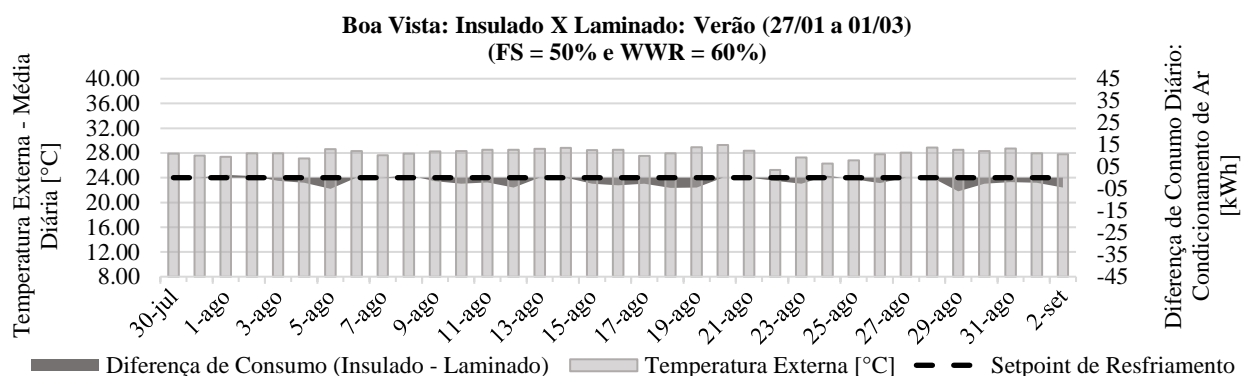


Figura 7 - Diferença de Consumo para Resfriamento Período de Verão: Modelo Laminado X Insulado. Boa Vista, Fator Solar 50% e Percentual de Abertura 60%.

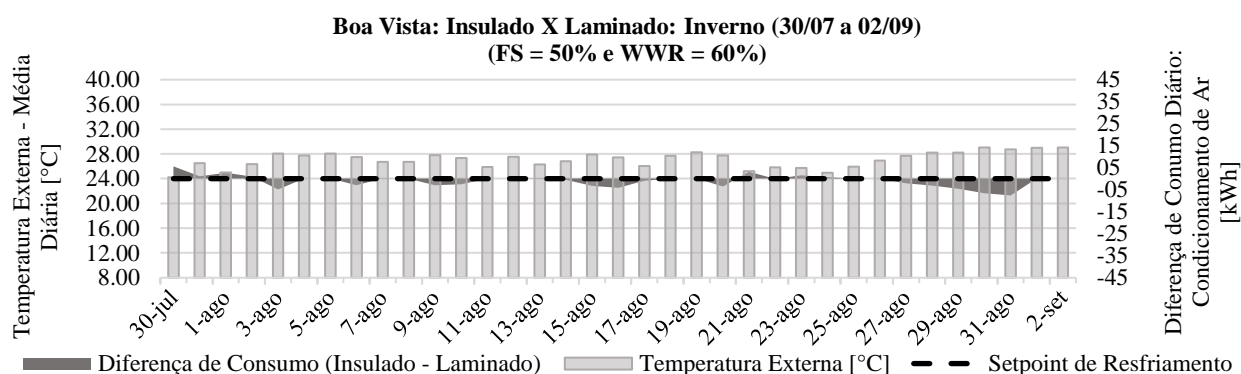


Figura 8 - Diferença de Consumo para Resfriamento Período de Inverno: Modelo Laminado X Insulado. Boa Vista, Fator Solar 50% e Percentual de Abertura 60%.

5. CONCLUSÕES

Este estudo analisou o uso de vidros insulados em escritórios no Brasil a partir do consumo energético com condicionamento de ar de um pavimento de escritórios de planta aberta e alta carga interna. Avaliaram-se duas cidades brasileiras de climas distintos: Curitiba e Boa Vista.

Os resultados indicam que, para o clima de Curitiba, que possui temperatura média anual de 17,2°C, o uso do vidro laminado gera uma economia entre 4,6% e 9,3% comparado a utilização do vidro insulado. Para o clima de Boa Vista, que possui temperatura média anual de 27°C, o uso do vidro insulado mostra-se mais vantajoso em relação ao vidro laminado, porém com economia muito inferior, entre 0,4% e 1,5%.

Para este modelo de edificação estudado, quando a temperatura externa se mantém abaixo do *setpoint* de resfriamento do sistema de condicionamento de ar, o aumento da resistência térmica gerado pela câmara de ar nos vidros insulados dificulta a dissipação das cargas térmicas internas para o exterior mais resfriado. Por ter maior transmitância térmica, o vidro laminado facilita este processo de transferência do calor por condução através do vidro.

O oposto ocorre para situações em que a temperatura do ar externo se mantém acima do *setpoint* de resfriamento. O fluxo de calor inverte-se e o calor externo é transferido para o interior da edificação elevando ainda mais a carga térmica interna e sobrecarregando o sistema de condicionamento do ar. Ao diminuir a transmitância térmica do vidro, esta transferência é limitada.

Quando a temperatura do ar externo se aproxima à temperatura interna mantida pelo sistema de condicionamento de ar, a transmitância térmica do vidro terá pouca influência no desempenho térmico da edificação.

Este estudo limita-se a duas cidades, evidenciando as disparidades entre climas do mesmo país que influem fortemente no desempenho térmico dos vidros e amplia a discussão sobre a efetividade do uso de vidros insulados como otimizadores da eficiência energética de edificações de escritórios no Brasil. Entretanto, faz-se necessária uma análise com maior variedade climática para de fato avaliar o seu uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. 188 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, 2008.
- ATZERI, Anna Maria et al. Comfort metrics for an integrated evaluation of buildings performance. **Energy and Buildings**, v. 127, p.411-424, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.007>.
- 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.
- BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Fachadas de vidro no brasil: um estudo comparativo de viabilidade econômica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15. 2014, Maceió, AL. **Anais**. Maceió, AL: ANTAC, 2014. p.964 - 973.
- CARVALHO, M. M. Q.; LAROVERE, E. L.; GONÇALVES, A. C. M. Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 9, p.3199-3205, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.009>.
- JABER, Samar; AJIB, Salman. Thermal and economic windows design for different climate zones. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 11, p.3208-3215, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.019>.
- HUANG, Yu; NIU, Jian-lei. Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system in commercial buildings of Hong Kong. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 94, p.57-72, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.053>.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Anexo Geral V**: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. Anexo da Portaria INMETRO N° 50/2013. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013a.
- 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, 2013b.
- 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. 3 ed. Suíça: ISO, 2005. 52 p.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **WINDOW** v. 7.4. Berkley: LBNL, 2016. Disponível em: <https://windows.lbl.gov/software/window/window.html> Acesso em: 19/08/2016
- LAM, Joseph C.; HUI, Sam C. M. Sensitivity Analysis of Energy Performance of Office Buildings. **Building And Environment**, Great Britain, v. 31, n. 1, p.27-39, mar. 1995.
- LEE, J. W. et al. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. **Renewable Energy**, [s.l.], v.50, p.522-531, fev.2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029>.
- LI, Danny H.W; LAM, Joseph C. Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions. **Energy and Buildings**, [s.l.], v.32, n.1, p.47-55, jun.2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(99\)00035-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(99)00035-3).
- MME. Ministério de Minas e Energia. **BEN – Balanço Energético Nacional 2016**: ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>> Acessado em: 18/12/2015.
- OCHOA, Carlos E. et al. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. **Applied Energy**, [s.l.], v. 95, p.238-245, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042>.
- PEREIRA, E.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. 2006. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. ISBN 978-85-17-00030-0.
- PINTO, Mônica M.; WESTPHAL, Fernando S. Viabilidade do Uso de Vidros Insulados para o Clima Brasileiro. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16, 2016, São Paulo, SP. **Anais**. São Paulo, SP: ANTAC, 2016.
- POIRAZIS, Harris; BLOMSTERBERG, Åke; WALL, Maria. Energy simulations for glazed office buildings in Sweden. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 40, n. 7, p.1161-1170, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.011>.
- SINGH, M. C.; GARG, S. N. Energy rating of different glazing for Indian climates. **Energy**, [s.l.], v. 34, n. 11, p.1986-1992, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.013>.
- 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>.
- TSAGARAKIS, Konstantinos P.; KARYOTAKIS, Konstantinos; ZOGRAFAKIS, Nikolaos. Implementation conditions for energy saving technologies and practices in office buildings: Part 2. Double glazing windows, heating and air-conditioning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 6, p.3986-3998, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.007>.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.