



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

FACHADAS DE VIDRO NO BRASIL: UM ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

BESEN, Priscila (1); WESTPHAL, Fernando S. (2)

(1) UFSC, e-mail: pribesen@gmail.com (2) UFSC, e-mail: fswfernando@gmail.com

RESUMO

Este artigo faz uma análise técnica e econômica sobre a influência de vidros de fachadas na eficiência energética de um edifício comercial de escritórios em seis cidades brasileiras: Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Fortaleza, Rio de Janeiro e São Paulo. Foi avaliada a influência de 36 diferentes tipos de vidro disponíveis no mercado nacional, sendo eles monolíticos, laminados e duplos com câmara de ar. Trata-se de uma pesquisa de iniciação científica, desenvolvida com base em revisão bibliográfica e simulação computacional no software EnergyPlus. Foi adotado como modelo para simulação o projeto de um edifício de escritórios com percentual de abertura nas fachadas de 50% e área total construída de aproximadamente 12.000 m². Os resultados apresentados são a economia no consumo e no custo de energia elétrica ocasionada por cada tipo de vidro de controle solar, comparados à solução de projeto com vidro incolor comum. Além disso, apresenta-se o tempo de retorno do investimento inicial em vidros de controle solar. Os resultados mostram que na cidade de Fortaleza, por exemplo, o investimento em um vidro de controle solar pode ser recuperado em menos de dois anos. O investimento em vidros duplos com câmara de ar torna-se mais viável nas cidades mais quentes. Como contribuição, o artigo fornece uma base de dados de desempenho de 36 opções de vidros para seis cidades brasileiras, permitindo a tomada de decisões de projeto a partir da economia de energia a ser alcançada.

Palavras-chave: Vidros, Eficiência Energética, Desempenho Térmico, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

This paper presents a technical and economic analysis about the influence of glass façades in the energy efficiency of a commercial office building in six Brazilian cities: Belo Horizonte, Brasilia, Curitiba, Fortaleza, Rio de Janeiro and São Paulo. The influence of 36 different types of glass available in the national market, including single-pane glass, laminated and IGUs was evaluated. The research was developed based on literature review and through computer simulation with EnergyPlus software. The design of an office building with a window-to-wall ratio of 50% and total area of approximately 12,000 m² has been adopted as the reference model for the study. The results presented in the article are savings in electricity consumption and energy cost demanded by each type of solar control glass, compared to single-pane clear glass. Also, the payback time for investments in solar control glazing is calculated. The results show that in the city of Fortaleza, for example, the investment in a selective glazing system can be returned before two years. The investment on IGUs is more feasible in the hottest cities. As a contribution, the article provides a database of energy performance of 36 glazing options for six Brazilian cities, which can help the decision-making process by analyzing the energy savings to be achieved.

Keywords: Glazing, Energy Efficiency, Thermal Performance, Economic Feasibility.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica vem crescendo no país ano a ano. No ano de 2012, enquanto o PIB cresceu 0,9%, o consumo energético aumentou em 3,8%. As

edificações representam grande parcela desse consumo de energia segundo o Balanço Energético Nacional. Em 2012 os edifícios comerciais foram responsáveis por 16% do consumo total de energia elétrica no país (MME, 2013).

O uso de fachadas de vidro vem crescendo em edificações comerciais, residenciais e públicas no Brasil desde a década de 50. O aproveitamento da luz natural, a maior abertura visual e a rapidez na construção são alguns dos pontos positivos dessa solução construtiva. No entanto, maiores áreas de vidro podem trazer como ponto negativo um aumento significativo de carga térmica, causando desconforto e consequentemente maiores gastos com condicionamento de ar.

Segundo Ghisi e Tinker (2005), “grandes áreas de janela têm a inconveniência de permitir ganhos ou perdas excessivas de calor. Logo, para amenizar o desconforto causado pelo ganho ou pela perda de calor, torna-se mais intenso o uso de ar condicionado e sistemas de aquecimento, tendo como consequência o aumento do consumo de energia”.

Conforme Sadineni et al. (2011), a eficiência energética de uma edificação pode ser aperfeiçoada por meio de estratégias ativas – resfriamento, ventilação, iluminação artificial – ou passivas, caracterizadas pelas melhorias na envoltória de um edifício. A envoltória de uma edificação é o que separa os ambientes internos do externo e é um fator chave que determina a qualidade ambiental e mantém as condições internas, independentemente das variações nas condições externas.

Para Westphal e Lamberts (1999), uma grande questão a ser discutida é “qual seria o prazo esperado para retorno de um investimento em retrofit, seja em iluminação ou climatização artificial”. No entanto, no caso de estratégias para a envoltória de uma edificação, o período de vida útil é muito maior e seu retorno pode ter uma análise mais precisa.

Tendo em vista que o sistema de vedação externa de uma edificação deve ter, por norma, uma vida útil de pelo menos 40 anos (NBR 15575/2012), enquanto o sistema de condicionamento de ar terá vida útil de 10 a 15 anos em média, nota-se a importância dos investimentos em estratégias passivas de eficiência energética.

Sendo assim, o vidro utilizado em um projeto arquitetônico constitui-se em uma estratégia passiva que tem grande influência sobre o consumo energético. Neste artigo, busca-se melhor compreender as relações entre tipo de vidro, consumo e custo de energia elétrica, capacidade de instalação de ar condicionado e a viabilidade econômica de investimentos em melhores opções de vidro.

2 METODOLOGIA

A pesquisa, em âmbito de iniciação científica, foi desenvolvida com base numa revisão bibliográfica e por meio de simulação computacional de um modelo de referência com o software EnergyPlus e os arquivos climáticos de referência para cada cidade.

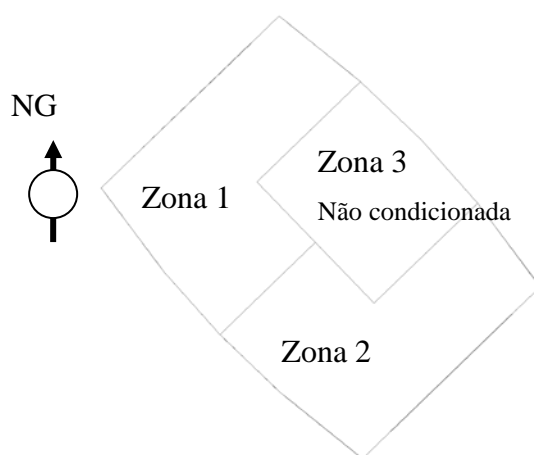
2.1 Modelo

O projeto de um edifício de escritórios real foi adotado como modelo de referência para realização do estudo. O mesmo edifício foi simulado com o clima das seis cidades analisadas: Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Fortaleza, Rio de Janeiro e São Paulo. Os arquivos climáticos utilizados neste estudo possuem o formato TMY (Test Meteorological Year), obtidos no site do programa EnergyPlus. Destaca-se que os arquivos climáticos representam o clima da cidade e não o microclima da área de projeto, o que poderia gerar diferenças nos resultados.

O modelo completo possui área total de 11.942 m², sendo 9.038 m² de áreas de escritórios, climatizadas artificialmente. As fachadas possuem um total de 3.008 m² de área de janelas (vidros), resultando em um percentual de abertura nas fachadas correspondente a 50%. Não se considerou a edificação revestida de vidros, mas sim paredes aparentes onde não há janelas.

O zoneamento térmico do pavimento-tipo da edificação, o qual é repetido 17 vezes para a simulação, é ilustrado na figura 1. Foram agrupados os ambientes com características de ocupação similares. As zonas 1 e 2 são ambientes de escritório e a zona 3 reúne os espaços de serviço, como elevadores e sanitários – áreas sem condicionamento de ar. A partir do zoneamento mostrado abaixo, as formas foram retificadas para a criação do modelo utilizado no programa EnergyPlus.

Figura 1 – Zonas do pavimento tipo do modelo adotado.



Considerou-se a ocupação dos ambientes de escritório das 7h às 22h, nos dias úteis, sendo que a partir das 19h há uma desocupação gradual do prédio. O sistema de condicionamento de ar foi ajustado para ligar das 7h às 22h, porém a necessidade de acionamento e seu consumo de energia são determinados pelo programa de simulação a cada hora de cálculo, em função da carga térmica resultante em cada zona. O termostato do sistema foi ajustado em todas as cidades para manter a temperatura entre 18°C (aquecimento) e 24°C (resfriamento). Evidentemente, nas cidades muito quentes o sistema de aquecimento não será solicitado, embora tenha sido representado no modelo virtual.

Considerou-se densidade de ocupação alta, de 7m² por pessoa. Para essa densidade de ocupação estima-se uma carga de equipamentos de 21 W/m². Como densidade de iluminação, adotou-se 15 W/m². O ganho de calor interno total é de 52 W/m².

Quanto aos componentes construtivos, consideraram-se as paredes externas em *steel framing* com isolante térmico, lajes de concreto entre pisos e laje de concreto com 50 mm de isolante (lã de rocha ou lã de vidro) e impermeabilização na cobertura. As paredes externas foram modeladas com acabamento externo em reboco pintado ou com revestimento em cor neutra (absortância igual a 50%).

2.2 Vidros analisados

Os 36 vidros simulados e suas respectivas propriedades físicas mais relevantes constam na Tabela 1. A primeira especificação consiste no vidro incolor monolítico,

que serve como base para as posteriores comparações de resultados. Os vidros insulados são aqueles duplos, com câmara de ar, segundo NBR 7199 – Vidro na construção civil – Projeto, execução e aplicações.

2.3 Tarifas de energia

Cada uma das seis cidades analisadas é atendida por uma concessionária de energia elétrica diferente. Além dos custos diferenciados em função da localização geográfica, que interfere nos custos de geração e distribuição, há diferenças nas alíquotas de impostos entre cada concessionária (ICMS, PIS e COFINS). Os valores adotados datam do ano de 2007, para faturamento em baixa tensão, do tipo comercial (subgrupo B3). Há grande variação entre os valores cobrados pelas concessionárias de diferentes regiões. A diferença do maior valor (Fortaleza, R\$ 0,52507/kWh) para o menor (Brasília, R\$ 0,34033/kWh) chega a 54%.

2.4 Análise econômica

Segundo Hoji (2003), o Período de Retorno do Investimento consiste na apuração do tempo necessário para que o somatório dos benefícios econômicos de caixa se iguale ao somatório dos dispêndios de caixa. A equação 1 mostra como é calculado o Período de Retorno do Investimento.

$$p = \frac{G}{L} \quad (1)$$

onde, p = período de retorno do investimento;

G = investimento total;

L = lucro anual médio.

A partir dos resultados de economia anual no custo de energia elétrica e economia na instalação de condicionadores de ar, foi possível calcular o período de retorno do investimento inicial para cada tipo de vidro. Foi realizado também o cálculo do Período de Retorno corrigido, considerando uma taxa de juros anual de 12%.

Além destes, calculou-se a Taxa Interna de Retorno (TIR), que consiste na taxa de juros que torna nulo o valor presente líquido do fluxo de caixa de um determinado projeto (HIRSCHFELD, 1989). As alternativas possíveis de análise são aquelas cuja Taxa Interna de Retorno (TIR) é maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Isto significa que este método possibilita a escolha preliminar entre um conjunto de alternativas, sendo selecionadas apenas aquelas que atendem ao critério: TIR > TMA. No entanto, o método não se resume apenas a essa aplicação, sendo um dos mais utilizados na avaliação de alternativas econômicas. A TMA representa a taxa a partir da qual o investidor considera que terá lucro. Para esse estudo, considerou-se que uma TMA de 12% ao ano torna o investimento viável. Para o cálculo da TIR, considerou-se o fluxo de caixa para um período de 10 anos.

Tabela 1 – Propriedades dos vidros simulados.

Nº.	Nome	Fator Solar (%)	Transmissão Luminosa (%)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Processo	Espessura (mm)
1	FS85/TL90/MON	85	90	5,80	monolítico	6
2	FS81/TL89/LAM	81	89	5,73	laminado	8

3	FS75/TL81/INS	75	81	2,69	insulado	6+12+6
4	FS62/TL79/LAM	62	79	5,18	laminado	8
5	FS60/TL72/LAM	60	72	5,18	laminado	8
6	FS59/TL76/MON	59	76	5,24	monolítico	6
7	FS58/TL65/LAM	58	65	5,18	laminado	8
8	FS54/TL69/INS	54	69	1,89	insulado	6+12+6
9	FS51/TL62/INS	51	62	1,95	insulado	6+12+6
10	FS50/TL58/LAM	50	58	5,18	laminado	8
11	FS47/TL69/INS	47	69	2,84	insulado	6+12+6
12	FS43/TL33/LAM	43	33	5,73	laminado	8
13	FS42/TL32/MON	42	32	5,27	monolítico	6
14	FS42/TL38/LAM	42	38	5,18	laminado	8
15	FS41/TL36/LAM	41	36	5,18	laminado	8
16	FS40/TL42/LAM	40	42	5,73	laminado	8
17	FS40/TL35/LAM	40	35	5,18	laminado	8
18	FS39/TL38/LAM	39	38	5,18	laminado	8
19	FS39/TL47/LAM	39	47	5,18	laminado	8
20	FS36/TL39/LAM	36	39	5,18	laminado	8
21	FS35/TL50/LAM	35	50	5,13	laminado	8
22	FS34/TL49/INS	34	49	1,70	insulado	6+12+6
23	FS33/TL29/INS	33	29	2,68	insulado	6+12+6
24	FS32/TL19/MON	32	19	3,69	monolítico	6
25	FS31/TL19/LAM	31	19	5,18	laminado	8
26	FS31/TL38/INS	31	38	1,77	insulado	6+12+6
27	FS31/TL39/INS	31	39	1,86	insulado	6+12+6
28	FS31/TL34/INS	31	34	2,84	insulado	6+12+6
29	FS30/TL16/LAM	30	16	5,18	laminado	8
30	FS30/TL42/INS	30	42	1,7	insulado	6+12+6
31	FS30/TL37/LAM	30	37	5,13	laminado	8
32	FS30/TL32/INS	30	32	2,84	insulado	6+12+6
33	FS26/TL50/INS	26	50	1,61	insulado	6+12+6
34	FS25/TL14/MON	25	14	3,5	monolítico	6
35	FS24/TL17/INS	24	17	2,31	insulado	6+12+6
36	FS18/TL13/INS	18	13	2,15	insulado	6+12+6

3 RESULTADOS

3.1 Consumo de Energia

A simulação do modelo utilizando vidro incolor monolítico (FS85/TL90/MON) para cada clima revelou maior participação do sistema de condicionamento de ar na cidade de Fortaleza, como era esperado, representando 54% do consumo total de energia

elétrica calculado para o prédio em operação durante um ano completo. Curitiba apresentou a menor participação do sistema de condicionamento de ar, com percentual de 35%. As demais cidades revelaram peso de 39% a 48% do sistema de condicionamento de ar no consumo total de eletricidade do edifício.

Os resultados mais significativos quanto a economia anual com energia elétrica de cada opção de vidro em relação ao vidro incolor monolítico são apresentados nas Figuras 2 a 7. Observa-se que a maior economia foi alcançada em Fortaleza, com o vidro insulado de fator solar 18% e transmissão luminosa 13%, que proporciona uma redução anual de R\$ 180 mil na conta de energia elétrica em relação ao modelo com vidro incolor monolítico. Dividindo-se essa economia por 3.008m² de área de vidro do projeto, supõe-se que o investidor teria aproximadamente R\$ 60 disponível por ano para investir nesse vidro, além do gasto necessário para aquisição do vidro incolor.

Figura 2 - Economia anual com energia elétrica em relação ao vidro incolor monolítico na cidade de Belo Horizonte.

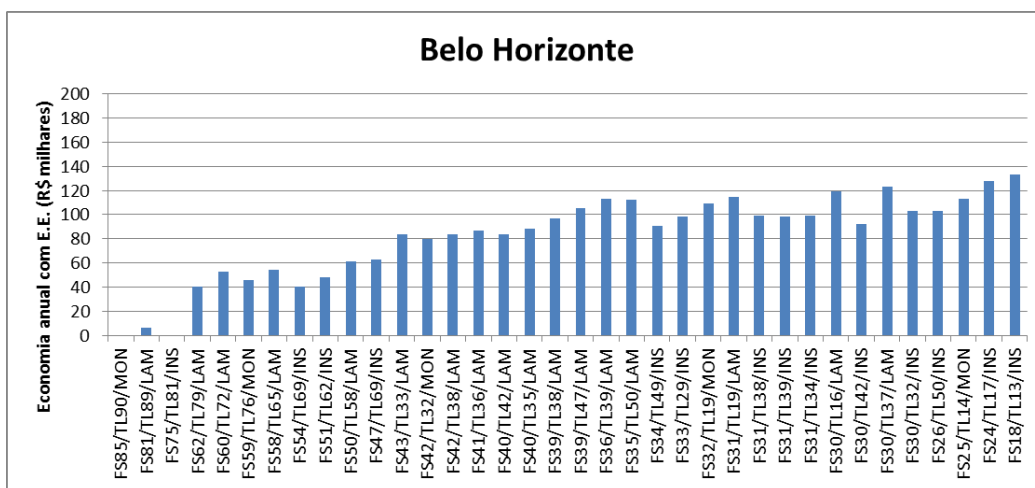


Figura 3 - Economia anual com energia elétrica em relação ao vidro incolor monolítico na cidade de Curitiba.

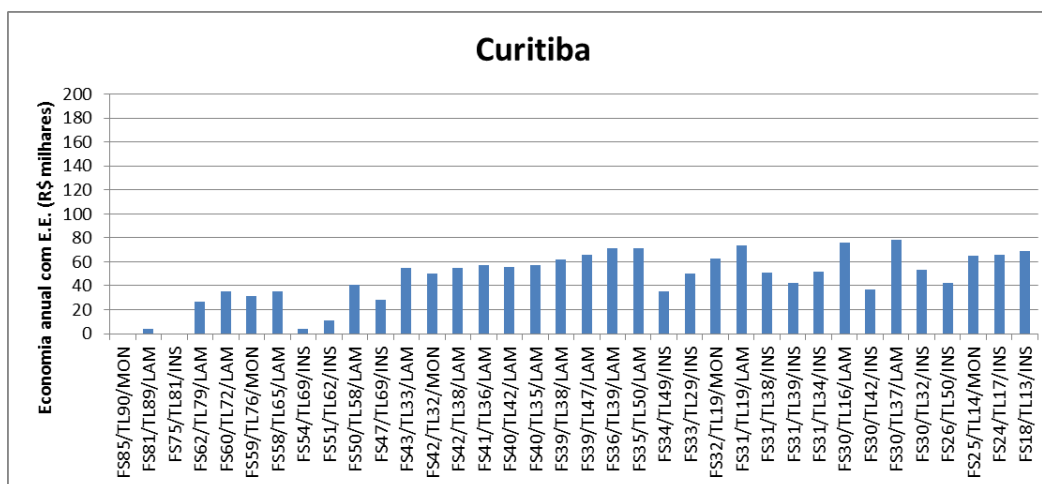


Figura 4 - Economia anual com energia elétrica em relação ao vidro incolor monolítico na cidade de Fortaleza.

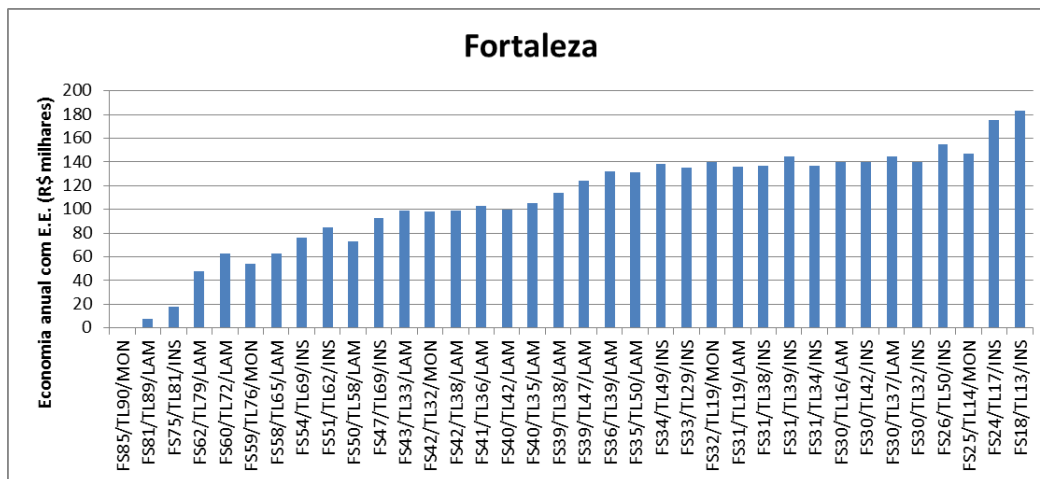
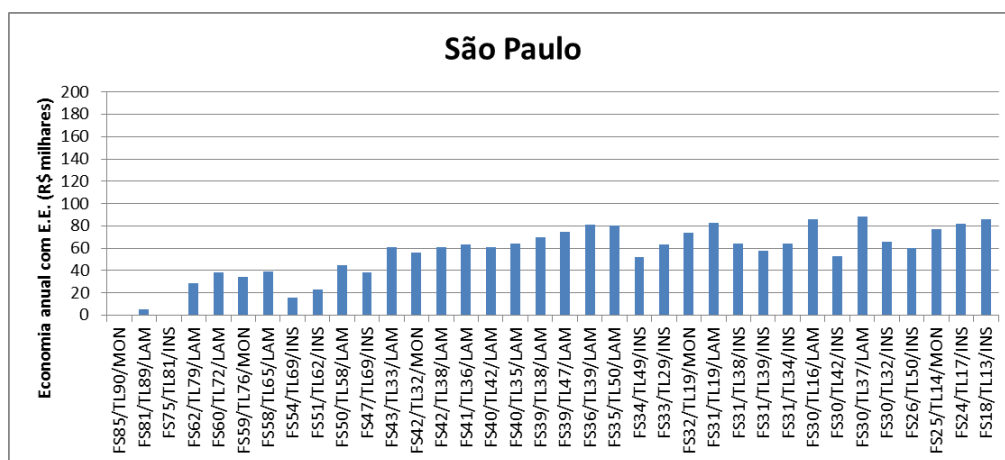


Figura 5 - Economia anual com energia elétrica em relação ao vidro incolor monolítico na cidade de São Paulo.



3.2 Período de Retorno do Investimento

Foram selecionadas quatro especificações de vidros para apresentação do estudo de viabilidade econômica, incluindo o payback simples, payback corrigido e taxa interna de retorno (TIR).

Para o cálculo, foi considerada a economia anual em custo de energia elétrica, em comparação ao consumo com vidro incolor monolítico e o custo de aquisição de cada vidro. A redução na carga instalada no sistema de condicionamento de ar não foi considerada neste estudo, embora também tenha sido calculada e em alguns casos apenas esse benefício fosse suficiente para cobrir os gastos com a instalação de vidros de melhor desempenho.

Observa-se, nos resultados da Tabela 2, que Fortaleza e Rio de Janeiro apresentam TIR mais altas para os quadro vidros listados, pois tratam-se dos climas mais quentes, onde a instalação de vidros seletivos seriam facilmente justificados no lugar de um vidro incolor. O uso de vidro laminado de fator solar 30% na cidade de Fortaleza foi a situação que resultou no payback mais curto, 1,8 ano, ou 22 meses, e a TIR mais alta, 66,2%, mostrando que o investimento é altamente viável. Isso significa que caso o investidor aplicasse seu capital em vidros de controle solar, considerando um período de 10 anos, o lucro sobre o capital investido – na forma de redução na conta de energia elétrica – seria de 66% ao ano.

Porém algumas opções de vidro não são vantajosas. Por exemplo, em Curitiba, o cálculo para os dois vidros insulados resultaram em TIR inferior a 12% a.a., o que significa que para o investidor vale mais a pena aplicar seu capital no mercado financeiro do que nessas opções de fachadas.

Tabela 2 – Período de retorno do investimento de acordo com a cidade e o tipo de vidro.

Cidade	Vidro	Payback Simples (anos)	Payback Corrigido (anos)	TIR (%)
Belo Horizonte	FS18/TL13/INS	3,6	5,0	24,7%
	FS30/TL16/LAM	1,8	2,1	55,9%
	FS33/TL29/INS	6,4	13,1	8,9%
	FS43/TL33/LAM	4,3	6,4	19,2%
Brasília	FS18/TL13/INS	5,0	8,1	15,0%
	FS30/TL16/LAM	2,4	3,0	39,9%
	FS33/TL29/INS	9,0	N/A	2,0%
	FS43/TL33/LAM	5,9	10,7	11,1%
Curitiba	FS18/TL13/INS	7,0	16,1	7,1%
	FS30/TL16/LAM	2,8	3,6	34,2%
	FS33/TL29/INS	12,5	N/A	N/A
	FS43/TL33/LAM	6,6	13,8	8,4%
Fortaleza	FS18/TL13/INS	2,6	3,3	36,3%
	FS30/TL16/LAM	1,5	1,8	66,2%
	FS33/TL29/INS	4,7	7,3	16,9%
	FS43/TL33/LAM	3,6	5,1	24,4%
Rio de Janeiro	FS18/TL13/INS	3,9	5,6	22,3%
	FS30/TL16/LAM	2,0	2,4	48,9%
	FS33/TL29/INS	6,9	15,6	7,3%
	FS43/TL33/LAM	4,9	7,8	15,7%
São Paulo	FS18/TL13/INS	5,6	9,9	12,1%
	FS30/TL16/LAM	2,5	3,1	39,2%
	FS33/TL29/INS	10,0	N/A	N/A
	FS43/TL33/LAM	5,9	11,0	10,8%

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo de viabilidade econômica para a instalação de 36 diferentes especificações de vidro de controle solar para o projeto de uma edificação

comercial em 6 cidades brasileiras. O trabalho apresenta o *payback* simples e corrigido, além da taxa interna de retorno (TIR) de investimento de quatro opções de vidro, a partir da economia de energia obtida em relação a um vidro incolor. O consumo de energia elétrica foi calculado por meio de simulação computacional no software EnergyPlus para o modelo de um edifício de escritórios e foram consideradas as tarifas de energia reais aplicadas no setor comercial em baixa tensão em cada cidade analisada.

A simulação do modelo com cada tipo de vidro revelou economia de até 37% no consumo de energia com condicionamento de ar. Esse caso foi na cidade de Curitiba, comparando-se o modelo com vidro incolor monolítico e o modelo com o vidro de melhor desempenho, que para aquela cidade revelou ser o FS30/TL16/LAM (fator solar igual a 30%, transmissão luminosa de 16%, laminado). A maior economia absoluta em consumo (kWh) ocorreu no clima mais quente, na cidade de Fortaleza, a qual também apresenta a tarifa de energia elétrica mais elevada entre as cidades analisadas. Nessa cidade a economia alcançada com o vidro FS18/TL13/INS foi de 349 MWh, que corresponde a um corte no custo anual de R\$ 183 mil.

O cálculo do Período de Retorno dos Investimentos mostrou que, além de uma maior eficiência energética, a aplicação de diversas especificações de vidro pode trazer benefícios econômicos até mesmo a curto prazo. Vidros laminados com um baixo fator solar, como é o caso do vidro FS30/TL16/LAM, podem ter seu investimento inicial pago em até 1,8 ano (22 meses) na cidade de Fortaleza ou 2,1 anos em Belo Horizonte (25 meses). De maneira geral, os vidros insulados, por possuírem custos mais elevados, apresentaram períodos de retorno mais curtos apenas nas cidades de clima mais quente.

Ressalta-se, porém, que os vidros com os melhores resultados em consumo energético possuem menores índices de Transmissão Luminosa (TL), o que traz implicações para o aproveitamento da iluminação natural, que não foram consideradas nesse estudo.

A partir dos resultados, demonstra-se que as decisões de projeto acerca da fachada de um edifício não devem ser feitas apenas com base em implicações estéticas, pois esta se trata de um elemento fundamental para o desempenho termo energético de uma edificação e, além disso, para seus resultados econômicos a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ABIVIDRO, Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional Ano Base 2012**. Brasília, 2013.

SADINENI, S. B.; MADALA, S.; Boehm, R. F. **Passive building energy savings: A review of building envelope components**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v.15, p. 3617–3631, 2011.

GHISI, E.; TINKER, J. A.. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v.40, n. 1, p. 51-61, 2005.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.. **Estudo de viabilidade econômica de uma proposta de Retrofit em um edifício comercial.** V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575-1:** Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

HOJI, M. **Administração Financeira** – Uma Abordagem Prática: Matemática Financeira Aplicada, Estratégias Financeiras e Análises, Planejamento e Controle Financeiro. 4ª ed., São Paulo: Atlas, 2003.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos.** São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 1989.