



O EFEITO DO FATOR SOLAR DE ENVIDRAÇAMENTOS NA REDUÇÃO DA CARGA TÉRMICA DE ESCRITÓRIOS

Melca dos S. Claro (1); Fúlvio Vittorino (2)

(1) Arquiteta, Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia, com ênfase em Tecnologia em Construção de Edifícios, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT, melca@claro.arq.br

(2) Engenheiro Doutor, Pesquisador, fulviov@ipt.br

Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT, Centro Tecnológico do Ambiente Construído, Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária, São Paulo-SP, 05508-901, Tel.: (11) 3767-4553

RESUMO

As fachadas com grandes áreas envidraçadas estão se tornando comuns nos edifícios de escritórios dos grandes centros urbanos brasileiros e com pouco ou nenhum sombreamento. Por outro lado, tem-se verificado uma demanda por maior eficiência energética nesses edifícios, seja pela etiquetagem do PROCEL EDIFICA, seja pela certificação do LEED. Especificamente o selo LEED, especifica o atendimento dos requisitos da Norma ASHRAE 90.1 para vários elementos da envoltória, com destaque para os vidros (fator solar). O objetivo deste artigo é realizar uma análise do impacto do fator solar na redução de demanda por carga térmica de climatização, tendo como referência as exigências dessa Norma e apresentar algumas soluções de envidraçamento para melhorar a eficiência energética nas fachadas. Foram levantadas as soluções de mercado para envidraçamento e projeto de arquitetura dos edifícios projetados e construídos nos últimos dez anos em São Paulo. Com esses dados, foram identificados três “andares tipo” de edifícios de escritórios, que foram simulados com o programa *EnergyPlus*. Verificou-se que o fator solar influi fortemente na redução da carga térmica de climatização em edifícios com baixa ocupação, mas afeta menos significativamente as cargas térmicas dos edifícios densamente ocupados, sendo que estes efeitos são pouco afetados pela área em planta dos “andares tipo”. A adoção da Norma ASHRAE 90.1, conforme necessário para aqueles edifícios que buscam a certificação LEED é, de modo geral, relevante para reduzir as cargas térmicas, porém, a sua adoção necessita de uma análise da relação de benefício/custo, para os edifícios fortemente ocupados.

Palavras-chave: fator solar, simulação computacional, cargas térmicas de climatização, vidros absorvedores, refletivos e low-e, eficiência energética em edificações.

ABSTRACT

The facades with large glazed areas are becoming common in office buildings of major Brazilian urban centers and with little or no external shading. For other hand, there has been a demand for greater energy efficiency in these buildings, either by labeling PROCEL EDIFICA, either by LEED certification. Specifically the label LEED specifies compliance with the requirements of ASHRAE Standard 90.1 for various elements of the envelope, especially for the glazing (solar factor). This paper's main objective is to analyze the impact of the solar factor on the reduction of demand for space thermal load, with reference to the requirements of this Standard and present some glazing solutions to improve facades energy efficiency. A market survey was done looking for typical glazing solutions and architecture project of commercial buildings designed and built in the last ten years in Sao Paulo. Three types of standard office building floor plans were identified and were simulated with *EnergyPlus*. It was found that the solar factor strongly impacts on the reduction of the space thermal loads in buildings with low occupancy, but affects less strongly the thermal loads from densely occupied buildings and these effects are little affected by the building floor area. The adoption of ASHRAE Standard 90.1 is generally relevant to reduce thermal loads, however their adoption requires an analysis of the relation benefit/cost for heavily occupied buildings.

Keywords: Solar Factor, computer simulations, space thermal loads, absorbing glass, reflective and low-e, energy efficiency in buildings.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas envidraçadas e com áreas cada vez maiores estão se tornando muito comuns nos edifícios de escritórios dos grandes centros urbanos brasileiros e, frequentemente, têm pouco ou nenhuma solução de sombreamento exterior. Atualmente, predomina no mercado o denominado “Estilo Internacional” (CASTRO, 2005, p.1), principalmente nos principais centros urbanos brasileiros, no qual a leveza de fachadas, com grandes áreas envidraçadas¹, é priorizada, deixando em segundo plano a adequação ao clima do local onde a edificação será construída. Pirró (2005) já havia constatado a elevação deste percentual de envidraçados nas fachadas, através de um levantamento de algumas tipologias de edifícios de escritórios, construídos entre 1980 e 2000, na cidade de São Paulo. Mesmo quando não se busca a aderência e esse estilo, nota-se que o vidro está sendo cada vez mais utilizado como solução final na envoltória da edificação.

Por outro lado, tem-se verificado uma demanda por maior eficiência energética nos edifícios de escritórios, seja pela entrada em vigor da regulamentação da lei da etiquetagem compulsória dos edifícios do PROCEL EDIFICA (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2008), seja pela adoção no mercado da certificação do LEED (U. S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2009). Essa nova exigência, tem feito com que construtoras busquem, cada vez mais, diferenciar os seus empreendimentos, investindo em edificações energeticamente mais eficientes. Em abril de 2013, no Brasil, 88 edifícios foram certificados pelo LEED, e 682 estão em processo de certificação (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2013). Essa salutar busca por eficiência energética das envoltórias está, finalmente, se alinhando com as recomendações de diversos autores, como GRATIA; HERDE 2002 que discutem a importância da escolha de um bom tipo de vidro pelo fato de constituírem a maior parte da edificação, provocando assim, uma variação do nível de ganho de calor do exterior para o interior. Além disso, usando-se uma visão mais holística como a de Olgyay (1998 apud MICHELATO; MEDEIROS; CASTRO, 2006, p.4179): “[...] a pele de um edifício atua como filtro entre as condições internas e externas para controlar a entrada do ar, do calor, do frio, da luz, dos ruídos e dos cheiros.”, verifica-se a grande importância das decisões de projeto da fachada sobre vários de desempenho da edificação.

Especificamente para os edifícios que buscam o selo LEED é necessário atender-se os requisitos de eficiência energética definidos na Norma ASHRAE 90.1, (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2007) que apresenta critérios mínimos de desempenho para o mundo todo. A cidade de São Paulo está classificada, no anexo G desta Norma, em uma Zona Bioclimática denominada “2”. Nessa condição, no que se refere aos vários elementos da envoltória do edifício, com destaque para os vidros, a Norma ASHRAE 90.1, determina que, para fachadas com áreas transparentes em até 40% de sua superfície, o Fator Solar (NBR 15220 – 1) dos envidraçamentos seja de, no máximo, 25%.

Segundo Hernandez Neto et. al. (1999, p. 3): “[...] o desenvolvimento e a pesquisa relacionados à superfícies transparentes têm proporcionado uma nova geração de materiais, que buscam oferecer uma melhora na eficiência energética das janelas.” Contudo, ainda há dúvidas, junto aos projetistas, acerca de produtos que atendam essa especificação de fator solar, e principalmente, qual é o real impacto em termos da redução da carga térmica que estas soluções vão propiciar.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é realizar uma análise do impacto do fator solar em termos de redução de demanda por carga térmica de climatização de ambientes tendo como referência as exigências especificadas pela Norma ASHRAE 90.1 e apresentar algumas soluções de envidraçamento para uma melhor eficiência energética nas fachadas.

3. MÉTODO

Para se verificar o impacto do atendimento de requisito da Norma ASHRAE 90.1 de um fator solar de no máximo 25% para os edifícios que buscam o selo LEED, foram realizadas simulações computacionais, para determinar as cargas térmicas sensíveis de climatização de ambientes, ao longo de um ano climático típico na cidade de São Paulo.

¹ Áreas envidraçadas, ao longo deste artigo, são áreas por onde há a passagem direta de radiação solar através de áreas transparentes para o interior da edificação. Observa-se ainda, que esta questão do “Estilo Internacional” preza a leveza estrutural e, muitas vezes, os vidros totalmente opacos também são usados como fechamentos.

Para a realização destas simulações foram consideradas:

- a) Tipologias representativas de edifícios de escritórios, para modelagem dos edifícios;
- b) As propriedades térmicas dos vidros mais utilizados atualmente no mercado;
- c) Sistemas construtivos e práticas de climatização tipicamente adotadas nesse tipo de edificação.

Foram feitas duas séries de análises, considerando as edificações com ocupação e sem ocupação. A terminologia adotada sem ocupação, refere-se a uma situação, em que se eliminou todos os ganhos de calor decorrente da presença de pessoas, da atuação de sistemas e equipamentos existentes no interior do edifício e do sistema de iluminação artificial. Isto é feito, visando evidenciar qual é a contribuição máxima das intervenções nas fachadas sobre a redução da Carga Térmica de Climatização.

O programa utilizado para as simulações foi o *EnergyPlus* (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009), pré-validado pelo LEED e que tem sido muito utilizado no mercado brasileiro.

3.1. Tipologias para modelagem dos edifícios

A definição de edifícios típicos para serem simulados foi fruto de um levantamento de campo (CLARO, 2010) na cidade de São Paulo, de 18 edifícios comerciais novos e modernos, com grandes áreas transparentes, nas regiões que englobam as áreas da Marginal, Berrini, Vila Olímpia, Faria Lima e Paulista, que são aquelas onde se concentram o mercado imobiliário corporativo paulistano. O objetivo desse levantamento era obter as principais características construtivas dos edifícios projetados e construídos no período dos últimos dez anos (2000 a 2010), aproximadamente. Para levantamento da ficha técnica foram pesquisadas revistas especializadas e contadas empresas que administram os condomínios de edifícios comerciais de alto padrão. As empresas fabricantes de vidro Cebrace (2010), Pilkington (2010), Guardian (2010) também foram contatadas e forneceram especificações técnicas dos vidros utilizados nesses edifícios e de maior volume de vendas.

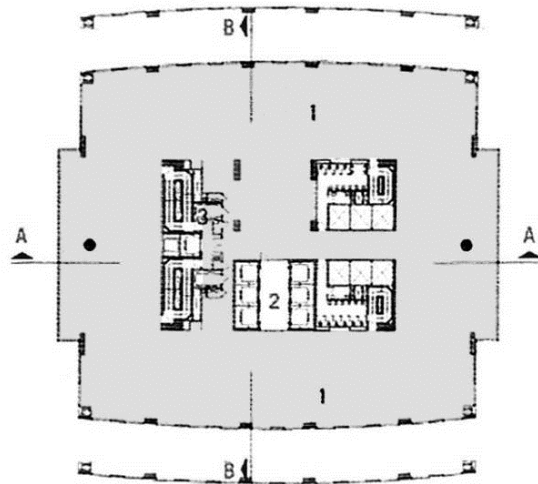
Dentre os 18 edifícios levantados, 16 apresentaram na composição da fachada, vidros, que em sua maioria, são do tipo laminado refletivo, destacando-se as cores: “prata”, “prata neutro”, “verde”, “azul” e “azul intenso”. Apenas dois destes edifícios apresentaram vidros do tipo laminado com película *low-e*, nas cores “verde” e “*royal blue*”. Ressalta-se ainda que, em três destes edifícios foram utilizados como fechamentos opacos envidraçamentos laminados nas cores externas “branca” e “azul”.

A partir dos resultados desse levantamento, que considerou a geometria e a área de plantas dos andares tipo, os sistemas construtivos e vidros empregados, o ano de conclusão, entre outras, foram identificadas três tipologias de andares típicos. Ressalta-se que, para a utilização dessas tipologias, quanto à sua área em planta, adotou-se uma classificação em três categorias, denominadas, aqui, como: “A” (maior), “B” (intermediária) e “C” (menor), conforme se observa nas figuras 1, 2 e 3.

Para simulação, a planta de cada andar típico foi dividida em cinco zonas: quatro periféricas e uma central, sendo que o limite de cada zona periférica era de, aproximadamente 5 metros da fachada de cada edifício. Dentre as plantas dos três edifícios, nota-se que, a planta do edifício B, tem uma parte que não está climatizada (infraestrutura da parte posterior), como assinalado na figura 2.

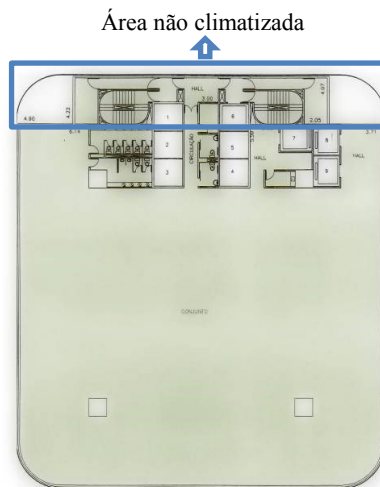
Para as áreas envidraçadas, respeitou-se a exigência de uma relação **área transparente/área de piso** de 15%, presente no Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo. Além dessa, também se respeitou a exigência de uma obstrução para-chamas na fachada, entre as aberturas, com altura mínima de 1,20 m, presente na Instrução Técnica nº 09/2004 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. Desta forma, a relação da **área transparente/área de fachada** adotada foi de 60%, 58% e 56%, respectivamente, para os edifícios A, B e C, o que, apesar de não atender ao especificado na Norma ASHRAE 90.1, deve ser seguido para que o edifício possa ser aprovado junto à prefeitura municipal.

É importante ressaltar que, a orientação solar não foi considerada de acordo com a implantação do edifício no terreno, tanto para o Edifício A quanto para o Edifício B porque a geometria de ambos é basicamente quadrada, e as fachadas possuem vidros em todas as faces. Desta forma, o efeito da orientação torna-se secundário. Para o Edifício C, optou-se pela adoção de uma orientação solar que representa uma situação “mais agressiva” quanto ao impacto da radiação solar, tendo em vista que sua geometria é retangular. Ressalta-se, ainda, que todas as partições internas apresentadas nas plantas foram consideradas como massas térmicas internas, desprezando-se, contudo, os mobiliários.



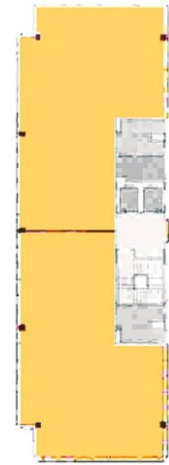
A=2.109 m² neste andar (área média = 1.800 m²)
H (Pé-direito) = 3,0 m

Figura 1 – Planta do andar típico do Edifício “A”



A=1.230 m²/ andar
H (Pé-direito)=2,85 m

Figura 2 – Planta do andar típico do Edifício “B”



A=424 m²/ andar
H (Pé-direito)=2,70 m

Figura 3 – Planta do andar típico do Edifício “C”

3.2. Propriedades térmicas dos vidros

Para se determinar o efeito do fator solar sobre a carga térmica, analisaram-se algumas soluções tipicamente adotadas pelos projetistas, obtendo-se suas propriedades térmicas tanto de catálogos de fabricantes como por meio de contatos diretos com o suporte técnico de um dos grandes fabricantes existentes no mercado.

Dentre as diversas soluções disponíveis, as mais utilizadas têm vidros refletivos laminados com PVB incolor no meio ou com câmara de ar de 12 mm. Essas soluções também se apresentam com película *low-e*. As características térmicas desses produtos e os respectivos valores de Fator Solar estão apresentados e classificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características térmicas dos vidros.

Classificação FS	ALTO		INTERMEDIÁRIO				BAIXO		
	Laminado	Laminado	Laminado	Laminado	Laminado	Duplo	Duplo	Duplo	
Vidro 1	Incolor 4 mm	Verde Intenso* 4 mm	Azul 4 mm	Verde 4 mm	Prata Neutro 4 mm	Prata 6 mm	Azul Intenso* 6 mm	Prata Neutro 6 mm	
Intercalário	PVB incolor	PVB incolor	PVB incolor	PVB incolor	PVB incolor	Cam. AR 12	Cam. AR 12	Cam. AR 12	
Vidro 2	Float Incolor** 4 mm	Incolor** 4 mm	Incolor** 4 mm	Incolor** 4 mm	Incolor** 4 mm	Incolor** 6 mm	Incolor** 6 mm	Incolor** 6 mm	
FS %	56,8	40	38,6	37,2	27	21	20	20	
ABS. %	45,3	53	66,3	54	65	65	73	68	
U (W/m ² K)	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	2,83	2,83	2,83	
TE %	45,3	27	22,1	23,8	11	12	10	10	
RE Ext. %	9,4	20	11,5	22,2	24	23	18	23	
TL %	54,4	30	35,8	28,6	13	17	12	12	
RL Ext. %	10,7	32	11,6	40	28	26	21	28	

Legenda: FS - Fator Solar; Abs. - Absorção; U - W/(m².K) - Transmittância Térmica; TE - Transmittância à Radiação Solar; RE Ext. - Refletância à Radiação Solar da Face Externa; TL - Transmittância Luminosa; RL Ext. - Refletância Luminosa da Face Externa; Verde Intenso* e Azul Intenso* - Designação de mercado dada a um vidro específico de um fabricante; Float Incolor** e Incolor** - Vidro comum Incolor.

Tabela com definições segundo a NBR 15220 Parte 1

Fonte: Cebrace (Janeiro/2010)

A classificação dos fatores solares em três categorias, foi feita enfatizando o potencial de redução de ganho de calor solar conseguido, conforme os seguintes princípios:

- Alto - soluções de fachadas mais simples, compostas por: vidros laminados simples, sendo, na face externa, vidro incolor com espessura de 4 mm; intercalando-se com PVB incolor no meio; e, na face interna, vidro float incolor com espessura de 4 mm. Estas soluções proporcionam uma resistência mecânica e uma grande visibilidade, mas não buscam oferecer uma proteção térmica

- adequada ao nosso clima;
- ✚ Intermediário – soluções de fachadas que são mais largamente utilizadas no mercado atualmente, compostas por: vidros laminados, sendo, na face externa, vidros refletivos ou com película *low-e*, com espessura de 4 mm, nas cores “verde intenso”, “verde” e “azul”; intercalando-se com PVB incolor no meio; e, na face interna, vidro incolor com a mesma espessura. Com estas soluções, já é possível obter-se reduções perceptíveis na entrada do calor, visto que, em sua composição, na face externa, o vidro tem um melhor desempenho. Nota-se que, nesta solução já existe uma preocupação com a proteção solar;
 - ✚ Baixo – as soluções mais complexas são para fachadas com fator solar baixo, que foram compostas por vidros duplos insulados, sendo: na face externa, vidros refletivos com espessura de 6 mm, nas cores “azul intenso”, “prata” e “prata neutro”; intercalando-se a câmara de ar de 12 mm; e, na face interna, vidros incolores com espessura de 6 mm. Estas soluções de fachadas são mais elaboradas, compostas por vidros insulados, ou seja, com câmara de ar e, também, por ser abaixo da exigência da Norma ASHRAE 90.1 que é de 25%. Observa-se que o primeiro elemento dessa família, que não atende à exigência da Norma (FS =27%) tem potencial para cumprir os requisitos, alterando-se o vidro interno, o que pode resultar na eliminação da obrigatoriedade do emprego da câmara de ar.

Ressalta-se que, a composição de vidros com câmaras de ar proporciona uma redução no fator solar, pois essa câmara diminui a transferência de calor por condução para dentro da edificação em relação às soluções onde a câmara de ar não é utilizada, impactando diretamente no valor do fator solar. Convém ressaltar que, independentemente disso, para se obter os melhores resultados, é fundamental que os vidros têm de apresentar baixa transmitância à radiação solar, pois o ar é transparente a ela, não reduzindo esta transmissão da componente do calor que incide no vidro. Os vidros insulados com aplicação de película *low-e* proporcionam, também, uma redução na transmitância térmica do conjunto (U) devido à diminuição do fluxo de calor de onda longa irradiado (material de baixa emissividade), que fica concentrado no vidro, na face externa, e na câmara de ar e, portanto, nas trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação.

Observa-se ainda que, apesar dos vidros, nas cores “azul intenso”, “prata” e “prata neutro”, todos com 6 mm de espessura, apresentarem fator solar de 20%, os percentuais de absorção foram de 73% e 68%, respectivamente. Portanto, mesmo sendo denominados pelo mercado como “refletivos”, eles continuam com alta absorção, ou seja, a não transferência do calor para dentro do edifício, que gera o fator solar de 20%, é mais em decorrência da câmara de ar do que da propriedade de reflexão. Não foram encontrados no mercado, vidros com baixo fator solar e alta refletância.

Com base nestas informações, para as simulações, foram consideradas, para determinar as cargas térmicas sensíveis de resfriamento do ambiente, o **Fator Solar** dos vidros das fachadas variando-se em quatro faixas: 0,87 (vidro comum incolor), 0,57 (alto), 0,40 (intermediário) e 0,20 (baixo – correspondente à exigência prescritiva da Norma ASHRAE). As características térmicas adotadas para esses valores de fator solar estão apresentadas na Tabela 1 desse trabalho.

3.3. Demais características construtivas e de climatização

Para as vedações externas dos três edifícios analisados, adotou-se o sistema construtivo do bloco cerâmico de vedação de 19 cm de espessura revestido com argamassa de cimento e areia e que apresenta espessura total de 22 cm. As características térmicas desse sistema, adotadas para as simulações, são apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Propriedades térmicas dos materiais empregados nas vedações.

Material	Massa Específica kg/m ³	Calor Específico J/(kg.K)	Condutividade Térmica W/(m.K)
Cerâmica do Bloco	1600	840	0,9
Argamassa	2000	1000	1,15

Tabela 3 – Propriedades térmicas das vedações em blocos cerâmicos.

Resistência Térmica m ² .K/W	Capacidade Térmica kJ/(m ² .K)
0,24	87,8

Com base na NBR 16401-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008b), foram consideradas para as fontes de calor internas: 5 m²/pessoa para a taxa de ocupação, 12 W/m² para a potência de iluminação, e 21,5 W/m² para a potência de equipamentos.

Para o sistema de condicionamento ambiental, adotou-se o conceito de “sistema de refrigeração ideal”, pois se analisou apenas a demanda de carga térmica de climatização de cada ambiente, independentemente do rendimento termodinâmico e eletromecânico do sistema de climatização. Definiu-se um termostato com set point duplo, para calcular as cargas térmicas de resfriamento, de forma a manter a temperatura interna de 24°C (para o período de verão) e, para as cargas térmicas de aquecimento, manter a temperatura interna de 22°C (para o período de inverno), quando necessário.

O perfil de ocupação foi considerado pleno e com o funcionamento dos sistemas de climatização, iluminação e equipamentos durante o horário comercial (8h – 18h). Após o horário comercial, e também nos fins-de-semana, foi considerado sem ocupação, e os sistemas de climatização, iluminação e equipamentos estando desligados.

3.4. Tratamento dos resultados

Para cada condição analisada, foi determinado o total anual das cargas térmicas de resfriamento, comparando-se os impactos causados pelos diferentes fatores solares sobre essas cargas.

Além disso, também foi analisado o perfil de temperatura do ar interior para se verificar, os períodos em que foi acionado o sistema de climatização e os valores de temperatura, a fim de se garantir que as simulações foram realizadas como planejado e se seria possível prescindir do sistema de climatização com as melhores soluções de envidraçamento. A título de exemplo são apresentados os perfis da temperatura do ar interior do edifício B, para um dia típico de verão. São apresentados, também, os perfis horários de temperatura do ar interior na Fachada Oeste, do edifício B, para 12 dias típicos, cada dia típico correspondendo a um mês do ano, bem como a temperatura das cinco zonas térmicas no dia típico de verão.

4. RESULTADOS

A redução do fator solar provoca uma redução linearmente proporcional na carga térmica total anual sensível de resfriamento para os três edifícios analisados, para a condição com ocupação, como pode ser visto nas figuras 4 e 5. Verifica-se que a taxa de redução, que é a inclinação dessas retas, é mais intensa para o edifício A, sendo da mesma ordem de grandeza para os edifícios B e C. Esta diferença de taxas de redução é devida à maior dimensão do Edifício A e decorrente da área envidraçada, cuja área do andar típico é quase duas vezes maior que a do Edifício B e quase cinco vezes maior que a do Edifício C.

Dessa forma, comparando-se os resultados relativos ao vidro com o fator solar mais utilizado no mercado (40%) com os de fator solar baixo (20%, recomendado na ASHRAE 90.1), nos edifícios sem ocupação (figura 5), há uma redução significativa na carga térmica sensível de resfriamento (da ordem de 50%) para os 3 edifícios, que é proporcional ao aumento da proteção térmica dada pela redução do fator solar. Para as situações com ocupação, a redução na carga térmica é significativamente menor, pois a contribuição das fontes internas de calor é significativa (figura 4).

Realizando-se a comparação entre os valores de carga térmica decorrentes do uso de vidro comum incolor (Fator Solar = 0,87) com os decorrentes do vidro com Fator Solar de 0,20 (referência que atende às exigências da ASHRAE 90.1), verifica-se que há um aumento extremamente significativo, apresentando uma variação da ordem de 650% para a condição do andar típico **sem ocupação**, para os três edifícios. Fazendo-se, ainda, a comparação entre os valores de Fator Solar 0,57 e 0,20 (referência), as diferenças permanecem significativas, tendo-se aumentos da ordem de 350%, para todos os edifícios. Comparando-se as variações nas cargas térmicas sensíveis referentes aos Fatores Solares de 40% e 20%, o aumento de carga ainda é da ordem de 180% (Tabela 4). Essa análise, muito realizada em estudos que visam evidenciar o impacto de soluções de envidraçamento, representa a “melhor condição possível”, que, na prática, não se verificará, pois há a presença das fontes internas de calor.

Este resultado era esperado porque, praticamente, todo o ganho de calor ocorre através da fachada. A intervenção direta nela representa uma variação extremamente forte na carga térmica.

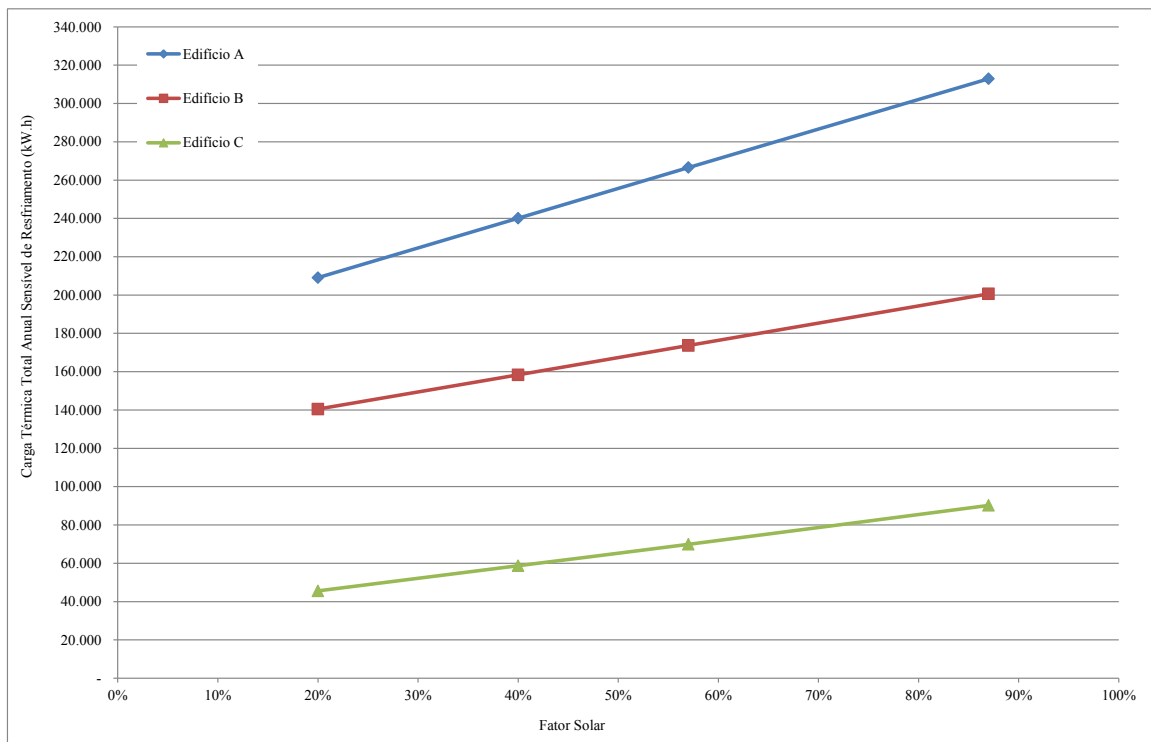


Figura 4 – Carga Térmica Total Anual Sensível de Resfriamento, calculada para um andar típico dos 3 Edifícios, para a condição com ocupação

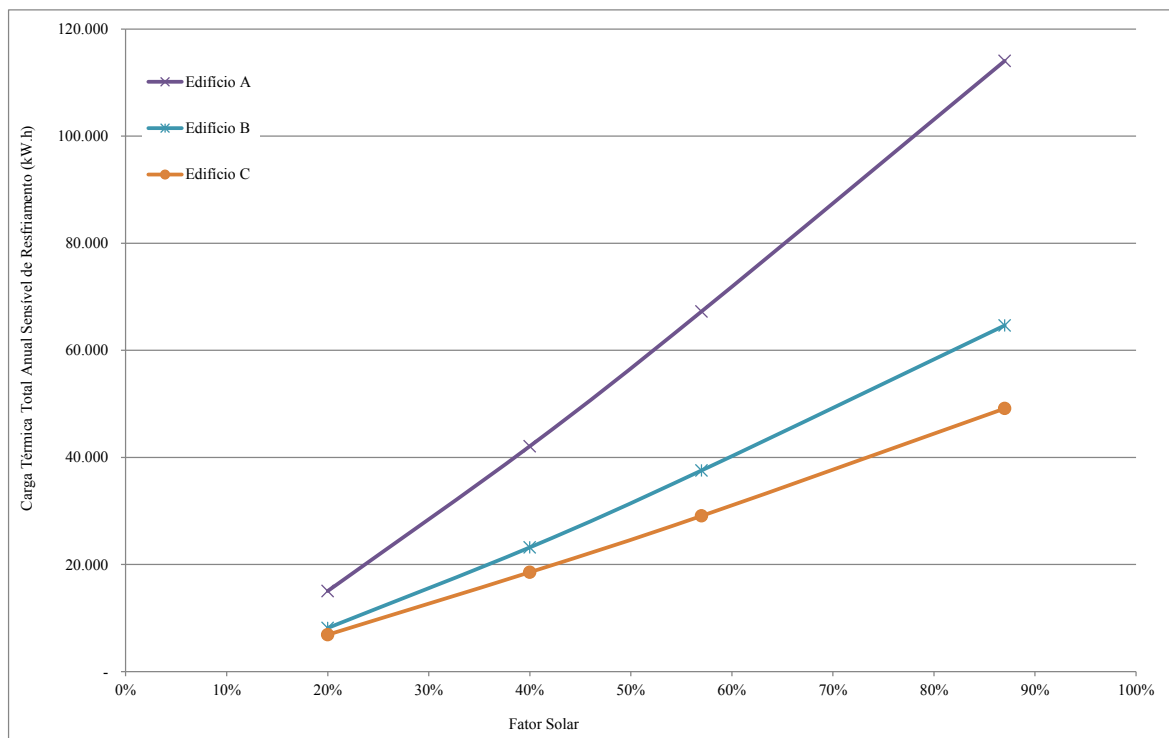


Figura 5 – Carga Térmica Total Anual Sensível de Resfriamento, calculada para um andar típico dos 3 Edifícios, para a condição sem ocupação

Tabela 4 – Redução na Carga Térmica Sensível Total Anual em função do Fator Solar, para a condição sem ocupação.

Fator Solar	U (W/m².K)	Sem Ocupação		
		Edifício A	Edifício B	Edifício C
20%	2,83	Referência	Referência	Referência
40%	5,67	180%	185%	169%
57%	5,67	347%	361%	322%
87%	6,00	658%	693%	613%

Comparando-se a solução correspondente a de vidro com Fator Solar baixo (20%) com aquela de Fator Solar de 87% (vidro comum incolor), para as condições **com ocupação** (tabela 5) o acréscimo na carga térmica ainda é significativo, sendo de 50% e 43%, respectivamente, para os Edifícios A e B, e de 98% para o Edifício C, porém significativamente menores do que o observado para as condições **sem ocupação**. Esses acréscimos, ainda para a condição **com ocupação** vão diminuindo, conforme ocorre a redução na diferença entre os fatores solares, caindo para a faixa de apenas 14% para os edifícios A e B, e da ordem de 29% para o edifício C, quando se comparam as cargas térmicas correspondentes aos fatores solares de 40% (mais utilizado pelo mercado quando não se busca a certificação LEED) e 20% (valor aceito pela certificação ambiental LEED).

Tabela 5 – Redução na Carga Térmica Sensível Total Anual em função do Fator Solar, para a condição com ocupação.

Fator Solar	U (W/m².K)	Com Ocupação		
		Edifício A	Edifício B	Edifício C
20%	2,83	Referência	Referência	Referência
40%	5,67	15%	13%	29%
57%	5,67	27%	24%	53%
87%	6,00	50%	43%	98%

É possível verificar que os valores médios da temperatura do ar interior, no dia típico de verão, fora do período de climatização, são da ordem de 30°C, valores muito acima da temperatura do ar exterior, demonstrando que boa parte da carga térmica permanece concentrada no interior do edifício quando o sistema de refrigeração é desligado (figura 6).

Observa-se que, a ocupação é tão impactante que, independente da condição climática externa e do tipo de envidraçamento, foi necessário o resfriamento do edifício durante os dias úteis, ao longo do ano inteiro no período de ocupação, das 8h às 18h, como ilustrado na figura 7.

Ressalta-se que, mesmo nos dias mais frios, é necessária a climatização para manter a temperatura do ar interno em 24°C. Nota-se que as temperaturas mínimas estão muito altas fora do período de climatização, pois o edifício conservou o calor gerado internamente nos dias anteriores. Isso representa que, como já citado, o edifício retém tanto uma grande quantidade de energia, proveniente da radiação solar que passa pelo envidraçamento como da gerada pela sua ocupação.

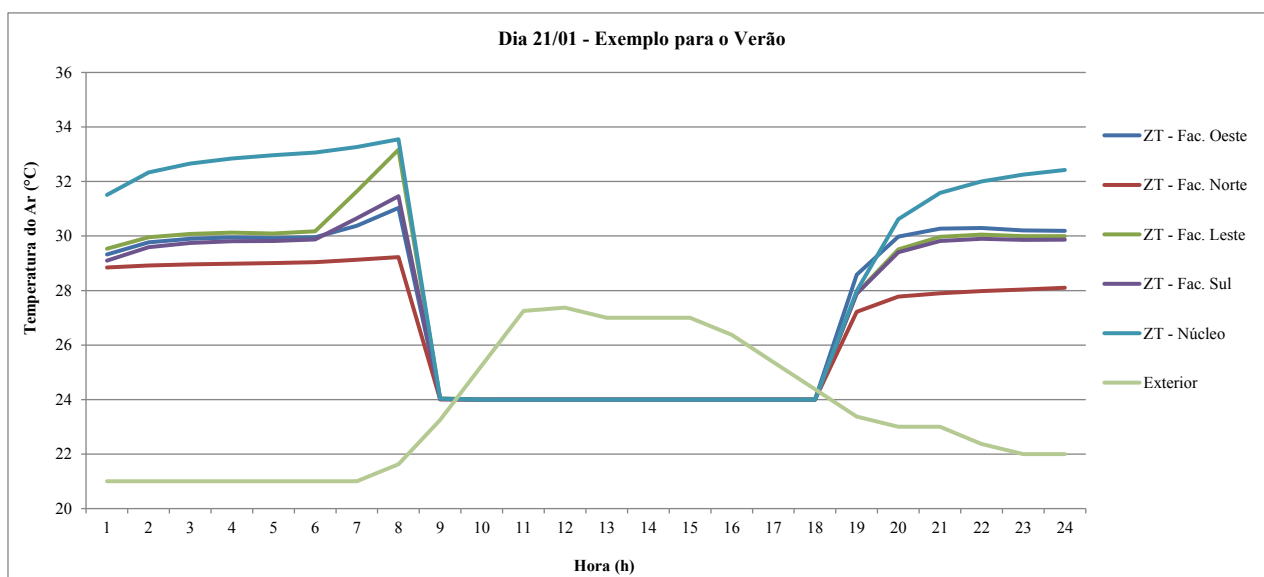


Figura 6 – Temperatura do Ar para um dia típico de verão, calculado para um andar típico do Edifício B, Fator Solar de 40%, com ocupação

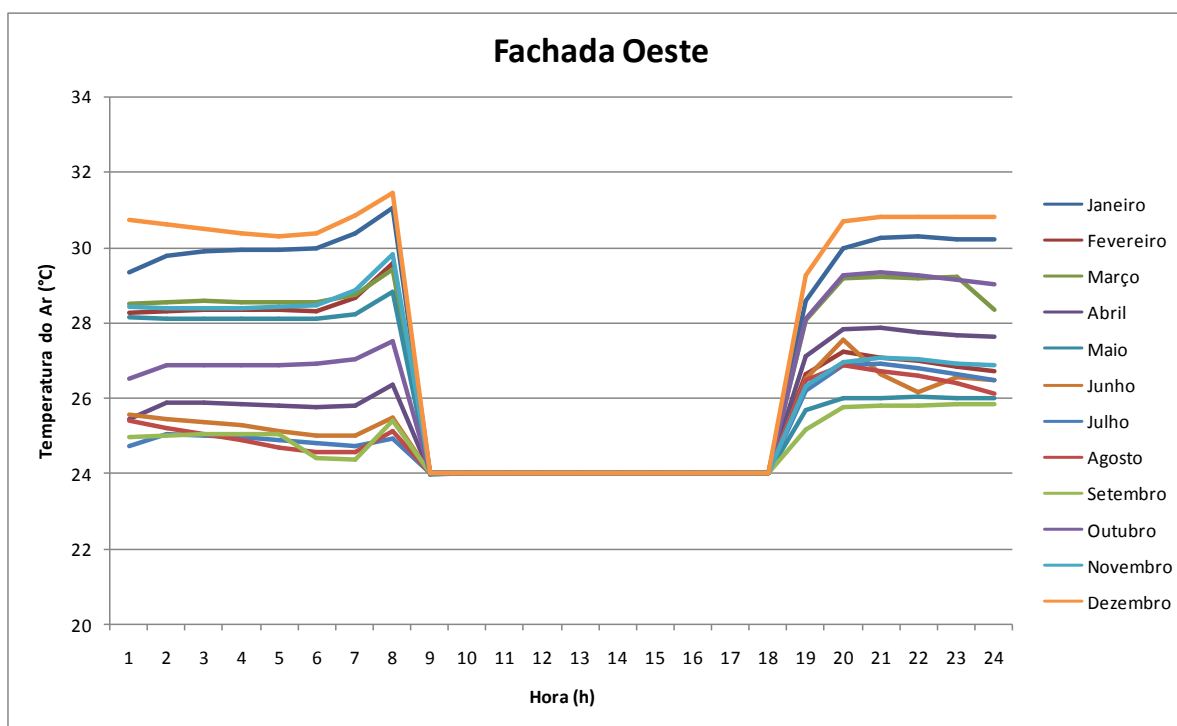


Figura 7 – Temperatura do Ar para um dia típico de cada mês, calculada para a Fachada Oeste de um andar típico do Edifício B, Fator Solar de 40%, com ocupação

5. CONCLUSÕES

A redução do fator solar influi fortemente para a redução da carga térmica de climatização para edifícios sem ocupação ou, mesmo, com baixas taxas de ocupação, sendo que este efeito é pouco afetado pelo tamanho do edifício, mostrando que o atendimento à exigência expressa na ASHRAE 90.1 resultará em uma redução na demanda por carga térmica e, conseqüentemente, no consumo de energia para climatização.

Para as condições com ocupação, a redução do fator solar também impacta na redução das cargas térmicas, porém de forma muito menos significativa. Dessa forma, o aumento de custo decorrente do uso de soluções de envidraçamento de melhor desempenho deve ser considerado tendo em conta o benefício financeiro que será conseguido tanto com a redução do consumo de energia durante a operação do edifício como com o aumento do ganho pela comercialização de um edifício certificado com o selo LEED, que demanda o atendimento às exigências da Norma ASHRAE 90.1.

A utilização do fator solar de 25%, requerido na Norma ASHRAE 90.1, que é tida como exagerada pelo mercado, está adequada ao nosso clima, pois se conseguem reduções de carga térmica, em relação aos resultados obtidos com a solução mais praticada no nosso mercado, que tem adotado comumente Fator Solar da ordem de 40%. Novamente, tem-se aqui uma relação de benefício/custo para ser analisada.

Soluções de envidraçamentos mais simples, compostas por vidros laminados, que são as mais utilizadas atualmente no mercado tem fator solar da ordem de 40% (família intermediário) e produzem uma redução na entrada de calor em relação às classificadas como de “alto fator solar”. Para os que buscam certificação do selo LEED, ou mesmo, um desempenho energético melhor da envoltória do edifício, este tipo de solução (família intermediário) não é suficiente. É importante salientar que, as soluções de envidraçamento que atendem a Norma ASHRAE 90.1 ($FS \leq 25\%$) são as mais complexas, tipicamente de vidros duplos insulados, com câmara de ar e espaçamento de 12 mm, prática que, como dito, não é comum entre os projetistas no Brasil. Ressalta-se que é possível que a solução de $FS=27\%$, na qual não se usa a câmara de ar, pode ser ajustada para cumprir o requisito da Norma, com o emprego de outra solução de vidro de alta refletância no lugar do vidro incolor de 4 mm.

Com a adoção de grandes áreas de piso para os edifícios de escritório e tendo-se que atender à relação **área transparente/área de piso** de 15% imposta pelo código de obra do município de São Paulo, é uma consequência natural que se tenha grandes áreas envidraçadas nas fachadas. Nesse contexto, para se melhorar o desempenho energético das edificações pode-se recorrer elementos de sombreamento externo, tais como, o tradicional brise, de desempenho comprovadamente bom, que infelizmente foi abolido com a adoção do já citado “Estilo Internacional”.

Vale destacar que, muitas vezes, os mais baixos fatores solares são conseguidos com vidros de elevada

reflexão térmica e luminosa em sua face externa, o que pode causar uma reflexão excessiva de energia para o entorno próximo do edifício, chegando, até, a provocar o ofuscamento em pedestres e condutores de veículos, além de imporem uma carga térmica adicional aos edifícios vizinhos. Essa prática, é uma contradição presente na sistemática de certificação do selo LEED, que visa a produção de edifícios de bom desempenho ambiental, mas que não foca, no aspecto de eficiência energética, o impacto causado pelo empreendimento em sua vizinhança próxima.

Observa-se, também, que os vidros com baixo fator solar apresentam baixa transmitância luminosa, na ordem de 12%, o que dificulta a entrada de luz natural no ambiente interno, podendo obrigar a o uso intenso de iluminação artificial, resultando no uso mais intenso do sistema de iluminação artificial, que poderá reduzir o benefício, em termos de consumo de energia, conseguido com a melhoria na fachada. Assim, as análises benefício custo, devem ter um espectro mais largo, considerando a análise energética global da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Ashrae Standard 90-1-2007**: energy standard for building except low-rise residential building. Atlanta: Ashrae, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.
- BLOCK, L. L.; BOTELHO, M. H. C. **Código de obras e edificações do município de São Paulo**. São Paulo: Pini, 1993. 293p.
- CASTRO, E. B. P. **Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação**. 2005. 195f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.minerva.ufrj.br/>>. Acesso em: 05 abr. 2007.
- CEBRACE. **Informações gerais da empresa**. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2010.
- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Etiquetagem de eficiência energética de edificações**. Brasília: Eletrobás/Procel, 2008. v.1.
- CLARO, M. S. **Análise do efeito do envidraçamento sobre a eficiência energética de fachadas em edifícios de escritórios de grande porte na cidade de São Paulo**. 2010. 194f. v.1 Dissertação de Mestrado, Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo, 2010.
- GRATIA, E.; HERDE, A. D. Design of low energy office buildings. **Energy and Buildings**, v.35, p.473-491, 2003.
- GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Edifícios certificados pelo LEED no Brasil**. São Paulo: Green Building Brasil, 2013. (Informação por e-mail)
- GUARDIAN. **Informações gerais da empresa**. Disponível em: <<http://www.guardianbrasil.com.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2010.
- HERNANDEZ NETO, A. et al. Avaliação da viabilidade econômica de soluções de envidraçamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., / ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1999, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: Antac, 1999.
- MICHELATO, R.; MEDEIROS, J. F.; CASTRO, A. P. A. S. Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos através de medições em espectrofotômetro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, Florianópolis, 2006. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2006. p.4178-4187.
- PILKINGTON. **Informações gerais da empresa**. Disponível em: <<http://www.pilkington.com.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2010.
- PIRRÓ, L. F.S. **O impacto das envoltentes verticais no desempenho energético de edifícios de escritórios**. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2005.
- SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA. Polícia Militar do Estado de São Paulo. Corpo de Bombeiros. **Instrução técnica nº09, compartimentação horizontal e compartimentação vertical**. São Paulo: SENSP, 2004. p.218-230.
- U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus: getting started with EnergyPlus**. Washington, DC: U. S. Department of Energy, 2009.
- U. S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Leed 2009 for new construction and major renovations**. Washington: USGBC, 2009.