

# Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional

*Window area and room sizes for daylight and energy efficiency: literature versus computer simulation*

EneDir Ghisi  
John A. Tinker  
Siti Halipah Ibrahim

## Resumo

**A**s janelas podem ser responsáveis por grande parte dos ganhos ou perdas de calor em edificações. Quando suas dimensões não são cuidadosamente determinadas, as janelas podem contribuir para aumentar o consumo de energia de edificações de forma significativa.

Janelas amplas podem proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, mas também podem permitir maiores ganhos ou perdas de calor, o que refletirá no consumo de energia de edificações condicionadas artificialmente. Este artigo confronta resultados obtidos através de simulações computacionais utilizando o programa VisualDOE com informações obtidas na literatura sobre área de janela para se garantir vista para o exterior e também sobre dimensões adequadas para se permitir o melhor aproveitamento de iluminação natural. Conclui-se que as áreas de janelas recomendadas na literatura para garantir vista para o exterior são, na maior parte dos casos, inadequadas, pois tendem a ser maiores do que aquelas obtidas nas simulações para garantir eficiência energética. Também se constata que ambientes de pouca profundidade, como o recomendado na literatura para se permitir melhor aproveitamento da iluminação natural, não são os mais adequados para se garantir menor consumo de energia.

**Palavras-chave:** área de janela, eficiência energética, iluminação natural, simulação computacional.

## Abstract

*Windows may be responsible for a major part of heat gains or losses in a building. If not carefully considered, windows may often contribute to a high energy consumption in a building. Large window areas may provide good daylight provision and a good view, but they also allow for correspondingly large heat gains or losses that will affect the energy consumption of the building. This paper compares results obtained from computer simulation by using the VisualDOE programme with information obtained in the literature about window area for view and also about room dimensions to allow for a better daylight provision. It is concluded that window areas recommended for view tends to be larger than those recommended for energy efficiency and are therefore not adequate. This implies that by specifying a minimum window area for view rather than a window area to optimise the energy efficiency of the building, might incur a higher energy consumption. It was also verified that shallow rooms, as recommended in the literature for better daylight provision, are not appropriate to allow for low energy consumption*

**Keywords:** window area, energy efficiency, daylighting, computer simulation.

EneDir Ghisi  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa  
Catarina  
Caixa Postal 476  
Florianópolis - SC- Brasil  
CEP: 88040-900  
Tel.: (48) 3331-5185  
Fax.: (48) 3331-5191  
E-mail: enedir@labeee.ufsc.br

John A. Tinker  
School of Civil Engineering  
University of Leeds  
LS2 - 9JT  
Leeds - Inglaterra  
E-mail: j.a.tinker@leeds.ac.uk

Siti Halipah Ibrahim  
Unversity Malaysia Sarawak  
Malaysia  
E-mail:  
ihalipah@feng.unimas.my

Recebido em 25/01/05  
Aceito em 17/06/05

## Introdução

O correto dimensionamento da área de janela de edificações é essencial na fase de projeto para se otimizar a eficiência energética, principalmente quando existe integração da iluminação natural com a artificial. Para avaliar a importância da janela no consumo de energia de edificações, Lam (2000a) realizou simulações computacionais com o programa DOE-2 e verificou que a carga de resfriamento devida aos ganhos de calor através das janelas em um edifício residencial multifamiliar localizado em Hong Kong representou 45% da carga térmica total. Para um edifício comercial, Lam (2000b) verificou que os ganhos de calor através da janela representavam quase 50% dos ganhos através do envelope da edificação.

Gratia e de Herde (2003) afirmam que o tamanho das janelas, a forma da edificação, a profundidade e a altura das salas podem, juntos, dobrar o consumo de energia de uma edificação. Lam et al. (1997) analisaram a influência de diversas variáveis no consumo de energia de edificações em Singapura mediante simulações computacionais usando o programa VisualDOE e concluíram que, entre as variáveis relativas ao envelope da edificação, o coeficiente de sombreamento dos vidros e a área de janela são as que mais influenciam no consumo de energia.

Em Salvador, Mascarenhas et al. (1995) estudaram a relação entre área de janela e consumo de energia em 30 edifícios comerciais. Analisando-se os dados apresentados pelos autores, pode-se verificar que edifícios com área de janela superior a 40% da área da fachada apresentaram consumo de energia aproximadamente 50% maior do que aqueles com área de janela inferior a 20%, quando excluídas as áreas de garagem.

De forma bastante simplificada, CIBSE (1998) afirma que, para minimizar o consumo de energia em edificações, a área de janela deveria ser limitada e sugere o limite de 30% da área da fachada.

Bodart e de Herde (2002) investigaram a integração de iluminação natural com artificial mediante simulações computacionais usando os programas ADELIN e TRNSYS. Os modelos simulados consideravam salas com larguras de 2,7 m, 3,6 m, 4,5 m e 5,4 m, e profundidade e altura constantes e iguais a 5,4 m e 3,0 m, respectivamente. Os autores concluíram que o consumo de energia (por unidade de área de piso) com iluminação artificial diminui à medida que a largura das salas aumenta. Tal conclusão está de acordo com a literatura. No entanto, os autores consideraram a profundidade dos ambientes fixa e será mostrado neste artigo que o aumento da profundidade das salas tem importância maior para diminuir o consumo total de energia das mesmas.

Bell e Burt (1995) apresentaram uma revisão sobre o uso de luz natural em edificações e deram orientações para o projeto de janelas e domos. Também relataram que existe um limite de área de janela abaixo do qual não se tem vista suficiente para o exterior, dependendo da posição do usuário em relação à janela. Essas áreas de janelas, apresentadas na Tabela 1, são válidas para janelas localizadas em uma única parede. Essas mesmas áreas são também recomendadas por Tregenza e Loe (1998) e pela norma inglesa *Code of practice for daylighting* (BS 8206-2, 1992), geralmente utilizada como referência no meio acadêmico brasileiro.

Neste artigo, a possibilidade de ofuscamento é desconsiderada, pois Boubekri e Boyer (1992) avaliaram a influência do tamanho da janela no ofuscamento de usuários que estão de frente para ela e verificaram que tal influência é muito baixa. Por meio de uma análise de regressão, verificaram que a alteração no tamanho da janela explica 29,9% da percepção do ofuscamento e que, para usuários posicionados lateralmente à janela, o efeito do tamanho da janela no ofuscamento foi insignificante.

Profundidade máxima da sala - P (em relação à parede com janela)	Área mínima de janela na parede (vista do interior - %)
$P \leq 8\text{m}$	20
$8 < P \leq 11\text{m}$	25
$11 < P \leq 14\text{m}$	30
$P > 14\text{m}$	35

Fonte: BS 8206-2 (1992)

Tabela 1: Área mínima de janela para garantir vista para o exterior

## Objetivo

O principal objetivo deste artigo é confrontar informações disponíveis na literatura sobre iluminação natural com resultados obtidos por meio de simulações computacionais. Áreas mínimas de janela recomendadas pelo *Code of practice of daylighting* (BS 8206-2, 1992) para garantir vista para o exterior são comparadas com áreas ideais de janela para garantir eficiência energética em edificações. Também são comparados resultados referentes à influência da geometria dos ambientes no consumo de energia com recomendações da literatura sobre geometria de ambientes para melhor aproveitamento da iluminação natural.

Neste artigo, toda referência à área de janela indica especificamente a área envidraçada.

## Metodologia

Para atingir o objetivo deste trabalho, as áreas recomendadas para garantir vista para o exterior mostradas na Tabela 1 foram comparadas com áreas de janela para garantir eficiência energética. Este artigo descreve brevemente a metodologia utilizada para se obterem as áreas ideais de janela (para garantir eficiência energética), já publicada em Ghisi (2002) e Ghisi e Tinker (2005).

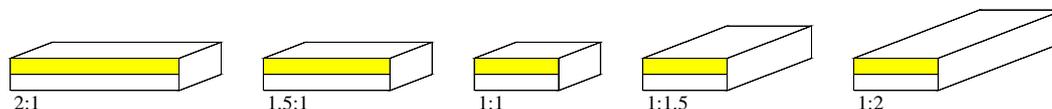


Figura 1 - Perspectiva das cinco geometrias simuladas

K*	Geometria (largura:profundidade – L:P)									
	2:1		1,5:1		1:1		1:1,5		1:2	
	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)
0,60	3,69	1,85	3,08	2,05	2,46	2,46	2,05	3,08	1,85	3,69
0,80	4,92	2,46	4,10	2,73	3,28	3,28	2,73	4,10	2,46	4,92
1,00	6,15	3,08	5,13	3,42	4,10	4,10	3,42	5,13	3,08	6,15
1,25	7,69	3,84	6,41	4,27	5,13	5,13	4,27	6,41	3,84	7,69
1,50	9,23	4,61	7,69	5,13	6,15	6,15	5,13	7,69	4,61	9,23
2,00	12,30	6,15	10,25	6,83	8,20	8,20	6,83	10,25	6,15	12,30
2,50	15,38	7,69	12,81	8,54	10,25	10,25	8,54	12,81	7,69	15,38
3,00	18,45	9,23	15,38	10,25	12,30	12,30	10,25	15,38	9,23	18,45
4,00	24,60	12,30	20,50	13,67	16,40	16,40	13,67	20,50	12,30	24,60
5,00	30,75	15,38	25,63	17,08	20,50	20,50	17,08	25,63	15,38	30,75

Nota: \*K representa o índice de ambiente [ $K = (LP)/(h(L+P))$ ], onde L é a largura da sala, P, a profundidade e h, a altura de montagem entre a superfície de trabalho e o teto.

Tabela 2 - Dimensões das salas para cada índice de ambiente e geometria

## Área ideal de janela

Para verificar a variação no consumo de energia em função da área de janela para ambientes com diferentes geometrias e dimensões, utilizou-se o programa computacional VisualDOE, que foi validado para garantir acuracidade na predição do consumo de energia. Resultados da validação podem ser obtidos em Ghisi (2002). A área de janela na qual o consumo de energia das salas é mínimo corresponde à área ideal de janela (AIJ).

Salas com cinco geometrias (Figura 1), dez tamanhos por geometria (Tabela 2), onze áreas de janela (0% a 100%, com intervalos de 10%) e quatro orientações principais foram simuladas. A altura dos ambientes foi assumida fixa e igual a 2,80 m. Considerou-se somente vidro simples de 6 mm com transmitância térmica de 5,7 W/(m<sup>2</sup>K) e transmitância à radiação visível de 88%. O modelo utilizado corresponde a um edifício de 10 pavimentos sem proteções solares nas janelas. A largura das janelas é igual à largura da fachada principal. Para mais detalhes sobre esta parte da metodologia, pode-se consultar Ghisi e Tinker (2004).

As simulações foram realizadas para as condições climáticas de uma cidade no Reino Unido (Leeds) e sete no Brasil, a saber: Belém, Natal, Salvador, Brasília, Rio de Janeiro, Curitiba e Florianópolis. Propriedades térmicas dos componentes da edificação, padrões de ocupação e de utilização dos equipamentos e sistemas, taxa de ocupação, potência instalada em equipamentos, etc., foram adotados de acordo com as características de cada país. A iluminância de referência na superfície de trabalho (a 75 cm do piso) adotada foi igual a 500 lux. Com relação à densidade de potência instalada em iluminação artificial, considerou-se a necessidade de maiores níveis em ambientes de menores dimensões, conforme relatado em Ghisi (1997) e Ghisi e Lamberts (1998). No total, 17.600 simulações foram realizadas (2.200 para cada cidade).

Para verificar a influência dos parâmetros utilizados nas simulações sobre a área ideal de janela, algumas simulações foram feitas para as condições climáticas de Florianópolis, orientação norte, geometria 1:1 e dimensões correspondentes aos índices de ambiente 0,60 e 5,00. A densidade de potência em iluminação adotada foi de 22,0 W/m<sup>2</sup> e 10,0 W/m<sup>2</sup> (GHISI, 1997), respectivamente para índice de ambiente 0,60 e 5,00. Os outros parâmetros avaliados foram densidade de potência de equipamentos, densidade de ocupação, taxa de infiltração, transmitância térmica e capacidade térmica de paredes e coberturas, cor das superfícies externas, transmitância térmica e transmitância à radiação visível dos vidros. A influência destes parâmetros no consumo de energia e na área ideal de janela foi verificada mediante a simulação de dez casos.

### **AIJ versus área de janela para garantir vista para o exterior**

Como as áreas mínimas de janela para garantir vista para o exterior são definidas em função da profundidade da sala, as dimensões usadas neste trabalho (Tabela 2) foram classificadas de forma semelhante, conforme a Tabela 3. Com as AIJs obtidas nas simulações, cada valor foi comparado com o correspondente na Tabela 1. Usando esta metodologia e a correspondente profundidade de sala dada na Tabela 3, foi possível identificar se a AIJ era maior que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. Nos casos em que isso se verificou, um S (indicando Sim, a AIJ é maior que o mínimo recomendado para vista para o exterior) foi marcado no respectivo espaço em uma nova tabela (Tabela 5). Para AIJs menores que o

mínimo recomendado para vista, o espaço na tabela foi deixado em branco.

### **AIJ versus área de janela qualquer**

Obtidas as áreas ideais de janela, determinou-se também o aumento percentual no consumo de energia que pode ocorrer ao se adotar área de janela diferente da AIJ.

### **Geometria versus consumo de energia**

Para avaliar a influência da geometria dos ambientes no consumo de energia, algumas correlações foram investigadas utilizando-se os resultados obtidos através das simulações computacionais para as cinco geometrias e dez dimensões por geometria. As correlações investigadas foram as seguintes:

- (a) correlação da relação entre área da fachada e volume da sala com o consumo de energia;
- (b) correlação da relação entre área da janela e volume da sala com o consumo de energia;
- (c) correlação da relação entre área da janela e a área de piso da sala com o consumo de energia;
- (d) correlação da largura da sala com o consumo de energia; e
- (e) correlação do inverso da largura da sala com o consumo de energia.

## **Resultados**

### **Influência dos dados de entrada no consumo de energia**

As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados das simulações computacionais para se verificar a influência dos dados de entrada sobre a área ideal de janela, para as condições climáticas de Florianópolis, orientação norte, geometria 1:1 e dimensões correspondentes aos índices de ambiente 0,60 e 5,00

Observou-se que tanto a sala com índice de ambiente de 0,60 (Figura 2) quanto a de 5,00 (Figura 3) apresentaram diferença significativa no consumo de energia entre os dez casos simulados, mas a AIJ foi praticamente a mesma para cada índice de ambiente. Na Figura 2, obteve-se AIJ variando de 14% a 17%, e na Figura 3, de 31% a 40% entre os dez casos. Na segunda situação (índice de ambiente de 5,00), a variação na AIJ foi mais significativa, mas como se pode perceber a adoção de área de janela diferente da AIJ não afeta o consumo de energia significativamente.

K	Geometria (largura:profundidade – L:P)				
	2:1	1,5:1	1:1	1:1,5	1:2
0,60	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m
0,80	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m
1,00	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m
1,25	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m
1,50	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	P ≤ 8m	8 < P ≤ 11m
2,00	P ≤ 8m	P ≤ 8m	8 < P ≤ 11m	8 < P ≤ 11m	11 < P ≤ 14m
2,50	P ≤ 8m	8 < P ≤ 11m	8 < P ≤ 11m	11 < P ≤ 14m	P > 14m
3,00	8 < P ≤ 11m	8 < P ≤ 11m	11 < P ≤ 14m	P > 14m	P > 14m
4,00	11 < P ≤ 14m	11 < P ≤ 14m	P > 14m	P > 14m	P > 14m
5,00	P > 14m	P > 14m	P > 14m	P > 14m	P > 14m

Nota: P representa a profundidade da sala.

Tabela 3 - Classificação da profundidade das salas analisadas (conforme BS 8206-2, 1992)

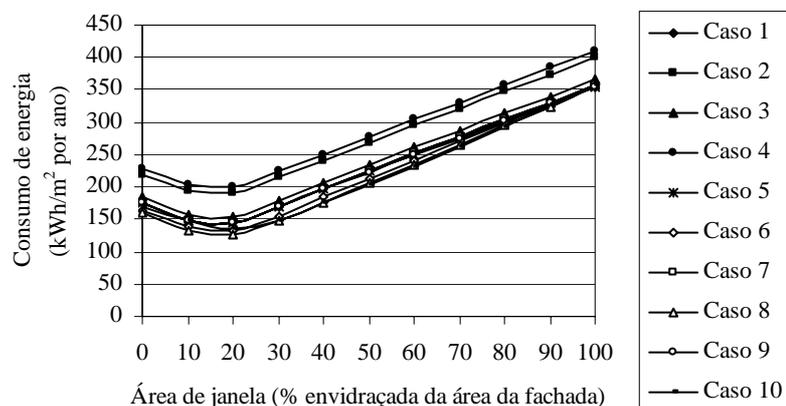


Figura 2 - Análise dos dados de entrada para sala com índice de ambiente de 0,60 e clima de Florianópolis

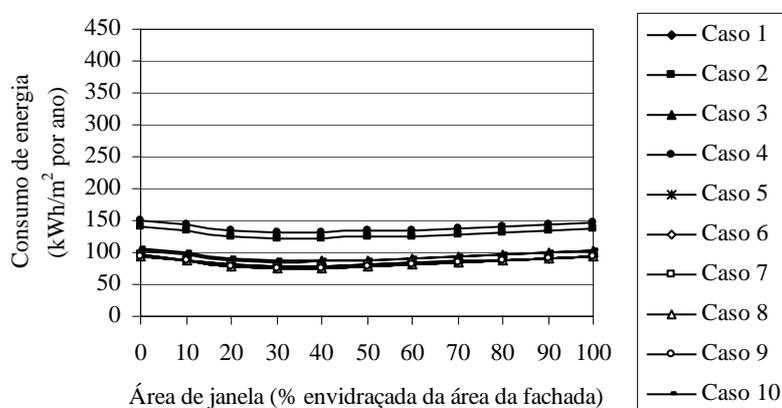


Figura 3 - Análise dos dados de entrada para sala com índice de ambiente de 5,00 e clima de Florianópolis

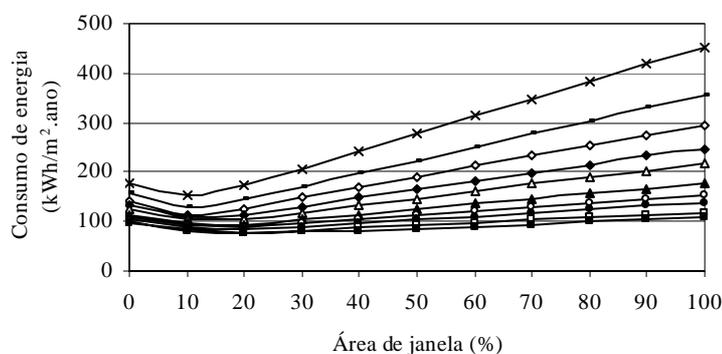
Concluiu-se, através dessa análise, que diferentes parâmetros, tais como densidade de potência de equipamentos, densidade de ocupação, taxa de infiltração, transmitância térmica e capacidade térmica de paredes e coberturas, cor das superfícies externas, transmitância térmica e transmitância à radiação visível dos vidros utilizados, influenciam – como era de se esperar – o consumo de energia, mas não influenciam significativamente a área ideal de janela.

### AIJ versus área de janela para garantir vista para o exterior

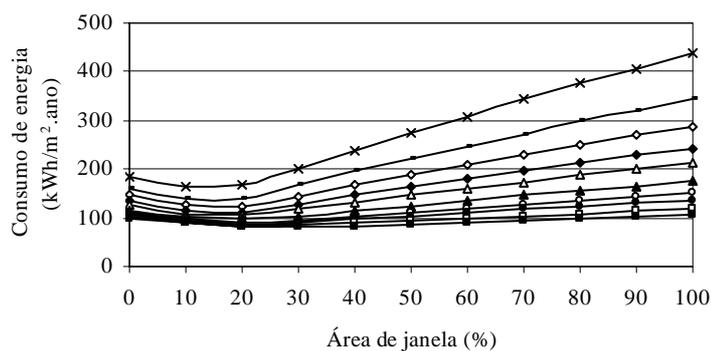
Por meio das simulações computacionais, consumos de energia foram obtidos para cada sala (índice de ambiente), geometria, área de

janela, orientação e cidade. As AIJs foram obtidas identificando-se o menor consumo de energia. A Figura 4 mostra um exemplo para Florianópolis, com os dez índices de ambiente e geometria de 2:1. Para a sala com orientação norte e índice de ambiente 0,60, por exemplo, a AIJ é de 11%. Seguindo-se esse procedimento, as AIJs foram determinadas para todos os outros tamanhos de sala, geometrias, orientações e cidades.

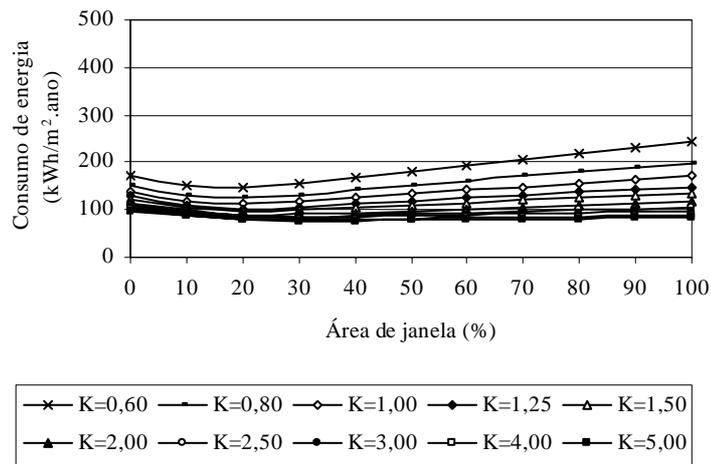
A Tabela 4 mostra as AIJs obtidas para Florianópolis em função dos dez índices de ambiente, cinco geometrias e quatro orientações, em salas condicionadas artificialmente e sem proteções solares na janela. As AIJs para todas as outras cidades podem ser obtidas em Ghisi (2002) ou Ghisi e Tinker (2001).



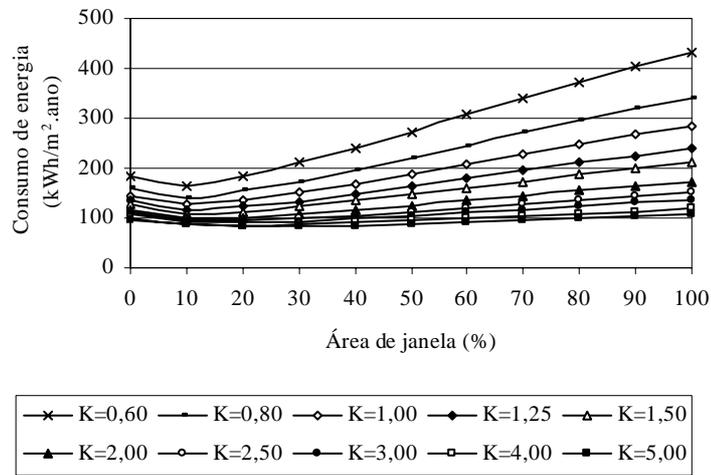
(a) Orientação norte



(b) Orientação leste



(c) Orientação sul



(d) Orientação oeste

Figura 4 - Consumo de energia em função da área de janela para salas localizadas em Florianópolis

K	2:1				1,5:1				1:1				1:1,5				1:2			
	N	L	S	O	N	L	S	O	N	L	S	O	N	L	S	O	N	L	S	O
0,60	11	15	18	10	11	15	20	10	16	19	21	12	20	25	25	15	25	26	31	19
0,80	11	15	19	11	12	16	21	11	17	19	22	12	21	26	26	16	27	27	33	19
1,00	12	16	20	11	13	17	22	11	18	20	24	13	22	27	28	17	28	29	36	20
1,25	13	17	20	12	14	18	23	12	19	21	25	14	24	28	30	17	29	31	38	21
1,50	13	18	21	12	15	19	24	13	20	22	27	15	25	29	32	18	31	32	41	21
2,00	15	20	23	14	17	20	26	15	21	24	30	16	27	31	36	20	34	36	47	23
2,50	16	21	25	15	19	22	28	16	23	26	33	18	30	34	40	22	37	40	53	25
3,00	18	23	26	16	22	24	30	18	25	28	36	19	32	36	44	23	40	43	58	26
4,00	21	27	30	19	26	28	35	21	29	32	43	22	37	41	52	27	45	50	69	29
5,00	24	30	33	22	30	31	39	24	33	36	49	25	42	46	59	30	51	58	81	33

Nota: N, L, S e O indicam as orientações principais.

Tabela 4 - Áreas ideais de janela para salas localizadas em Florianópolis (% envidraçada da área da fachada)

Comparando-se as AIJs obtidas para Florianópolis (Tabela 4) com as áreas mínimas recomendadas para garantir vista para o exterior (Tabela 1), pode-se observar que muitas das AIJs são menores do que as áreas mínimas para garantir vista para o exterior. A mesma tendência foi observada para as outras sete cidades consideradas na análise. Por exemplo, na Tabela 4, para um índice de ambiente de 0,60, geometria de 2:1 e orientação sul, a AIJ é de 18%. Pela Tabela 2, observa-se que, para o mesmo índice de ambiente e geometria, a profundidade da sala é de 1,85 m. Como a profundidade da sala é menor do que 8 m (Tabela 3), a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior seria de 20% (Tabela 1). Portanto, como a AIJ é menor do que o mínimo recomendado para garantir vista, o espaço correspondente na Tabela 5 foi deixado em branco. Tomando-se como outro exemplo o índice de ambiente de 1,50 com geometria de 2:1 e orientação sul, a AIJ é de 21% (Tabela 4). Pela Tabela 2, a profundidade da sala é de 4,61 m – também menor do que 8 m; assim a área recomendada para garantir vista para o exterior continua sendo de 20%. Como a AIJ observada neste exemplo é superior à mínima recomendada para garantir vista, o espaço correspondente na Tabela 5 foi marcado com um S, indicando sim, a AIJ é maior do que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. Esse procedimento foi repetido para todos os outros índices de ambiente, geometrias e orientações, até completar a Tabela 5. Os dados para as outras cidades foram tratados da mesma forma.

Na Tabela 5, em que se exemplificam situações simuladas para Florianópolis, pode-se observar que salas estreitas e profundas (geometrias 1:1,5 e 1:2) tendem a apresentar AIJs maiores do que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. A mesma tendência foi observada para as outras sete cidades.

A Tabela 6 mostra o resultado da análise para todas as cidades. São apresentados os percentuais de casos em que a AIJ é maior do que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. Observa-se, por exemplo, que para a cidade de Leeds apenas 17,5% das salas com geometria de 2:1 têm AIJ maior do que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. Esse percentual aumenta para 50,0% no caso de salas com geometria de 1:2, mas é ainda um percentual relativamente baixo. No caso da cidade de Brasília, os resultados mostram-se mais favoráveis, mas ainda assim muitas das AIJs são menores do que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. Esta análise mostra que existe um conflito entre a AIJ, ou seja, a área

para se garantir menor consumo de energia e a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior. A Tabela 6 mostra também os resultados para cada orientação e percebe-se, em algumas orientações, que nenhuma das AIJs é superior à área mínima para garantir vista para o exterior. Isso mostra que as áreas mínimas recomendadas para se garantir vista para o exterior deveriam ser recomendadas também em função da orientação da janela.

### ***AIJ versus área de janela qualquer***

Também se constatou, por meio das simulações, que a adoção de uma área de janela diferente da AIJ pode aumentar significativamente o consumo de energia no caso de salas com pequeno índice de ambiente. Para salas com grande índice de ambiente, o consumo de energia não aumenta significativamente quando a área de janela adotada é diferente da AIJ. Portanto, considerou-se apropriado verificar a variação percentual do consumo de energia ao se adotar área de janela diferente da AIJ. A Tabela 7 apresenta os resultados para Florianópolis, para salas com geometria de 2:1 e índices de ambiente de 0,60 e 5,00. Por exemplo, escolhendo-se uma área de janela de 30% em uma sala de orientação norte e índice de ambiente de 0,60, observa-se que o consumo de energia será 35,6% maior do que o consumo de energia para a mesma sala com AIJ. Se a área de janela adotada for de 100%, o consumo de energia será 195,6% maior do que adotando-se a AIJ. Considerando-se agora um índice de ambiente de 5,00 com uma área de janela de 30% na orientação norte, em Florianópolis, o consumo de energia será apenas 1,5% maior do que adotando-se a AIJ. A mesma tendência foi verificada para todas as outras cidades.

### ***Geometria versus consumo de energia***

Também se observou, a partir dos resultados das simulações, que salas com pouca profundidade (geometria 2:1 e 1,5:1) e com menores dimensões (menores índices de ambiente) apresentam maiores consumos de energia. Este fato mostra que a literatura disponível, que recomenda tais salas para se promover maior aproveitamento da iluminação natural, na realidade não promove eficiência energética quando estas salas são condicionadas artificialmente e quando existe integração entre os sistemas de iluminação natural e artificial.

K	2:1				1,5:1				1:1				1:1,5				1:2			
	N	L	S	O	N	L	S	O	N	L	S	O	N	L	S	O	N	L	S	O
0,60							S				S		S	S	S		S	S	S	
0,80							S				S		S	S	S		S	S	S	
1,00			S				S		S	S			S	S	S		S	S	S	S
1,25			S				S		S	S			S	S	S		S	S	S	S
1,50			S				S		S	S	S		S	S	S		S	S	S	
2,00		S	S			S	S			S			S	S	S		S	S	S	
2,50		S	S			S	S		S	S			S	S	S		S	S	S	
3,00			S				S			S			S	S			S	S	S	
4,00			S				S			S			S	S	S		S	S	S	
5,00							S		S	S			S	S	S		S	S	S	

Tabela 5 - Situações em que a AIJ para minimizar consumo de energia em Florianópolis é maior do que a área recomendada para garantir vista para o exterior

K	2:1					1,5:1					1:1				
	N	L	S	O	T	N	L	S	O	T	N	L	S	O	T
Leeds	17,5	0,0	0,0	0,0	17,5	22,5	0,0	0,0	0,0	22,5	20,0	5,0	0,0	0,0	25,0
Belém	0,0	12,5	2,5	0,0	15,0	0,0	12,5	10,0	0,0	22,5	0,0	12,5	20,0	0,0	32,5
Brasília	0,0	15,0	25,0	0,0	40,0	0,0	17,5	25,0	0,0	42,5	10,0	22,5	25,0	0,0	57,5
Curitiba	0,0	5,0	20,0	0,0	25,0	2,5	12,5	25,0	0,0	40,0	20,0	25,0	25,0	0,0	70,0
Florianópolis	0,0	5,0	17,5	0,0	22,5	0,0	2,5	25,0	0,0	27,5	2,5	12,5	25,0	0,0	40,0
Natal	0,0	2,5	0,0	0,0	2,5	0,0	10,0	0,0	0,0	10,0	5,0	12,5	10,0	0,0	27,5
Rio de Janeiro	0,0	0,0	7,5	0,0	7,5	0,0	0,0	12,5	0,0	12,5	0,0	2,5	25,0	0,0	27,5
Salvador	0,0	0,0	10,0	0,0	10,0	0,0	0,0	17,5	0,0	17,5	0,0	0,0	25,0	0,0	25,0

Nota: T indica a porcentagem total nas quatro orientações.

Tabela 6 - Porcentagem de salas em que a AIJ é maior do que a área mínima recomendada para garantir vista para o exterior para cada orientação (%)

K	1:1,5					1:2				
	N	L	S	O	T	N	L	S	O	T
Leeds	22,5	22,5	0,0	0,0	45,0	25,0	25,0	0,0	0,0	50,0
Belém	10,0	20,0	25,0	2,5	57,5	17,5	22,5	25,0	12,5	77,5
Brasília	25,0	25,0	25,0	2,5	77,5	25,0	25,0	25,0	10,0	85,0
Curitiba	25,0	25,0	25,0	0,0	75,0	25,0	25,0	25,0	5,0	80,0
Florianópolis	22,5	25,0	25,0	0,0	72,5	25,0	25,0	25,0	5,0	80,0
Natal	20,0	20,0	22,5	0,0	62,5	25,0	20,0	22,5	0,0	67,5
Rio de Janeiro	0,0	22,5	25,0	0,0	47,5	15,0	25,0	25,0	0,0	65,0
Salvador	0,0	5,0	25,0	0,0	30,0	10,0	20,0	25,0	2,5	57,5

Nota: T indica a porcentagem total nas quatro orientações.

Tabela 6 - Continuação

A influência do tamanho da sala no consumo de energia pode ser visualizada na Figura 4, mostrada anteriormente. Com uma área de janela de 30%, por exemplo, uma sala com orientação norte e com geometria de 2:1 em Florianópolis terá consumo de energia de aproximadamente 200 kWh/m<sup>2</sup> por ano se possuir índice de ambiente de 0,60 (3,69 m x 1,85 m) e aproximadamente 75 kWh/m<sup>2</sup> por ano se possuir índice de ambiente de 5,00 (30,75 m x 15,38 m).

Com relação à influência da geometria no consumo de energia das salas, a Figura 5 exemplifica uma situação específica para Florianópolis, com orientação norte e área de janela de 50%. Observa-se que, quanto menor a fachada com janela, menor o consumo de energia, ou seja, o consumo diminui à medida que se diminui a área da fachada e se aumenta a profundidade da sala. Também se percebe que, quanto maior a sala (maior índice de ambiente), menor a influência da geometria no consumo de energia.

Aumento no consumo de energia (%) - K=0,60											
Orientação	Área de janela (% envidraçada da área da fachada)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Norte	17,0	0,0	12,9	35,6	59,4	82,6	106,3	129,0	151,9	174,5	195,6
Leste	13,5	0,7	3,1	25,0	47,6	69,6	90,3	111,6	132,1	151,7	170,4
Sul	19,6	5,7	0,5	7,4	16,6	25,7	34,6	43,3	51,7	59,8	67,9
Oeste	10,5	0,0	11,1	27,0	45,5	63,8	84,8	104,8	124,0	142,9	160,9

Aumento no consumo de energia (%) - K=5,00											
Orientação	Área de janela (% envidraçada da área da fachada)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Norte	23,6	10,4	0,4	1,5	5,5	10,7	15,8	21,2	26,7	32,1	37,2
Leste	20,7	11,1	2,9	0,0	3,0	7,6	12,6	17,7	22,8	27,8	32,6
Sul	24,4	15,8	3,9	0,1	0,5	1,4	2,7	4,3	6,1	7,8	9,5
Oeste	19,0	6,5	0,3	3,1	4,0	7,8	11,7	15,8	20,9	25,7	30,4

Tabela 7 - Aumento percentual do consumo de energia ao se adotar área de janela diferente da AIJ para geometria de 2:1 em Florianópolis, em salas sem proteções solares, condicionadas artificialmente

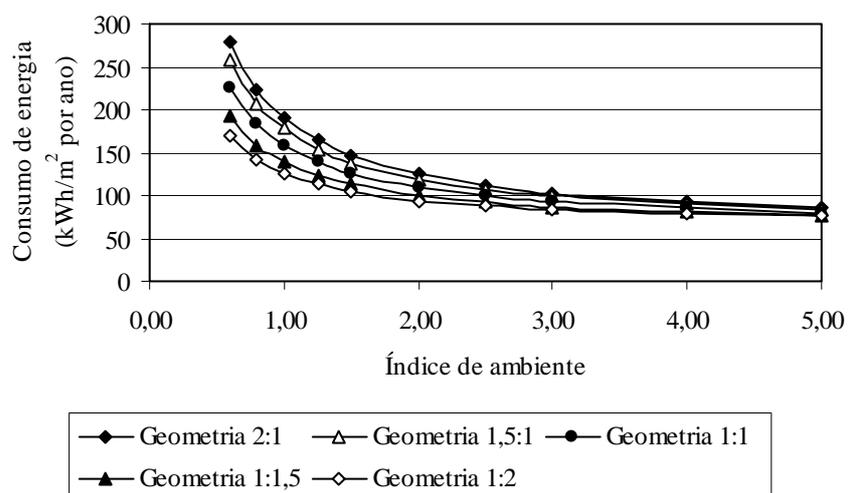


Figura 5 - Variação do consumo de energia para as cinco geometrias em Florianópolis, área de janela de 50% e orientação norte

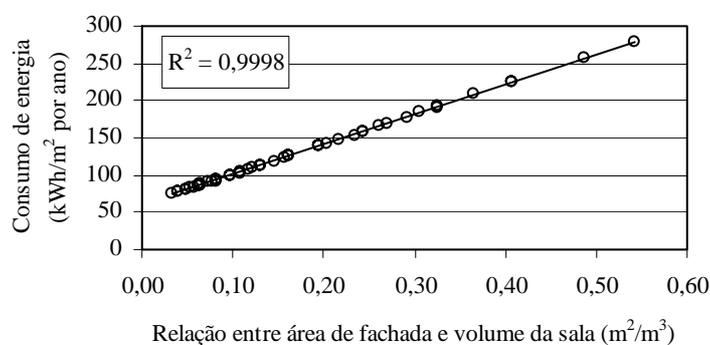


Figura 6 - Correlação da relação entre área da fachada e volume da sala com o consumo de energia - localização em Florianópolis, cinco geometrias, orientação norte, 50% de área de janela

Como existe variação do consumo para as cinco geometrias com um mesmo índice de ambiente, decidiu-se calcular a relação entre a área da fachada e o volume da sala e verificar sua correlação com o consumo de energia. A relação entre a área da fachada e o volume da sala foi calculada utilizando-se as dimensões dadas na Tabela 2, e sua correlação com o consumo pode ser vista na Figura 6. Observa-se uma correlação perfeita entre o consumo e a relação área por volume, em que o consumo é menor para salas com menor relação entre área de fachada e volume. Como a relação entre área e volume resulta no inverso da profundidade da sala (conforme mostra a equação 1), pode-se afirmar que salas com maior profundidade terão os menores consumos de energia por unidade de área.

$$\frac{A}{V} = \frac{H.L}{H.L.P} = \frac{1}{P} \quad (1)$$

onde:

A - área da fachada (m<sup>2</sup>);

V - volume da sala (m<sup>3</sup>);

H - pé-direito da sala (m);

L - largura da sala (m); e

P - profundidade da sala (m).

Em virtude da correlação anterior, verificou-se também a correlação entre o consumo de energia e a relação entre a área de janela e o volume da sala, e também com a relação entre a área de janela e a área de piso da sala. As equações 2 e 3 mostram que tais relações resultam em uma proporção do inverso da profundidade das salas, indicando que também produzirão uma boa correlação com o consumo de energia, como pode ser observado nas Figuras 7 e 8. Estas novas correlações confirmam a correlação entre a profundidade das salas e o consumo de energia.

$$\frac{A_j}{V} = \frac{h.L}{H.L.P} = \frac{h}{H} \frac{1}{P} \quad (2)$$

$$\frac{A_j}{A_p} = \frac{h.L}{L.P} = h \frac{1}{P} \quad (3)$$

onde:

A<sub>j</sub> - área da janela (m<sup>2</sup>);

V - volume da sala (m<sup>3</sup>);

L - largura da sala (m);

P - profundidade da sala (m);

H - pé-direito da sala (m);

h - altura da janela (m); e

A<sub>p</sub> - área de piso (m<sup>2</sup>).

Verificada a correlação entre a profundidade dos ambientes e o consumo de energia, analisou-se

também a correlação entre a largura dos ambientes e o consumo de energia. A Figura 9 apresenta os resultados da correlação com a largura (Figura 9a) e com o inverso da largura (Figura 9b). Observa-se que não existe uma correlação perfeita envolvendo as cinco geometrias como nos casos anteriores. No entanto, a correlação para cada geometria individualmente é também perfeita (variando de R<sup>2</sup> = 0,9997 a R<sup>2</sup> = 1), mostrando que salas com mesma geometria terão menor consumo de energia quanto maior for sua largura, o que está de acordo com as conclusões de Gratia e de Herde (2003). No entanto, percebe-se que para uma mesma largura de sala existem diferentes consumos possíveis, de acordo com a geometria, ou seja, salas mais profundas apresentam menor consumo de energia. Portanto, somente a largura não é tão adequada para caracterizar o consumo de energia de ambientes quanto a profundidade.

## Conclusões

Este trabalho confrontou informações disponíveis na literatura sobre iluminação natural com resultados obtidos por meio de simulação computacional utilizando-se o programa VisualDOE e mostrou que existem equívocos na literatura.

A análise realizada permitiu verificar que existe incoerência entre a área mínima de janela recomendada para garantir vista para o exterior e a Área Ideal de Janela, ou seja, aquela área de janela que garante o menor consumo de energia quando existe integração dos sistemas de iluminação natural e artificial. A adoção da área recomendada para garantir vista para o exterior em detrimento da área ideal de janela implicará maior consumo de energia, pois se mostrou que a área de janela para garantir vista para o exterior é geralmente maior do que a AIJ. Recomenda-se que mais pesquisas sejam desenvolvidas para investigar as áreas mínimas recomendadas para garantir vista para o exterior em função não apenas da profundidade dos ambientes (como é atualmente), mas também em função da largura do ambiente, da geometria, da orientação e da localização geográfica (principalmente da latitude).

Com relação à geometria dos ambientes, verificou-se que salas com menor profundidade, como geralmente recomendado na literatura para se permitir melhor aproveitamento da iluminação natural, não são as mais adequadas para se garantirem edificações energeticamente eficientes. Mostrou-se que existe excelente correlação entre consumo de energia e o inverso da profundidade dos ambientes, ou seja, salas mais profundas apresentam menor consumo de energia em edificações artificialmente condicionadas e com integração da iluminação natural com a artificial.

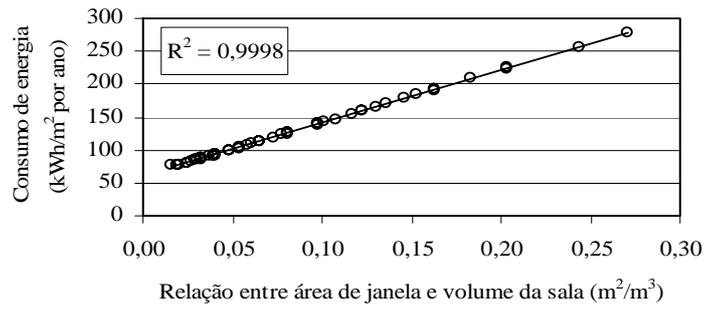


Figura 7 - Correlação da relação entre área da janela e volume da sala com o consumo de energia - localização em Florianópolis, cinco geometrias, orientação norte, 50% de área de janela

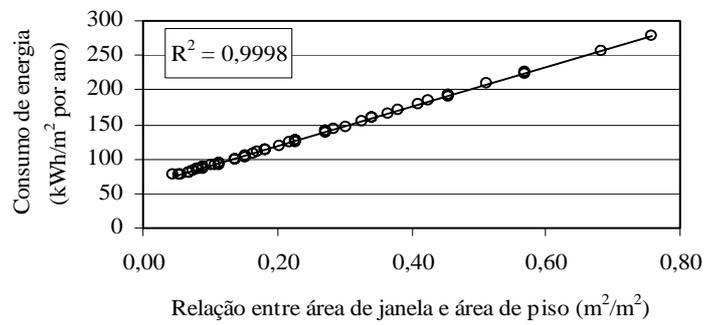
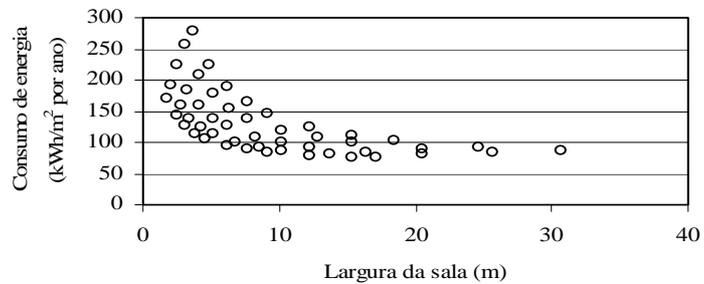
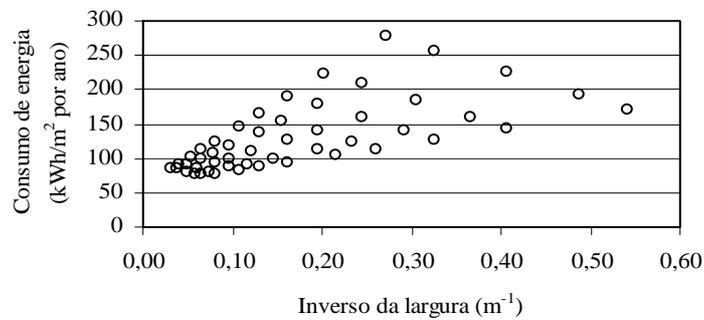


Figura 8 - Correlação da relação entre área da janela e a área de piso da sala com o consumo de energia - localização em Florianópolis, cinco geometrias, orientação norte, 50% de área de janela



(a) Correlação com a largura



(b) Correlação com o inverso da largura

Figura 9 - Correlação da largura da sala (ou seu inverso) com o consumo de energia - localização em Florianópolis, cinco geometrias, orientação norte, 50% de área de janela

## Referências bibliográficas

- BELL, J.; BURT, W. **Designing buildings for daylight**. Building Research Establishment, Watford, England, 1995. 95 p.
- BODART, M.; DE HERDE, A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 5, p. 421-429, 2002.
- BOUBEKRI, M.; BOYER, L. L. Effect of window size and sunlight presence on glare. **Lighting Research and Technology**, v. 24, n. 2, p. 69-72, 1992.
- BS – BRITISH STANDARD. **BS 8206-2** Lighting for buildings – Part 2: Code of practice for daylighting. London, 1992. 36 p.
- CIBSE – THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **Energy efficiency in buildings – CIBSE Guide**. London, 1998.
- GHSI, E. **The use of fibre optics on energy efficient lighting in buildings**. PhD thesis, School of Civil Engineering, University of Leeds, 2002. 295 p.
- GHSI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Originalmente apresentada como Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- GHSI, E.; LAMBERTS, R. Study of the limits of lighting power densities: a proposal of a standard for Brazil. In: EPIC'98 –EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY PERFORMANCE AND INDOOR CLIMATE, 2., and INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY, VENTILATION AND ENERGY CONSERVATION IN BUILDINGS, 3., 1998, Lyon, France. **Proceedings...** v. 1, p. 147-152.
- GHSI, 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.
- GHSI, E.; TINKER, J. A. Potencial de economia de energia em iluminação através da utilização de fibras ópticas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 61-77, 2004.
- GHSI, E.; TINKER, J. A. Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 7., 2001, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings...** v. 2, p. 1307-1314.
- GRATIA, E.; DE HERDE, A. Design of low energy office buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 5, p. 473-491, 2003.
- LAM, J. C. Residential sector air conditioning loads and electricity use in Hong Kong. **Energy Conversion and Management**, v. 41, n. 16, p. 1757-1768, 2000a.
- LAM, J. C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. **Building and Environment**, v. 35, n. 1, p. 19-26, 2000b.
- LAM, J. C.; HUI, S. C. M.; CHAN, A. L. S. Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings. **Energy and Buildings**, v. 26, n. 2, p. 189-197, 1997.
- MASCARENHAS, A. C. R.; D'ALCÂNTARA, A.; NERY, J. M. F. G.; FREIRE, T. M. M. Conservação de energia em edificações comerciais da cidade do Salvador. In: ENCONTRO NACIONAL, 3., e ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 1995, Gramado, Rio Grande do Sul. **Anais...** p. 421-426.
- TREGENZA, P.; LOE, D. **The design of lighting**. London: E & FN Spon, 1998. 164 p.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos que permitiu o desenvolvimento da tese de doutorado da qual este artigo é derivado; ao LabEEE/UFSC, pelos dados climáticos das cidades brasileiras; e ao *British Atmospheric Data Centre*, pelos dados climáticos de Leeds.