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

INFLUÊNCIA DA ÁREA DE ABERTURA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CUIABÁ-MT

Elaise Gabriel (1); Renata Mansuelo Alves Domingos (2); Gabriela Meller (3); Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (4); Daniele Laurini (5); Giane de Campos Grigoletti (6)
(1) Engenheira Civil, Mestranda Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, elaisegabriel@gmail.com
(2) Engenheira Civil, Mestranda Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, renata@labcon.ufsc.br
(3) Msc Engenharia Civil, Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, gabrielameller0@gmail.com
(4) Msc Engenharia de Edificações e Ambiental, Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, emeliguarda@gmail.com
(5) Engenheira Civil, Universidade do Estado de Mato Grosso, danielelaurini7@gmail.com
(6) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, giane.c.grigoletti@ufsm.br
Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria-RS, 97105-900

RESUMO
A área de janelas permite e entrada de iluminação natural na edificação, entretanto, também permite maiores trocas térmicas entre interior e exterior. O projeto de um edifício, sua geometria, tamanho e orientação adequada das aberturas podem resultar em grande economia de energia. Esta pesquisa utiliza uma metodologia já consolidada para cálculo da área ideal de janela, que visa o menor consumo de iluminação artificial e ar condicionado, considerando um ambiente residencial, na cidade de Cuiabá-MT. A metodologia foi dividida em 3 etapas, a primeira consiste na determinação das geometrias, a segunda na caracterização dos sistemas construtivos e, na última etapa ocorreram as simulações no DesignBuilder. Considerou-se a área de abertura a cada 10% da fachada, para três geometrias (1:2, 1:1,5 e 2:1) e três sistemas construtivos, U1 de transmitância de 3,19 W/m²K, U2 de 2,05 W/m²K e U3 de 0,22 W/m²K. Os resultados mostraram que ambientes com aberturas na fachada sul consomem menos energia e que essa orientação permite aberturas maiores, assim como o uso de geometrias com maior profundidade. Além disso, as propriedades térmicas da envoltória influenciam a área ideal de janela e, quanto maior a transmitância térmica, maiores são as aberturas que podem ser usadas. A presente pesquisa mostrou a importância de considerar as áreas adequadas e a implementação de janelas nos projetos através da simulação.
Palavras-chave: consumo de energia, área de janela, sistemas construtivos.

ABSTRACT
Windows allow the entrance of natural lighting in the building, however, it also allow the entry and exit of thermal load. The design of a building, its geometry, size and proper orientation of the openings can result in great energy savings. This research uses the already consolidated methodology to calculate the ideal window area, which aims to reduce the consumption of artificial lighting and air conditioning, considering a residential environment, in the city of Cuiabá-MT. The methodology was divided in 3 steps, the first one consists in the determination of the geometries, the second in the characterization of the constructive systems and in the last step the simulations were performed in DesignBuilder. The opening area was considered for each 10% of the facade, for three geometries (1:2, 1:1,5 and 2:1) and three constructive systems. The results showed that the openings in the southern facade consume less and that this orientation allows larger openings, as well as the use of geometries with greater depth. In addition, the thermal properties of the envelope influence the window area so the higher the thermal transmittance, the larger the openings. This research showed the importance of the appropriate window areas in the projects through simulation.
Keywords: energy consumption, window area, constructive systems.

1. INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento do consumo de energia no mundo trouxe diversas consequências, como impactos ambientais tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. O sistema de iluminação é o grande responsável pelo dispêndio de energia de edificações. De acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018), o consumo de energia referente ao ano de 2017 para edificações comerciais, residenciais e públicas foi de 50,8%, sendo 17,1% do valor total consumido apenas por edificações comerciais.

Diante desse cenário, surge a necessidade de se estudar estratégias que objetivam a redução de eletricidade, em especial, o consumo em iluminação artificial e sistemas de condicionamento artificiais, os maiores consumidores de energia em edificações comerciais. Rupp e Ghisi (2017) citam que dentre essas estratégias, as que mais se destacam são a integração da iluminação artificial com a natural e a utilização da ventilação natural de forma a reduzir a carga térmica da edificação e por consequente, o consumo em sistemas de ar-condicionado.

Uma maneira de economizar energia é utilizar a iluminação natural como fonte de luz para ambientes internos (GHISI, TINKER, 2001). Por este motivo, a iluminação natural, apesar de ser variável ao longo do ano, deve ser estudada de modo que a elaboração de projetos luminotécnicos vise a sua utilização sempre que possível, recorrendo à iluminação artificial somente quando não for possível suprir as necessidades de iluminação. Além de colaborar com a redução do consumo de eletricidade, de 35% a 50% de redução, a utilização da luz natural pode contribuir com o aumento da satisfação do usuário e com o seu conforto visual, aumentando assim, sua produtividade e desempenho (ANDER, 2005).

A redução do consumo de energia elétrica também pode ocorrer por meio do dimensionamento ideal das aberturas. As janelas possuem importante tarefa de fornecer visão exterior, iluminação e ventilação natural, além de contribuir com grande parte dos ganhos e perdas térmicas da edificação. Quando fatores como sombreamento, orientação tipo e tamanho de aberturas não são corretamente especificados, podem contribuir significativamente para o aumento do consumo de energia elétrica (LEÃO et al., 2008). Ghisi, Tinker (2005) afirmam que o dimensionamento correto de janelas deve ser realizado já nas fases de projeto da edificação de modo que a eficiência energética seja otimizada, especialmente, se ocorrer a integração da iluminação artificial com a natural.

Na pesquisa de Fossati e Lamberts (2010) foi concluído que o percentual de abertura na fachada é a medida de conservação de energia que possui maior relevância na quantificação da eficiência energética da edificação, áreas entre 17-19% receberam classificação A no RTQ-C. Santana e Ghisi (2009) estabelecem um aumento de 2,9% no consumo elétrico a cada 10% de aumento de área envidraçada. Ao variar a área de abertura em relação a fachada em edifícios de escritório na cidade de Londrina – Paraná, percebe-se que a variação no consumo de energia chega a 15% (NASCIMENTO; BARBOSA, 2009).

Estudos que variaram a geometria da edificação, orientação e tamanho das aberturas foram realizados por Susorova et al. (2013) que afirmam que a combinação desses fatores influencia de forma significativa, principalmente em climas quentes, chegando a obter 14% de redução de consumo de energia. Ao analisar diferentes casos para a cidade de Florianópolis, Rupp e Ghisi (2017) concluíram que a integração entre luz natural e artificial com ventilação híbrida resultou no menor consumo de energia, com redução de 4,2% a 64,9%, possibilitando a aplicação de áreas de aberturas ainda maiores.

Nesse contexto, pretende-se aplicar a metodologia desenvolvida por Ghisi e Tinker (2001), para dimensionamento de área ideal de janela para edificações comerciais na cidade de Cuiabá – Mato Grosso, ao se variar diferentes sistemas construtivos para fachadas, de forma a analisar a influência das transmitâncias térmicas no consumo de energia elétrica nas diferentes aberturas simuladas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar a influência de diferentes sistemas construtivos no consumo de energia elétrica e no dimensionamento de área ideal de janela com finalidade comercial em Cuiabá – Mato Grosso, de acordo com a metodologia de Ghisi e Tinker (2001).

3. MÉTODO

Para alcançar o objetivo descrito acima, a metodologia foi dividida em três etapas principais com base na metodologia desenvolvida por Ghisi e Tinker (2001). A primeira etapa correspondeu na determinação das salas de referência. Na segunda etapa foram definidos os sistemas construtivos de fachadas. Por fim, na última etapa foram realizadas as simulações.

3.1. Determinação das salas de referência

Com base na metodologia de dimensionamento de área de janelas, foram definidas três salas, com modelos de geometrias de 1:2, 2:1 e 1:1,5, essas geometrias foram escolhidas por serem usualmente mais utilizadas nos edifícios de escritórios em Cuiabá – Mato Grosso. O índice de ambiente foi calculado através da Equação 1.

$$K = \frac{(CL)}{(C + L)h} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

K é o índice de ambiente da sala;

C é o comprimento da sala [m];

L é a largura da sala [m];

h é a altura entre a superfície de trabalho e as luminárias [m].

A partir das geometrias, o comprimento das salas pode ser expresso em função das larguras e, a Equação 1 pode ser:

Quando C = 2L, então L = (3,0/2,0)Kh;

Quando L = 2C, então C = (3,0/2,0)Kh;

Quando C = 1,5L, então L = (2,5/1,5)Kh;

A Tabela 1 apresenta as dimensões para cada sala de acordo com as geometrias e índices de ambiente.

Tabela 1 - Índices de ambiente e dimensões em metros

K	1:2		2:1		1:1,5	
	L	C	L	C	L	C
0,80	2,46	4,92	4,92	2,46	2,73	4,10

3.2. Determinação dos sistemas construtivos

Foram elaborados três modelos de sala combinando três valores de transmitância térmica, com o intuito de analisar o consumo relativo às transmitâncias térmicas para cada porcentagem de área de abertura simulada. O primeiro possui transferência térmica de 3,19 W/m².k, sendo o sistema mais difundido no estado de Mato Grosso. De forma a aprimorar o primeiro sistema, isolantes térmicos foram adicionados em dois novos sistemas construtivos. Assim, o segundo modelo é o sistema construtivo com placa de gesso e camada de ar, que possui transmitância térmica igual a 2,05 W/m²K. O último sistema que foi simulado foi o de placa de gesso com isolante de lã de rocha, com uma transmitância térmica de 0,22 W/m².k. Os materiais que compõem os sistemas estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades dos materiais construtivos (continua)

Sistema construtivo	Composição (de dentro para fora)	Espessura (cm)	Transmitância térmica (W/m²K)
U1	Reboco	2	3,19
	Tijolo cerâmico furado	10	
	Reboco	2	
U2	Placa de gesso	2	2,05
	Camada de ar	5	
	Tijolo furado	10	
	Reboco	2	

Tabela 2 - Propriedades dos materiais construtivos (continuação)

Sistema construtivo	Composição (de dentro para fora)	Espessura (cm)	Transmitância térmica (W/m²K)
U3	Placa de gesso	2	0,22
	Camada de ar	5	
	Lã de rocha	15	
	Placa cimentícia	2	

3.3. Simulação das geometrias

A ocupação da sala foi definida como comercial, com funcionamento das 7h às 19h, com densidade de potência de iluminação de 12,5 W/m² de forma a atingir 500 lux de iluminância nas superfícies de trabalho. Adotou-se lâmpadas LED, com densidade de potência normalizada de 2,5 W/m²-100 lux, totalizando em 12,5 W/m². Cada sistema construtivo foi simulado para cada geometria e para todas as orientações principais (norte, sul, leste e oeste).

Cada geometria foi simulada com área de vidro variando de 0 a 100% da fachada, com incrementos de 10%, como representa a Figura 2. Foi utilizado apenas vidro simples, com coeficiente de ganho de calor solar de 0,82, transmissão de luz visível de 0,88 e transmitância térmica de 5,77 W/m².K. Não foi utilizado sombreamento nas janelas, embora seja usualmente necessária a utilização de brises, no clima de Cuiabá, os dispositivos não são comumente adotados e, portanto, não foram levados em consideração nas simulações.

Foi adotado o ar condicionado do tipo *split,* com coeficiente de performance de 3,40. A densidade de carga de equipamentos e de pessoas foi utilizada conforme o hábito de ocupação automático de escritórios, disponibilizado pelo programa computacional, cujo valor é de 11,77 W/m² para equipamentos de escritório e, ocupação de 0,11 pessoas/m², com taxa metabólica de atividade leve de trabalho de escritório.

Foram utilizados dois sensores de iluminação natural, cada um cobrindo 50% da área de piso, separados no comprimento da sala, conforme a Figura 1 abaixo.

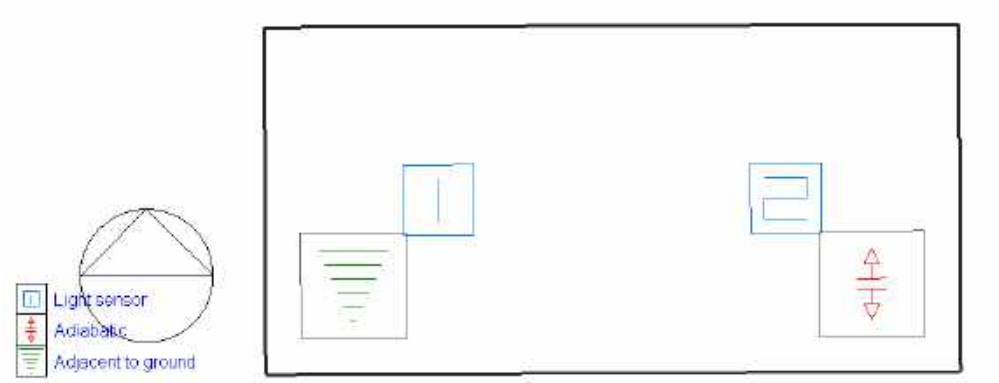


Figura 1 - Sensores de iluminação natural

Para tanto, os valores foram interpolados a cada variação de 10% de área de vidro, cuja interpolação foi realizada por meio de linhas de tendência com função polinomial de ordem 6, a qual apresentou melhor coeficiente de determinação (R²) (Figura 2).

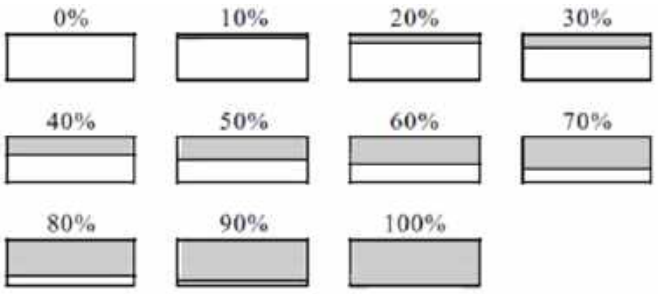


Figura 2 - Área de janela. Fonte: adaptado de Ghisi e Tinker (2001).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As simulações mostraram o consumo de energia elétrica de acordo com as aberturas especificadas anteriormente. Com o objetivo de identificar a área ideal de janela que resulte no menor consumo por iluminação artificial e condicionamento de ar, diferentes sistemas construtivos foram simulados e estão representados nas figuras abaixo.

Para a análise dos diferentes sistemas construtivos das fachadas, a orientação oeste foi fixada. Essa orientação foi escolhida para representar os resultados por causa da alta incidência solar que causa maior consumo de energia elétrica devido ao condicionamento de ar. A orientação foi analisada para cada geometria (1:2, 2:1 e 1:1,5). Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 3, 4 e 5.

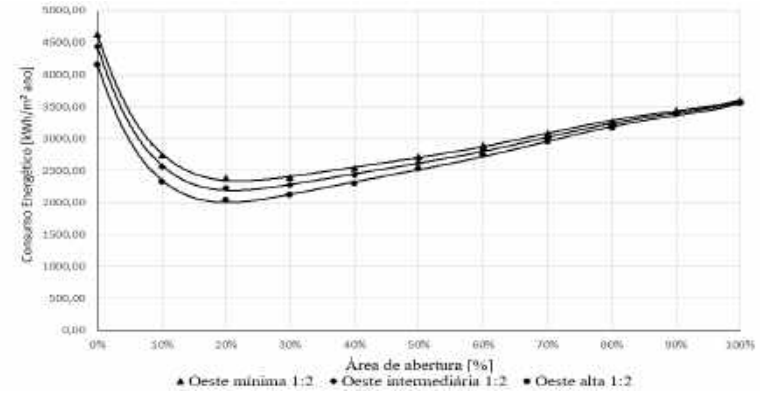


Figura 3 - Consumo energético para três transmitâncias, oeste, 1:2

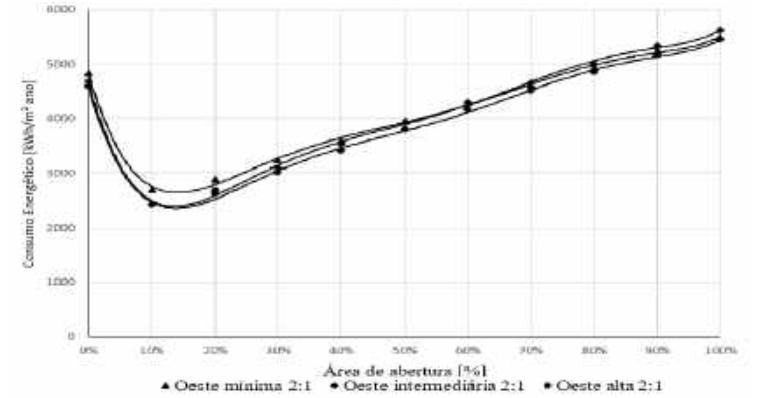


Figura 4 - Consumo energético para três transmitâncias, oeste, 2:1

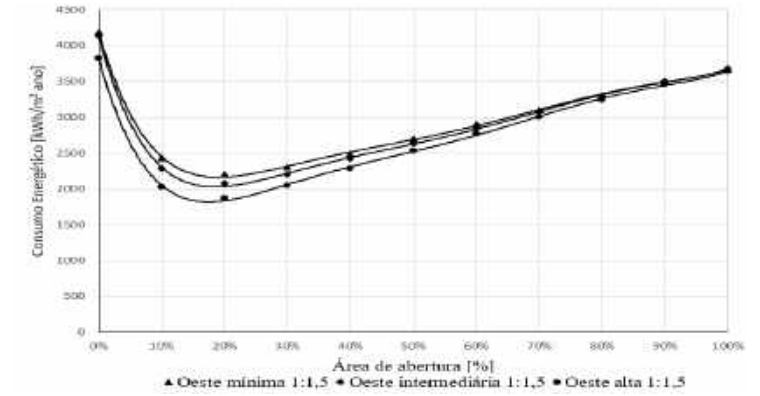


Figura 5 - Consumo energético para três transmitâncias, oeste, 1:1,5

Observa-se que em todas as geometrias, o sistema construtivo formado por placa de gesso, camada de ar, lã de rocha e placa cimentícia apresenta menor consumo de energia elétrica, devido a menor transmitância térmica. Isso acontece, principalmente, pelo isolante térmico de lã de rocha. Os sistemas construtivos com média e alta transmitância térmica (Umínima, Uintermediária) apresentaram valores maiores de consumo energético. Esses sistemas também possuem maiores valores de capacidade térmica, o

que influencia o aumento no consumo de energia, como corroboram Roriz, Chvatal e Cavalcanti (2009). Os resultados obtidos em função das diferentes transmitâncias térmicas, com orientação fixa em oeste, estão representados nas Figuras 6, 7 e 8.

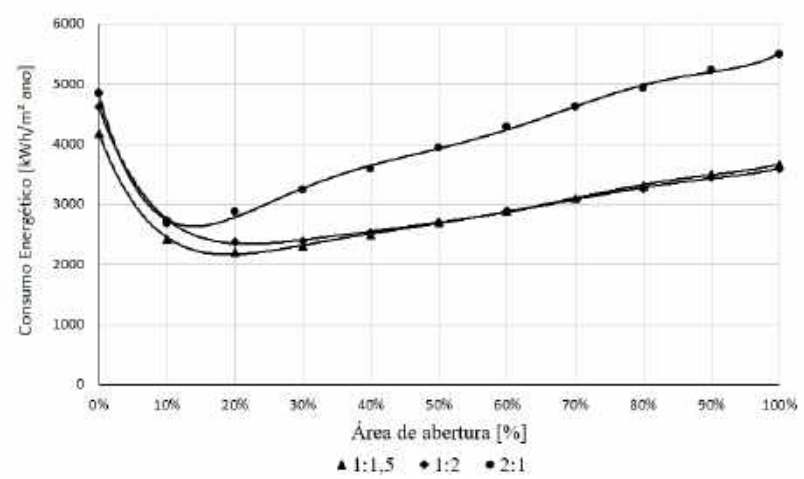


Figura 6 - Consumo energético para as três geometrias, Uminima, oeste.

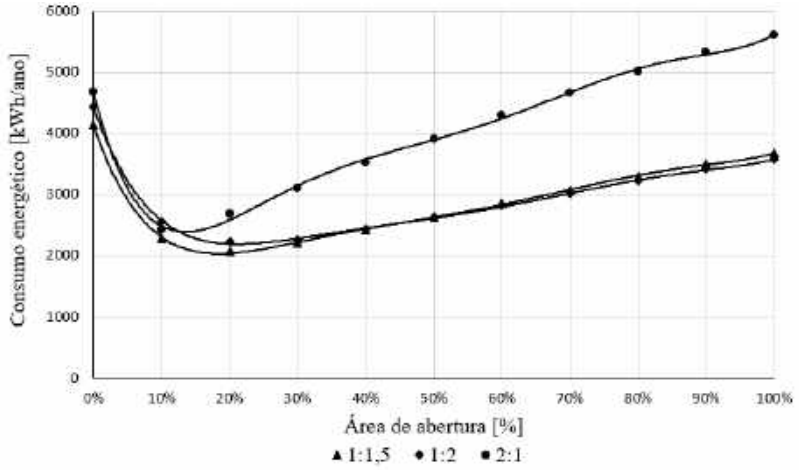


Figura 7 - Consumo energético para as três geometrias, Uintermediaria, oeste.

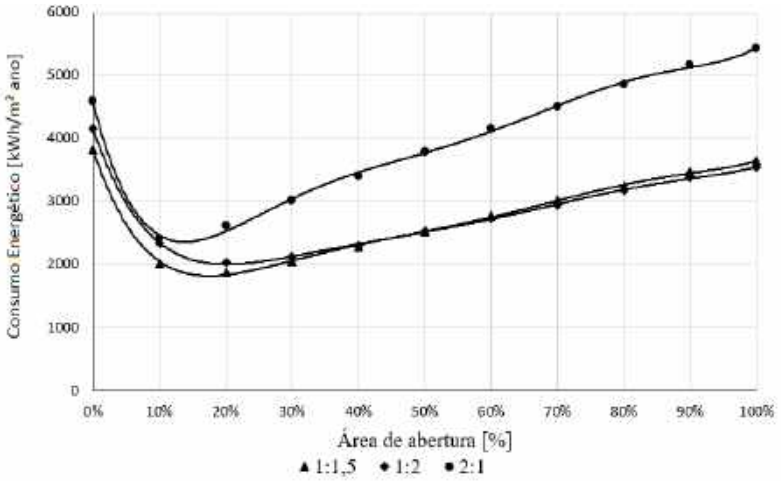


Figura 8 - Consumo energético para as três geometrias, Ualta, oeste.

A influência da área de abertura é dada em relação a profundidade da sala. A geometria 2:1 tem maior aumento de consumo de energia se comparada com a 1:2. Isso ocorre por causa da entrada de carga térmica pelo vidro por meio da irradiação solar, a geometria 2:1 possui maior área de vidro e, portanto, permite maior entrada térmica por metro quadrado. Isso demonstra que quanto mais profunda a sala, melhor fica a locação da janela, em termos de consumo.

Para analisar as orientações, a envoltória foi fixada com o material que resultou em maior consumo (Umínimo), para cada geometria, como mostram as Figuras 9, 10 e 11.

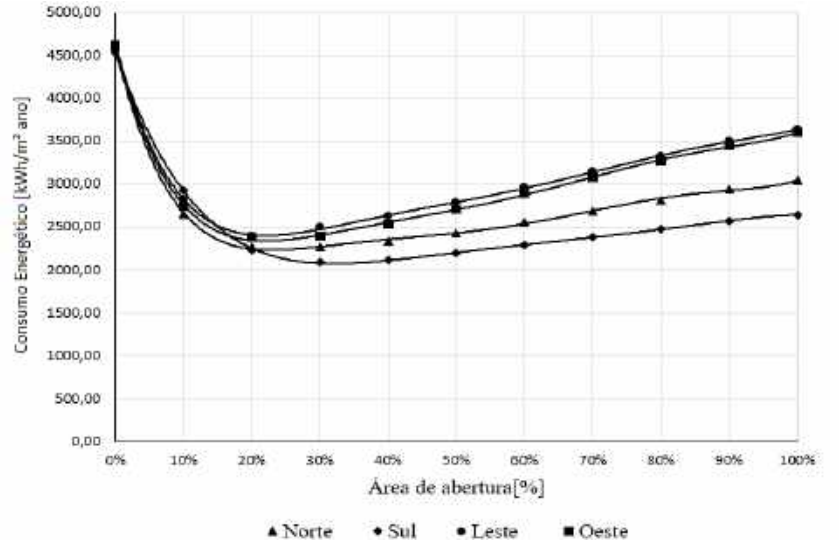


Figura 9 - Consumo energético para as quatro orientações, Uminima, 1:2

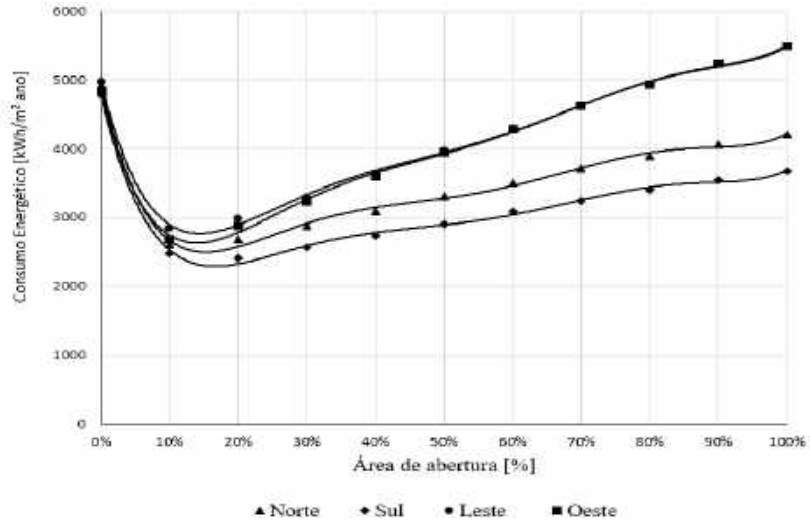


Figura 10 - Consumo energético para as quatro orientações, Uminima, 2:1

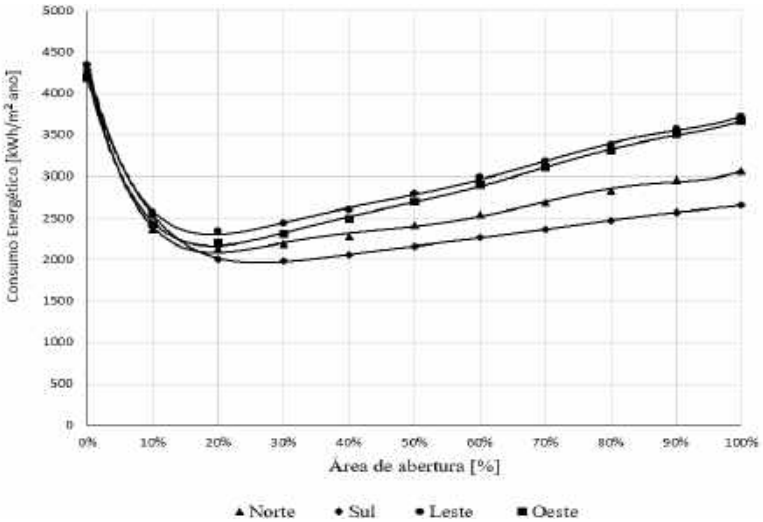


Figura 11 - Consumo energético para as quatro orientações, Uminima, 1:1,5

A orientação que apresenta o maior consumo de energia elétrica é Oeste, devido a carga térmica nessa posição solar. Essa fachada é a que mais recebe radiação, principalmente durante a tarde, o que resulta em

pior desempenho energético. Paralelo a isso, a orientação sul é a que recebe menor incidência solar, resultando em menor consumo de energia elétrica. No meio desses extremos estão as orientações leste e norte, que podem apresentar consumos semelhantes. A orientação leste recebe a maior parte da radiação durante o período da manhã e, a orientação norte, por causa da latitude, recebe durante o dia, mas não diretamente.

Após a análise do comportamento geral dos sistemas construtivos, foi realizada uma comparação entre todas as áreas ideais de janela que apresentaram o menor consumo de energia elétrica por integração de iluminação artificial e condicionamento de ar. Na Tabela 3 estão representados todos os resultados de áreas ideais de janela para cada sistema construtivo, de cada geometria em cada orientação, obtidos através das simulações.

Tabela 3- Áreas ideais de janela

Sistema construtivo	**Orientação**	**Geometrias**		
		1:1,5	**1:2**	**2:1**
Umínima	Norte	19%	23%	15%
	Sul	26%	32%	16%
	Leste	19%	22%	14%
	Oeste	19%	22%	14%
Uintermediária	Norte	19%	22%	16%
	Sul	25%	31%	15%
	Leste	18%	21%	14%
	Oeste	18%	21%	14%
Ualta	Norte	18%	21%	15%
	Sul	24%	31%	14%
	Leste	18%	20%	16%
	Oeste	17%	20%	14%

Nota-se por meio dos resultados apresentados anteriormente que orientações com menor incidência solar, como sul e leste, permitem a aplicação de maiores áreas de abertura, entre 14% e 32%. Outro ponto a ser considerado é que sistemas construtivos opacos com menores transmitâncias térmicas apresentaram as menores porcentagens ideais de abertura, isso se deu pelo motivo de que a maior carga térmica incide através das janelas, em virtude de que os materiais opacos das fachadas possuem menores transmitâncias térmicas.

5. CONCLUSÕES

Denota-se pelos resultados que as estratégias de projeto, como orientação e geometria do ambiente, são mais importantes do ponto de vista do consumo do que o uso de isolantes, quando relacionados ao tamanho das aberturas. Essas estratégias dependem apenas do profissional e não tem custo adicional.

Quando se estuda edifícios comerciais geralmente por questões de função da edificação são necessárias grandes aberturas. Nesses casos, sempre que possível, a primeira escolha a ser feita é a adoção de salas profundas e voltadas ao sul. Notou-se por meio dos resultados que de forma geral quanto maior a profundidade do cômodo menor o consumo do mesmo e que isso se deve aos menores ganhos e perdas de carga térmica através das janelas.

A presente pesquisa demonstrou a importância e o potencial do uso da luz solar para iluminação, integrando a luz natural com artificial. O método aqui aplicado pode ser usado em qualquer outra cidade, proporcionando dessa forma uma diminuição do consumo de energia elétrica para edifícios comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDER, G. D. **Daylighting**. Southern California Edison. FAIA. 2005. Disponível em: <http://www9.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0213/Arquivos_Anteriores/Publicacoes_e_Referencias_Eletronicas/Daylighting_By_Greg_Ander.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2018:** ano base 2017. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. **Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis:** discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C," pp. 59–69, 2010.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment.** Elsevier, 40:51-61. 2005.

GHISI, E; TINKER, J. A. Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size. **Building Simulation.** Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro, 2001.

LEÃO, M.; HUCKEMANN, V.; FISCH, M. N.; LEÃO, E. B.; KUCHEN, E. **Energy demand reduction applying different window areas and performance glasses in Brazil.** 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Dublin, 2008.

NASCIMENTO, L. B. P.; BARBOSA, M. J. Análise da Influência de Variáveis Construtivas e de Variáveis de Uso e Ocupação no Consumo de Energia em Edifícios de Escritório. **In: X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal. Anais: ENCAC. p. 1114-1123, 2009.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Assessing window area and potential for electricity savings by using daylighting and hybrid ventilation in office buildings in southern Brazil. **Simulation-Transactions of The Society for Modeling and Simulation International**, v. 93, p. 935-949, 2017.

SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis. **In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2009, Natal/RN, 2009.

SUSOROVA, I.; TABIBZADEH, M.; RAHMAN, A.; CLACK, H. L.; ELNIMEIRI, M. The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings. **Energy and Buildings**. v. 57, p. 6-13, 2013.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.