

Limitações da modelagem de janelas em edificações ventiladas naturalmente

Limitations of window modeling in naturally ventilated buildings

Rodolfo Kirch Sampaio Veiga (Autor principal / Autor de Contacto)

Filiación: Universidade Federal de Santa Catarina

Dirección: LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Florianópolis - Brasil - Caixa Postal 476

Correo: rodolfo.veiga@ufsc.br

Ana Paula Melo

Filiación: Universidade Federal de Santa Catarina

Dirección: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Florianópolis - Brasil - Caixa Postal 476 Dirección: LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Florianópolis - Brasil - Caixa Postal 476

Correo: a.p.melo@ufsc.br

Roberto Lamberts

Filiación: Universidade Federal de Santa Catarina

Dirección: LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Florianópolis - Brasil - Caixa Postal 476

Correo: roberto.lamberts@ufsc.br

Código del manuscrito: 08_001

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumo

O objetivo principal deste estudo é analisar o comportamento dos elementos translúcidos das janelas nas simulações computacionais realizadas no programa EnergyPlus, em edificações que possibilitem o uso da ventilação natural. O programa EnergyPlus permite a simulação da ventilação natural juntamente com a simulação térmica da edificação, a partir da geometria da edificação e das respectivas condições climáticas locais. Para o estudo, foi adotada a sala de uma edificação residencial, com duas janelas com 4 m de comprimento por 1,5 m de altura, uma na fachada oeste e outra na fachada leste. Foram considerados quatro elementos translúcidos com propriedades térmicas diferentes: vidro simples, vidro refletivo, vidro de controle solar e vidro Low-E. As simulações foram realizadas com e sem o uso da ventilação natural. Com base nos resultados, foi possível observar a limitação do programa EnergyPlus frente à consideração do elemento translúcido quando há o uso da ventilação natural nas simulações computacionais, podendo conduzir a erros consideráveis nos dados de saída das simulações.

Palabras claves: Simulação computacional de edificações, Ventilação natural, Programa EnergyPlus.

Abstract

The main objective of this study is to analyze the behavior of the translucent windows elements in the computational simulations carried out in the EnergyPlus program, in buildings that allow the use of natural ventilation. The EnergyPlus program allows the simulation of the natural ventilation together with the thermal simulation of the building, from the geometry of the building and the respective local climatic conditions. For the study, a residential building was adopted, with two windows 4 m long by 1,5 m high, one on the west facade and another on the east facade. Four translucent elements with different thermal properties were considered: single glass, reflective glass, solar control glass and Low-E glass. The simulations were performed with and without the use of natural ventilation. Based on the results, it was possible to observe the limitation of the EnergyPlus program against the consideration of the translucent element when there is the use of natural ventilation in the computational simulations, which can lead to considerable errors in the output data of the simulations.

Keywords: Building energy simulation, Natural ventilation, EnergyPlus program.

Introdução

A ventilação natural, quando corretamente utilizada, pode representar importante fator de conforto e melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios (Raja, Nicol, McCartney & Humphreys, 2001; Brager & Baker, 2009; Swan & Ugursal, 2009). Trata-se de uma estratégia aplicada desde o início da história da arquitetura, para amenizar as altas temperaturas internas, em regiões de clima quente, sendo até hoje amplamente empregada em edificações residenciais e comerciais. A otimização do sistema de ventilação natural em edificações de países de clima quente, como o Brasil, pode contribuir para a diminuição do consumo dos sistemas de condicionamento de ar, trazendo benefícios ao usuário e à sociedade em geral. Os benefícios podem vir desde a redução de custos com energia elétrica, da redução das penalidades pelo uso da energia e do aumento do conforto térmico (Sorgato, Melo & Lamberts, 2016).

Entretanto, a maioria das edificações brasileiras é resfriada através de sistemas de condicionamento de ar. Os sistemas de condicionamento de ar são responsáveis por manter o ambiente interno em condições constantes de temperatura, mas apresentam um elevado consumo de energia elétrica, refletindo em um grande impacto para o meio ambiente (Korjnic & Bednar, 2011). Além disso, os usuários têm uma menor oportunidade de ajustar estes sistemas para a sua preferência de conforto térmico. Em contraste, edificações naturalmente ventiladas permitem que os seus ocupantes tenham o controle da abertura ou fechamento das janelas para manter a temperatura do ambiente em condições agradáveis, refletindo em um menor consumo de energia elétrica quando comparadas às edificações condicionadas (Haldi & Robinson, 2011; Fabi, Andersen, Corngati & Olesen, 2012).

O uso de programas computacionais, como o programa EnergyPlus, tem contribuído em muito na busca de soluções para a área energética. Seja na escolha de um sistema de condicionamento de ar eficiente, de lâmpadas e luminárias de alto rendimento; no projeto de proteções solares; na instalação de um sistema de cogeração ou até mesmo no uso da climatização híbrida, com o uso da ventilação natural e do sistema de condicionamento artificial de ar, contribuindo para o aumento da eficiência energética e redução do consumo de energia (Zhou, Wu Wang, Shiochi & Li, 2008; Fouquier, Robert, Suard & Jay, 2013).

Estado da arte

O modelo de cálculo de fluxo de ar presente no programa EnergyPlus é o *AirFlow Network*. Para realizar uma simulação do uso da ventilação natural no programa EnergyPlus é necessário, inicialmente, modelar a geometria e os componentes construtivos do modelo (ENERGYPLUS, 2019a). A maioria das informações necessárias para o cálculo do fluxo de ar é automaticamente extraída da descrição da edificação para a modelagem térmica. Alguns exemplos são o volume e a altura neutra das zonas, a orientação e localização das superfícies da edificação que contém frestas ou aberturas. O objeto *Airflow Network* calcula o fluxo de ar entre as zonas e o exterior, através de frestas e janelas. No módulo relacionado à ventilação natural são determinadas as conexões do fluxo de ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação. O algoritmo permite que sejam determinadas *schedules* de controle, de disponibilidade de ventilação, entre outras. Entretanto, a modelagem da ventilação natural muitas vezes requer dados que podem ser difíceis de se encontrar na literatura, afetando a precisão do dado de saída analisado. Além disso, a modelagem da ventilação natural no programa EnergyPlus não deixa claro o comportamento do material translúcido das janelas em edificações que possibilitem o uso da ventilação natural (ENERGYPLUS, 2019b; ENERGYPLUS, 2019c).

Frente a isso, o objetivo principal deste estudo é analisar o comportamento dos elementos translúcidos das janelas nas simulações computacionais realizadas no programa EnergyPlus, em edificações que possibilitem o uso da ventilação natural. Pretende-se entender o comportamento dos dados de saída de simulações no programa EnergyPlus que possibilitem o uso da ventilação natural, observando os fenômenos referentes às trocas de ar por ventilação e às trocas de calor por radiação nos elementos translúcidos de janelas.

Metodologia

A metodologia dessa pesquisa foi elaborada de forma a identificar e quantificar possíveis erros resultantes de limitações na modelagem de janelas em edificações naturalmente ventiladas, utilizando o EnergyPlus. Esses erros foram avaliados através da transmissão de radiação para dentro da zona térmica e da carga térmica anual. A Figura 1 faz uma breve descrição das simulações envolvidas em cada etapa da metodologia.

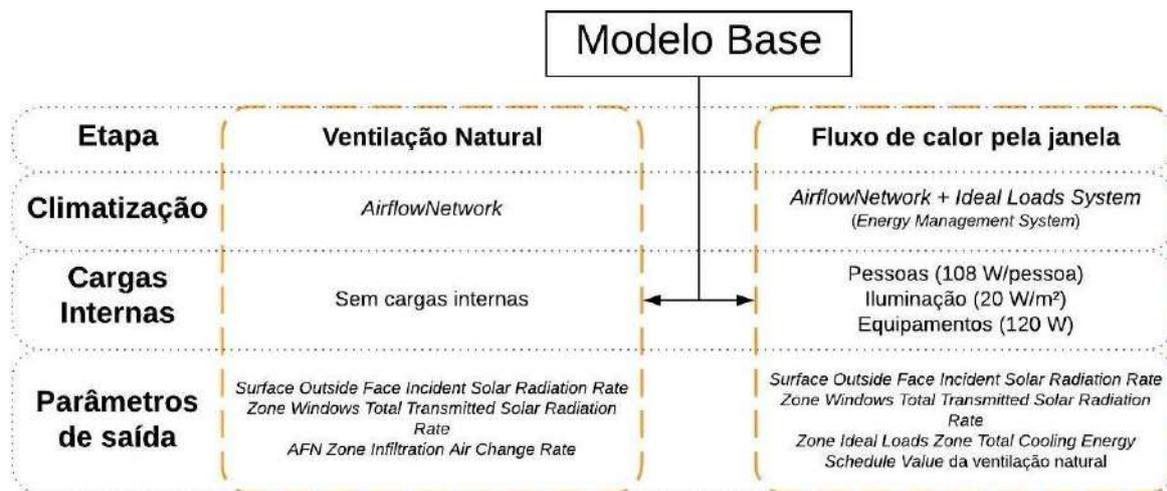


Figura 1. Fluxograma metodológico.

AirflowNetwork

A ventilação no programa EnergyPlus pode ser dividida em dois tipos: natural e forçada. Na ventilação forçada, força-se a renovação de ar através de equipamentos e outros métodos. Já a ventilação natural, a qual será abordada neste estudo, é baseada na movimentação do ar por forças naturais, particularmente através da movimentação do ar pelo interior da edificação. A ventilação natural depende da diferença de temperatura entre o ar de dentro e de fora da edificação; da diferença de altura entre a entrada de ar e as aberturas de exaustão; da convecção do calor ascendente e da velocidade e direção do vento. Para utilizar a estratégia de ventilação natural no programa EnergyPlus é necessário inserir os seguintes objetos:

1. *AirflowNetwork:SimulationControl*: parâmetros básicos para a simulação da ventilação;
2. *AirflowNetwork:MultiZone:Zone*: controle da ventilação natural através das aberturas externas e internas da zona térmica;
3. *AirflowNetwork:Multizone:Surface*: propriedades das superfícies para a ventilação natural;
4. *AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening*: características da ventilação natural através das portas e janelas;
5. *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode*: condições externas à edificação;
6. *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientArray*: direções discretizadas do vento; e

7. *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientValues*: coeficiente de pressão do vento com a direção, adotado para cada fachada).

Informações sobre a modelagem da ventilação natural no programa EnergyPlus podem ser obtidas através do Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0 (CB3E, 2013).

Ventilação Natural

Para entender o comportamento das trocas de calor por radiação dos elementos translúcidos das janelas em relação às trocas de ar por ventilação natural, adotou-se o modelo da sala de uma edificação unifamiliar, com base quadrada de 6 m e pé-direito de 3 m (Figura 2). As paredes externas que possuem janela foram definidas como expostas ao ambiente externo, enquanto todas as outras superfícies foram definidas como adiabáticas (sem troca de calor com o ambiente externo). Todas as superfícies foram modeladas como superfícies de concreto de 10 cm sem reboco, que resultam em uma transmitância de 4,04 (W/m².K).

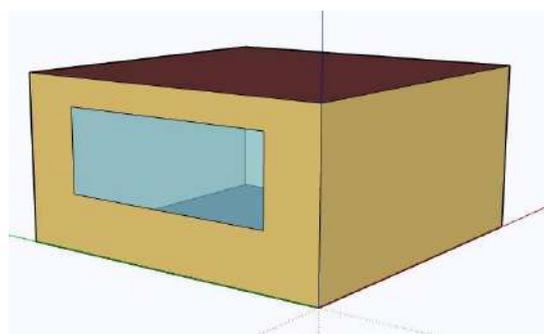


Figura 2. Geometria 3D do modelo adotado.

Com o objetivo de permitir que os objetos do grupo *Airflow Network* realizassem trocas de ar entre as janelas, foram inseridas no modelo duas janelas de 4 m de comprimento por 1,5 m de altura, uma na fachada oeste e outra na fachada leste. Destaca-se que nesta etapa do estudo foram considerados no modelo apenas os objetos necessários para simular o uso da ventilação natural, evitando a influência de outros objetos que, eventualmente, poderiam perturbar os resultados. Dessa forma, as *schedules* e cargas internas usuais de uma edificação residencial (ocupação, iluminação e equipamentos) foram desconsideradas.

A sala da edificação unifamiliar foi analisada para duas condições distintas: a) considerando o uso da ventilação natural; e b) sem o uso da ventilação natural. Determinou-se no grupo de objetos *AirFlow Network* do programa EnergyPlus que as janelas possuem uma abertura de 100% para o uso da ventilação natural, permitindo 24 horas por dia de possibilidade de uso de ventilação natural na edificação.

Para esta análise, foram considerados quatro materiais translúcidos com propriedades térmicas diferentes:

1. Vidro simples 2,5 mm;
2. Vidro refletivo 6,0 mm;
3. Vidro controle solar 6 mm; e
4. Vidro Low-E 2,4 mm.

Estes materiais foram obtidos na pasta DataSets do programa EnergyPlus e modelados no objeto *Window Material Glazing*, com as propriedades apresentadas na Tabela 1.

Para analisar o comportamento dos elementos translúcidos frente ao uso ou não da ventilação natural em edificações, foram considerados os seguintes dados de saída:

1. *Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate* (radiação solar incidente nas janelas);
2. *Zone Windows Total Transmitted Solar Radiation Rate* (radiação solar transmitida pelas janelas);
3. *AFN Zone Infiltration Air Change Rate* (taxa de trocas do *Airflow Network*).

Tabela 1. Propriedades dos elementos translúcidos.

Propriedades	Unidade	Materiais translúcidos			
		Vidro Simples	Vidro Refletivo	Vidro Controle Solar	Vidro Low-E
<i>Thickness</i>	m	0,0025	0,006	0,006	0,024
<i>Solar Transmittance at Normal Incidence</i>		0,85	0,2	0,1	0,11
<i>Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence</i>		0,075	0,16	0,23	0,08
<i>Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence</i>		0,075	0,39	0,29	0,25
<i>Visible Transmittance at Normal Incidence</i>		0,901	0,22	0,12	0,29
<i>Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence</i>		0,081	0,17	0,28	0,1
<i>Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence</i>		0,081	0,35	0,37	0,1
<i>Infrared Transmittance at Normal Incidence</i>		0	0	0	0
<i>Front Side Infrared Hemispherical Emissivity</i>		0,84	0,84	0,84	0,84
<i>Back Side Infrared Hemispherical Emissivity</i>		0,84	0,55	0,84	0,84
<i>Conductivity</i>	W/(m.K)	0,9	0,9	1	1

A fim de destacar as análises das trocas de calor por radiação nos elementos translúcidos adotados, todas as simulações foram realizadas para o clima da cidade de Fortaleza/Brasil, localizado à -3,78° de latitude em relação à Linha do Equador. Ou seja, um clima com elevada incidência solar. O arquivo utilizado nas simulações é do tipo SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) (Climate One Building, 2019).

Fluxo de calor pela janela

Para observar o bloqueio de radiação referente ao uso da ventilação natural, optou-se por analisar o mesmo modelo da sala de uma edificação residencial apresentado anteriormente, mas de acordo com as exigências do regulamento brasileiro de etiquetagem (INI-R) (CB3E, 2018), de modo a aproximar o modelo das condições reais. Assim, nessa etapa da pesquisa foi considerado o uso da ventilação híbrida (uso de ventilação natural e condicionamento artificial de ar) e as cargas internas e suas *schedules*.

O uso do sistema híbrido foi inserido através do objeto *Energy Management System* (EMS) presente no programa EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2019d). Este objeto permite acessar os dados de saída a cada intervalo da simulação (*timestep*) e executar determinadas ações através de códigos de programações. Dentre a ampla gama de ações que o EMS é capaz de realizar destacam-se: o controle dos sistemas de condicionamento de ar e da abertura de fenestraçãoes.

Seguindo as diretrizes do INI-R, foi adicionado ao modelo o sistema *Ideal Load* e venezianas horizontais de PVC nas janelas, para simular o sistema de condicionamento artificial do ar, com *setpoints* de aquecimento e resfriamento

iguais a 18°C e 23°C, respectivamente. Foi considerada ocupação diária de duas pessoas das 14h às 18h e de quatro pessoas das 18h às 22h, com atividade metabólica de 108 W/pessoa. Foi definido o uso de iluminação artificial e de equipamentos das 16h às 22h, com cargas de 20 W/m² e 120 W, respectivamente.

A partir dos dados de saída obtidos das simulações, foi calculada carga térmica de resfriamento anual e foram separados os *timesteps* onde há ventilação natural (janela aberta), a fim de estimar a quantidade de radiação bloqueada pelas janelas. Para realizar a análise foram utilizados os seguintes dados de saída do programa EnergyPlus:

1. *Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate* (radiação solar incidente nas janelas); e
2. *Zone Windows Total Transmitted Solar Radiation Rate* (radiação solar transmitida pelas janelas);
3. *Schedule Value* da ventilação natural (quando o valor é igual a 1, há ventilação; quando o valor é igual a 0, não há ventilação);
4. *Zone Ideal Loads Air System Total Cooling Energy* (carga térmica de resfriamento).

A Equação 1 foi utilizada para calcular a radiação bloqueada pelo material translúcido da janela ao longo do ano, durante os *timesteps* onde ocorreu o uso da ventilação natural (valor da *schedule* de ventilação é igual a 1). A partir desse valor, foi possível estimar a quantidade de radiação que deveria entrar no ambiente, mas que foi impedida, já que o material translúcido permanece na janela quando há o uso da ventilação natural no programa EnergyPlus.

$$\text{RadiaçãoBloqueadaAnual} = \sum_{\text{timestepsc/vent.}} \text{RadiaçãoIncidente} - \text{RadiaçãoTransmitida} \quad (1)$$

Resultados

Os resultados das simulações com e sem o uso da ventilação natural são apresentados na Figura 3. A radiação solar incidente nos elementos translúcidos está representada pela cor amarela, a radiação solar direta transmitida pelos elementos translúcidos pela cor vermelha, e a infiltração pela linha preta tracejada. Os resultados foram observados para todas as horas do dia 01 de novembro.

Comparando os casos com e sem o uso de ventilação natural, observa-se que a troca de ar (infiltração) foi maior para os casos onde se permite o uso da ventilação natural. Porém, observando os resultados de radiação solar incidente nos elementos translúcidos, observa-se que os casos com e sem o uso de ventilação natural apresentaram os mesmos resultados para todos os diferentes elementos analisados. Ou seja, a radiação que incide na superfície do elemento translúcido da janela e que não é transmitida para o interior do ambiente foi igual em ambas as condições de ventilação. Durante a modelagem do uso da ventilação natural no programa EnergyPlus, foi adotado fator de ventilação igual a 100%, indicando que a janela deveria estar totalmente aberta. Entretanto, com base nos resultados, observa-se que, para os fenômenos relacionados a radiação, o programa EnergyPlus considera a presença do elemento translúcido na janela para os casos simulados com o uso da ventilação natural.

Observando o comportamento da radiação solar direta transmitida pelos elementos translúcidos, nota-se que o vidro simples 2,5 mm apresentou o maior valor ao longo do dia, chegando a 4000 W às 15h00. O vidro simples, por apresentar transmitância de radiação solar direta igual a 0,85, naturalmente, transmitiu cerca de 85% da radiação solar incidente. Com relação aos outros elementos translúcidos, os valores da radiação solar direta transmitida vão reduzindo frente a melhora das propriedades térmicas do vidro. O vidro Low-E e o vidro de controle solar prata apresentaram valores máximos de aproximadamente 500 W de radiação solar direta transmitida.

Portanto, de acordo com os resultados obtidos, observa-se a limitação do programa EnergyPlus frente à consideração do elemento translúcido quando há o uso da ventilação natural nas simulações computacionais, podendo conduzir a erros consideráveis nos dados de saída das simulações.

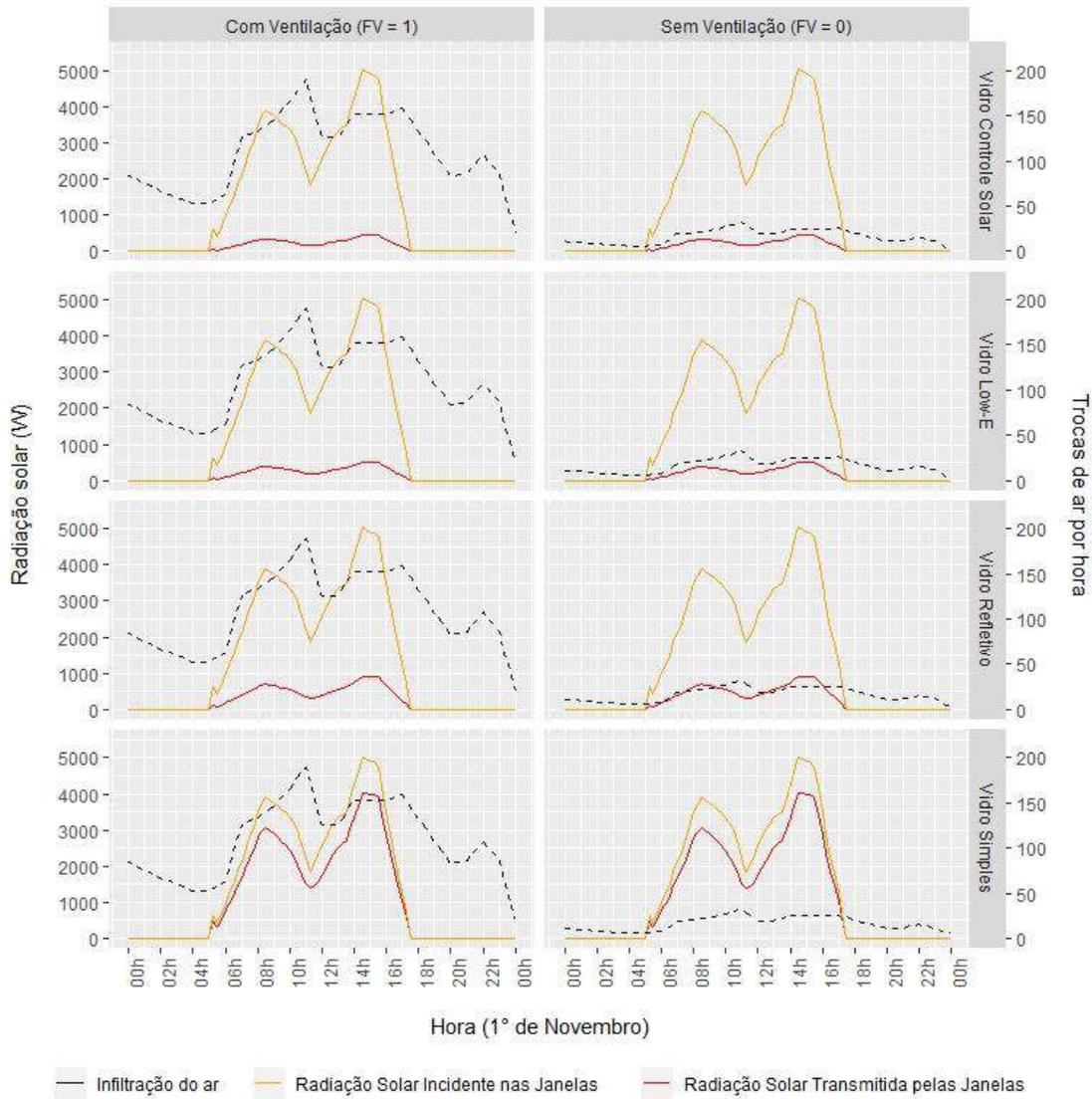


Figura 3. Radiação solar incidente e radiação solar direta transmitida pelos elementos translúcidos.

Aplicando a Equação 1 nos modelos com diferentes tipos de vidro, foi possível estimar a quantidade de radiação bloqueada pelos materiais translúcidos presentes na janela, quando há o uso da ventilação natural no programa EnergyPlus. A Tabela 2 descreve os resultados de irradiação incidente, transmitida e bloqueada encontrados para cada tipo de vidro. Nota-se que, para todos os tipos de vidro, a edificação analisada deixou de receber uma quantidade considerável de calor por radiação. Este tipo de imprecisão na simulação torna o modelo menos fiel à realidade, podendo gerar erros nos dados de saída das simulações computacionais devido à subestimação da carga térmica.

Com base nos resultados da Tabela 2, observa-se que a limitação das simulações com uso de ventilação natural no programa EnergyPlus fez com que a edificação deixasse de receber 235 kWh/ano com o uso do vidro simples; enquanto que, para vidros com menor fator solar, a edificação deixou de receber entre 1021 e 1155 kWh/ano. O resultado é bem expressivo e alerta os modeladores sobre as limitações do comportamento das simulações no programa EnergyPlus que utilizam a ventilação natural.

Tabela 2. Resultados de irradiação.

	Irradiação em <i>timesteps</i> com o uso ventilação natural (kWh/ano)		
	Irradiação Incidente	Irradiação Transmitida	Irradiação bloqueada
Vidro Simples	1116	881	235
Vidro Refletivo	1246	225	1021
Vidro Controle Solar	1270	115	1155
Vidro Low-E	1218	121	1097

A Tabela 3 descreve os resultados obtidos para a carga térmica de resfriamento anual. Por permitir a transmissão de 85% da radiação, o caso que utilizou vidro simples foi o que exigiu maior carga térmica (7430 kWh/ano). Consequentemente, esse foi também o caso que menos sofreu influência da irradiação bloqueada nos *timesteps* onde houve uso de ventilação natural, sendo que essa representou apenas 3% da carga térmica de resfriamento anual. A parcela de irradiação bloqueada para os vidros com maior refletância foi mais expressiva, representando entre 16% e 19% da carga térmica de resfriamento. Esse resultado indica que o ambiente deixa de receber um valor significativo de radiação, que seria convertida em demanda energética através da carga térmica de resfriamento.

Tabela 3. Resultados de carga térmica anual.

	Carga Térmica de Resfriamento (kWh/ano)	Irradiação bloqueada (kWh/ano)	Irradiação bloqueada (%)
Vidro Simples	7430	235	3%
Vidro Refletivo	6240	1021	16%
Vidro Controle Solar	6010	1155	19%
Vidro Low-E	6384	1097	17%

Discussões e Conclusões

Com base nos resultados é possível concluir que o programa EnergyPlus encontra limitações para representar a interoperabilidade entre as trocas de ar por ventilação e as trocas de calor por radiação, em edificações que permitem o uso da ventilação natural. Observou-se que, os quatro elementos translúcidos analisados apresentaram os mesmos valores de radiação solar incidente evidenciando a presença do elemento translúcido na janela para os casos simulados com o uso da ventilação natural.

Frente as limitações do programa EnergyPlus observadas neste estudo, destaca-se a importância em utilizar o objeto *Energy Management System* (EMS) presente no programa. Este objeto permite acessar os dados de saída a cada intervalo (*timestep*) da simulação e executar determinadas ações através de códigos de programações. Dentre a ampla gama de ações que o EMS é capaz de realizar destacam-se: o controle dos sistemas de condicionamento de ar e da abertura de fenestração; e a alteração de materiais construtivos (DOE, 2018b). Salienta-se que o uso do EMS não permite a ausência total do elemento translúcido nas janelas. Portanto, para simular a ventilação natural através desse

sistema de controle é preciso estabelecer um material que permita o fluxo total da radiação de ondas curtas e longas através do elemento translúcido das janelas. Assim, quando o sistema de ventilação natural é acionado, ou seja, a janela está aberta, permite-se o fluxo total da radiação de ondas curtas e longas. Quando a ventilação natural é impedida, ou seja, a janela está fechada, o elemento translúcido bloqueia parte da radiação. Dessa forma, tanto as trocas de ar por ventilação como as trocas de calor por radiação operam em concordância.

Agradecimentos

Este trabalho agradece à CAPES e CNPQ pelos recursos financeiros fornecidos aplicados no financiamento do projeto.

Referências

- Brager, G., Baker, L. (2009). Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. *Building Research & Information* 37 (4), 369-380.
- Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (2013). Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0. <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Manual_Ventilacao_v8.0.pdf>.
- Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (2018). Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviço e públicas. < <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2018-09-25-INI-R-%20-%20Vers%C3%A3o02.pdf> >.
- Climate One Building (2019). Repository of free climate data for building performance simulation. <http://climate.onebuilding.org/>
- ENERGYPLUS. (2019a). Getting started with EnergyPlus. https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/GettingStarted.pdf
- ENERGYPLUS. (2019b). Input Output Reference. https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/InputOutputReference.pdf
- ENERGYPLUS. (2019c). Engineering Reference. https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/EngineeringReference.pdf
- ENERGYPLUS. (2019d). EMS Application Guide. https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/EMSApplicationGuide.pdf
- Fabi, V., Andersen, R.V., Corngati, S., Olesen, B.W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment* 58 (0), 188-198.
- Foucquier, A., Robert, S., Suard, F., Stéphan, L., Jay, A. (2013). State of the art in building modelling and energy performances prediction: a review. *Renewable Sustainable Energy Review* 23 (0), 272–288.
- Haldi, F., Robinson, D. (2011). The impact of occupants' behaviour on building energy demand. *Journal of Building Performance Simulation*, 4 (4), 323-338.
- L.G. Swan, L.G., Ugursal, V.I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (8) 1819-1835.
- Korjenic, A., Bednar, T. (2011). Impact of lifestyle on the energy demand of a single family house. *Building Simulation*, 4 (2) 89-95.
- Raja, I.A., Nicol, J.F., McCartney, K.J., Humphreys, M.A. (2011). Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, 33 (3), 235-244.
- Sorgato, M.J., Melo, A.P., Lamberts, R. (2016). The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. *Energy and Buildings*, 133, 1–13.
- Zhou, Y. P., WU, J.Y.; Wang, R. Z.; Shiochi, S.; li, Y. M. (2008). Simulation and experimental validation of the variable-refrigerant-volume (VRV) air-conditioning system in EnergyPlus. *Energy and Buildings* v. 40, 1041-1047.