



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## **SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL COM O ENERGYPLUS: INCERTEZAS NOS DADOS CLIMÁTICOS**

**WESTPHAL, Fernando Simon<sup>1</sup>**

Universidade Federal de Santa Catarina, fernando.sw@ufsc.br

### **RESUMO**

*A simulação computacional tem sido utilizada como ferramenta de verificação do desempenho térmico de edificações em diversos sistemas de certificação e etiquetagem. Entretanto, a modelagem e representação da ventilação natural é carregada de incertezas pouco exploradas na área de simulação. Este artigo analisa uma dessas fontes de incerteza, que são os dados das condições de vento registrados nos arquivos climáticos. Testes por simulação são conduzidos para dois modelos computacionais no programa EnergyPlus, utilizando-se quatro arquivos climáticos diferentes da cidade de São Paulo. Os resultados mostram que dependendo do arquivo climático utilizado, mesmo sendo de uma única cidade, os valores de trocas de ar calculados para a edificação podem variar significativamente. Avaliando indicadores de desempenho térmico, como graus-hora de resfriamento, a diferença relativa obtida entre duas estratégias de projeto, quando analisadas com diferentes arquivos climáticos chegou a 11 pontos percentuais, o que coloca em dúvida sobre qual arquivo climático mais correto a ser adotado e quão mais preciso pode ser o uso da simulação horária em relação a condições pré-definidas, como dias de projeto, por exemplo. (Pesquisa autônoma)*

**Palavras-chave:** edificações residenciais, desempenho térmico, ventos.

### **ABSTRACT**

*Computer simulation has been used as a tool to verify the thermal performance of buildings in several certification and labeling systems. However, the modeling and representation of natural ventilation is full with uncertainties still unexplored in the simulation area. This article explores one of these sources of uncertainty, which is data on wind conditions recorded in climate files. Simulation tests are conducted for two computational models in the EnergyPlus program, using four different climatic files from the city of São Paulo. The results show that depending on the climate file used, even if it is from a single city, the air exchange values calculated for the building can vary significantly. When evaluating thermal performance indicators, such as cooling degrees-hour, the relative difference obtained between two design strategies when evaluating different climatic files reached 11 percentage points, which puts in doubt about which most correct climate file to be adopted and how accurate the hourly simulation can be in relation to predefined conditions, such as project days, for example.*

**Keywords:** residential buildings, thermal performance, winds.

---

<sup>1</sup> WESTPHAL, Fernando Simon. Simulação da ventilação natural com o Energyplus: incertezas nos dados climáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRÚÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

## 1 INTRODUÇÃO

A simulação do desempenho térmico de edificações vem ganhando espaço no mercado de construção civil brasileiro, especialmente impulsionada pelas ferramentas de certificação ambiental (principalmente certificação LEED e processo AQUA), etiquetagem PROCEL e Norma de Desempenho, a NBR 15575.

O maior desafio em avaliar a eficiência energética de uma edificação é estabelecer valores de referência de consumo. Diferentemente de um equipamento, de produção seriada, tais como refrigeradores, condicionadores de ar e lâmpadas, que têm o consumo de energia passível de ser determinado em ensaio de laboratório, cada edificação é única. O entorno pode ter influência significativa no desempenho térmico e consequente consumo de energia. Mesmo que sejam analisadas duas edificações idênticas, a localização delas será diferente, e pode resultar em desempenho diferenciado para um mesmo projeto, como demonstrado por Sousa (2014). Além disso, seria inviável construir algumas edificações apenas para verificar seu consumo de energia, da mesma forma como se pode fazer para equipamentos elétricos. Dessa forma, a simulação computacional tem sido utilizada como uma ferramenta aceitável para avaliar o desempenho térmico, nível de eficiência energética e impacto ambiental de edificações, mesmo em fase de projeto.

Embora seja um procedimento prático e amplamente aceitável, a simulação computacional carrega uma ampla gama de incertezas, extensivamente pesquisadas nos últimos anos, tais como os trabalhos de Silva et al. (2017) e Westphal (2007).

O procedimento de simulação tem sido utilizado na Norma de Desempenho (ABNT, 2013), como forma de avaliação do quesito de desempenho térmico de edificações residenciais. O programa amplamente utilizado para essa análise é o EnergyPlus [DOE, 2020]. Atualmente, a norma prevê a avaliação da edificação submetendo-se o modelo do projeto a uma simulação de dois dias de projeto: um de verão e outro de inverno. A edificação está qualificada com desempenho mínimo se prover dentro dos cômodos de permanência prolongada temperatura do ar máxima igual ou inferior à máxima do ar externo registrada no dia de verão; e temperatura do ar mínima pelo menos 3°C acima da mínima do ar externo do dia de inverno. A ventilação natural da edificação deve ser modelada de forma simplificada, considerando-se trocas de ar constantes ao longo do dia para todos os cômodos. Dessa forma, a existência de ventilação cruzada, obstáculos ou mesmo o tamanho das aberturas, não é avaliado por simulação no contexto da norma.

A Norma de Desempenho entrou em revisão em 2019 e a proposta em discussão prevê a simulação da ventilação natural em mais detalhes, considerando a variabilidade das taxas de trocas de ar na edificação em função do tamanho e disposição das aberturas, bem como da velocidade e direção do vento. Porém, mesmo sendo um processo mais detalhado, não necessariamente, significa que será mais preciso. Tomando o EnergyPlus como exemplo, pode-se citar algumas fontes de incertezas e fatores de imprecisão do processo de simulação da ventilação natural, identificadas a partir da experiência do autor com o uso do programa (DOE, 2020):

- a) Imprecisões nos dados registrados nos arquivos climáticos;
- b) Diferença entre o contexto urbano onde foram obtidos os dados climáticos e o entorno onde será (ou foi) executada a edificação em análise;
- c) Os dados de vento (velocidade e direção) podem variar significativamente dentro de uma mesma hora, enquanto os registros nos dados climáticos são

valores únicos por hora;

- d) Cálculo dos coeficientes de pressão incidentes sobre as aberturas, ressaltando-se que o EnergyPlus adota coeficientes de pressão médios sobre a fachada e não valores diferenciados dependendo da região da superfície;
- e) O EnergyPlus considera uma estimativa de pressão de coeficientes de pressão apenas para edificação retangulares, mas é possível o usuário inserir dados para cada fachada, o que torna o processo mais complexo, trabalhoso e demorado, e com mais fontes de incertezas;
- f) Especificidades dos diferentes tipos de aberturas e esquadrias existentes na edificação e seus dados de permeabilidade ao ar, tais como coeficientes de descarga e de infiltração por frestas, mesmo quando fechadas;
- g) A não integração entre simulação térmica e de ventilação natural, ou seja, enquanto o programa calcula o balanço térmico considerando todas as esquadrias fechadas, ao mesmo tempo o módulo de cálculo de trocas de ar considera esquadrias abertas;
- h) O EnergyPlus não considera trocas de ar promovidas por diferenças de temperatura ou efeito chaminé;
- i) A influência do entorno é considerada de forma simplista, por meio de coeficientes de rugosidade, sendo que não é considerado o efeito de obstáculos próximos e cânions urbanos, por exemplo; e
- j) O padrão de uso e ocupação da edificação e, principalmente, o padrão de operação das esquadrias. Em geral, a rotina de uso da edificação é modelada com padrões que se repetem de maneira igual ao longo dos dias.

De todos os fatores de incertezas citados acima, os dados climáticos são o foco dessa pesquisa. Inicialmente, apresentam-se fontes de incertezas nos dados de vento dos arquivos climáticos, já identificadas por outras pesquisas. Na sequência, são feitos testes por simulação computacional, avaliando-se o efeito dessas incertezas na análise de desempenho térmico no programa EnergyPlus.

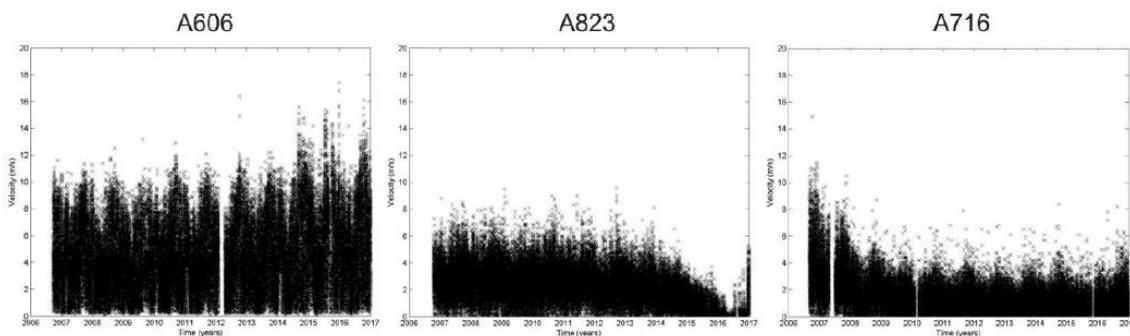
## 2 INCERTEZAS NOS DADOS DE VENTOS

Vallis et al. (2017) apresentam uma revisão dos dados de vento registrados nas estações climáticas brasileiras, cobrindo a rede da FAB (Força Aérea Brasileira) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Os autores destacam uma série de problemas encontrados nos registros de dados. Dentre eles, cita-se: (1) anemômetros instalados em diferentes alturas (apenas 20% das estações estavam com anemômetro na altura de 10m); (2) leituras realizadas manualmente até a década de 90, com evidentes problemas de registros dos dados; (3) a velocidade média era calculada mentalmente pelo operador da estação; (4) a FAB possui somente uma estação automatizada, mas apenas com operação diurna; (5) o INMET possui 524 automatizadas, que iniciaram a partir de 2000; e (6) erros nos relatórios são comuns, até em unidades de medida, com confusão entre nós e m/s, o que resulta numa diferença de 2 vezes entre os valores.

Existem diferenças geradas no histórico de registros em virtude da substituição de equipamentos. Por exemplo, a Figura 1 mostra a variação no regime de velocidade de vento registrada ao longo dos anos para três estações climáticas brasileiras. Observa-se mudanças significativas no padrão dos valores registrados, sugerindo, segundo Vallis et al. (2017), que mudança nos equipamentos de medição resultaram

em alterações nos níveis de velocidades registradas.

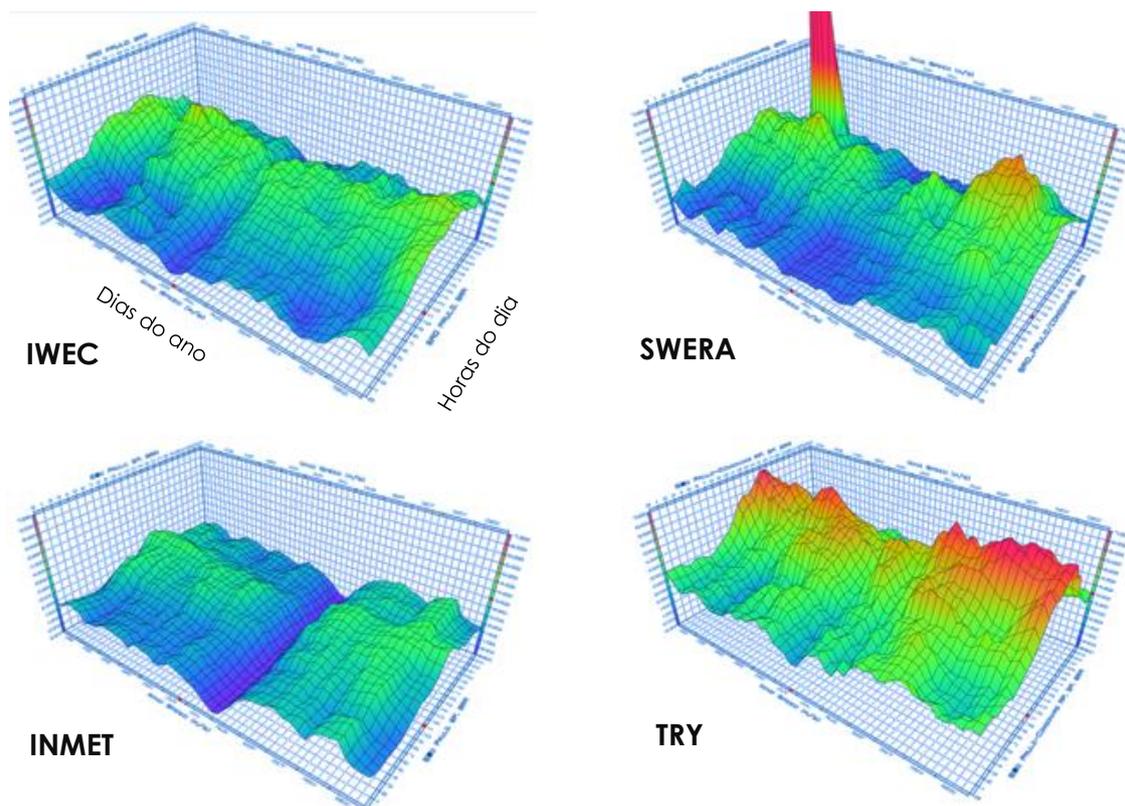
Figura 1 – Registros de dados horários de velocidade nas estações climáticas A606 (Arraial do Cabo, RJ), A823 (Inácio Martins, PR) e A716 (Ourinhos, SP).



Fonte: Vallis et al. (2017)

A partir dos dados dos quatro arquivos climáticos da cidade de São Paulo, disponíveis para uso em simulação computacional no programa EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2019), gerou-se os gráficos de velocidade do vento por meio da ferramenta de Marsh (2020) conforme apresentados na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Figura 2 – Dados horários de velocidade de vento registrados em quatro arquivos climáticos da cidade São Paulo.



Fonte: Energyplus (2020) e Marsh (2020)

A diferença nos valores de velocidade de vento entre os arquivos é visualmente perceptível por meio dos gráficos. Observa-se que o arquivo no formato SWERA possui alguns valores espúrios de velocidade muito alta e que não foram tratados. No arquivo TRY, as velocidades são visivelmente maiores do que as registradas nos

demais. O arquivo gerado a partir dos dados do INMET possui valores mais baixos, com uma queda abrupta no meio do ano.

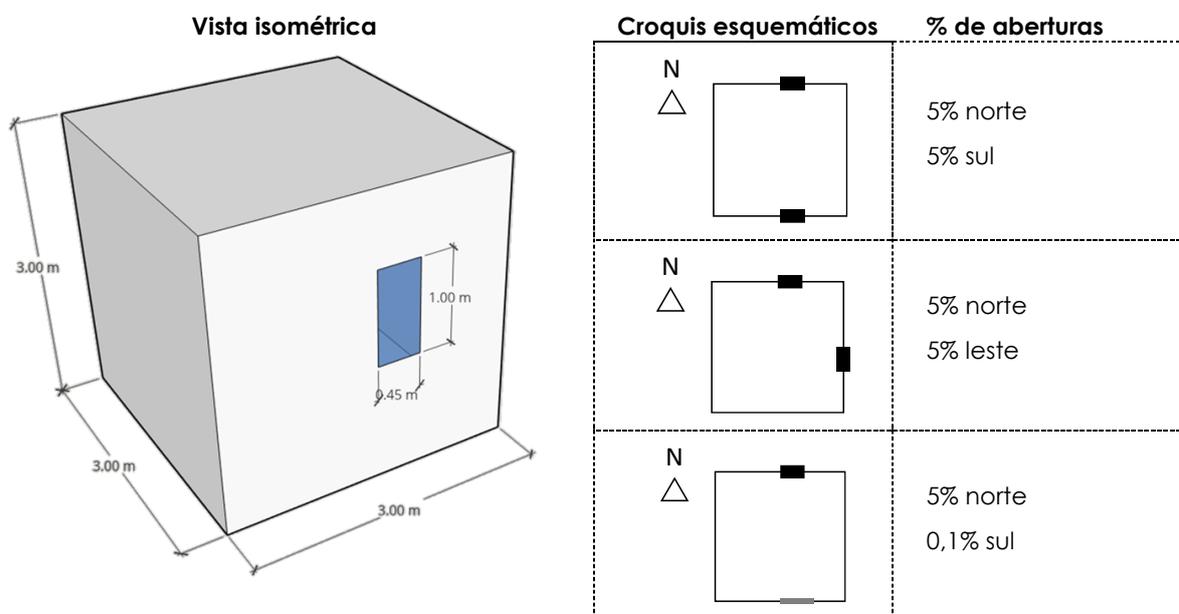
### 3 MÉTODO

O objetivo principal deste estudo foi verificar a variação obtida nas trocas de ar dentro do cômodo quando a simulação é realizada com diferentes arquivos climáticos de uma mesma cidade, no caso, São Paulo. O trabalho é apresentado em duas partes. Na primeira, um modelo virtual simplificado com a geometria de um cubo de 3,0 m de aresta foi utilizado como objeto de estudo, representando semelhança a um dormitório de uma edificação residencial. A ferramenta de simulação adotada foi o EnergyPlus e o cálculo das trocas de ar devido a ventilação natural no modelo foi feito com o uso dos objetos do grupo *Air Flow Network*.

Três condições da abertura foram modeladas representando situações diferentes: (1) duas janelas de mesma dimensão colocadas em faces opostas do modelo (fachadas norte e sul); (2) uma janela numa face e uma fresta na face oposta, simulando uma porta fechada; e (3) duas janelas de mesmo tamanho em faces adjacentes (fachadas norte e leste). Uma representação de cada situação de abertura modelada é apresentada na Figura 3, bem como uma vista isométrica do modelo com uma abertura equivalente a 5% da área da fachada visível.

As janelas foram modeladas representando uma folha de janela de correr aberta, totalizando 0,45 m<sup>2</sup>, que corresponde a 5% da área total da parede. A fresta foi modelada com 1 cm de altura por 80 cm de largura, representando a abertura abaixo de uma porta fechada (fresta), o que totaliza cerca de 0,1% de abertura em relação à área total da parede.

Figura 3 – Vista isométrica do modelo geométrico e croquis esquemáticos das três condições de aberturas simuladas.

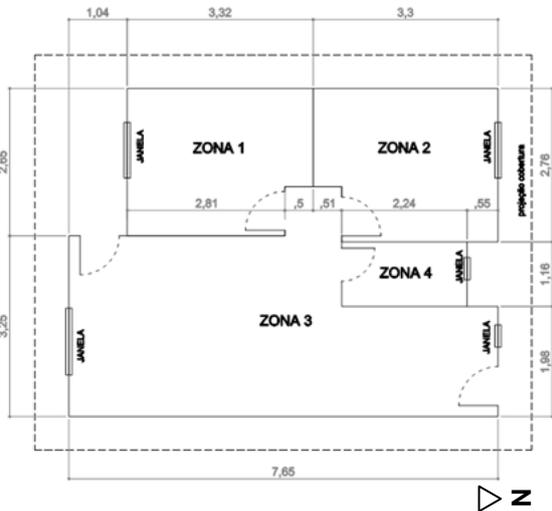


Cada modelo foi simulado para um dos quatro arquivos climáticos da cidade de São Paulo, disponíveis em Energyplus (2019), a saber: BRA\_Sao.Paulo.837800\_IWEC.epw; BRA\_Sao.Paulo-Congonhas.837800\_SWERA.epw e BRA\_SP\_Sao.Paulo.837810\_INMET.epw. Como resultado, avaliou-se as trocas de ar por hora obtidas no modelo computacional.

Na segunda etapa do trabalho, realizou-se a simulação do desempenho térmico de uma edificação correspondente a uma Habitação de Interesse Social (HIS), conforme características resumidas no Quadro 1. Esse modelo foi o mesmo adotado no trabalho de Passos (2016). Maiores informações e detalhes sobre o modelo podem ser obtidos naquele trabalho.

O modelo da HIS foi simulado também com os quatro arquivos climáticos da cidade de São Paulo. O modelo foi submetido à ventilação natural, permitindo-se a abertura de janelas quando a temperatura do ar externo estivesse mais baixa do que o ar interno, procurando resfriar os ambientes, sempre que houvesse ocupação na residência ao longo do dia. Como resultados, avaliou-se o perfil de temperatura operativa horária dos cômodos. Para avaliar se o uso de diferentes arquivos gera influência na análise de estratégias de eficiência, simulou-se o mesmo modelo com paredes de *drywall* no lugar de alvenaria e verificou-se a mudança no desempenho térmico.

Quadro 1 – Características principais do modelo da Habitação de Interesse Social.

Resumo das características do modelo:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zonas 1 e 2: Dormitórios</li> <li>▪ Zona 3: Sala conjugada com cozinha</li> <li>▪ Zona 4: banheiro</li> <li>▪ Sistema construtivo: paredes em alvenaria; cobertura em telha de fibrocimento, ático e forro de gesso com 5cm de isolante térmico.</li> <li>▪ Piso: laje de concreto de 20 cm, modelado em contato com o solo por meio da ferramenta <i>Slab</i> do EnergyPlus.</li> <li>▪ Absortância das paredes: 0,20</li> <li>▪ Absortância da cobertura: 0,60</li> <li>▪ Tipo de vidro: incolor 4 mm.</li> <li>▪ Janelas de correr de 3 folhas, sendo metade com vidro exposto e outra metade em veneziana cega de alumínio. Metade da abertura disponível para ventilação.</li> <li>▪ Rotina de operação das aberturas: portas externas sempre fechadas; portas internas e janela do banheiro sempre abertas; janelas da sala e dormitórios abrindo durante o dia.</li> </ul>	

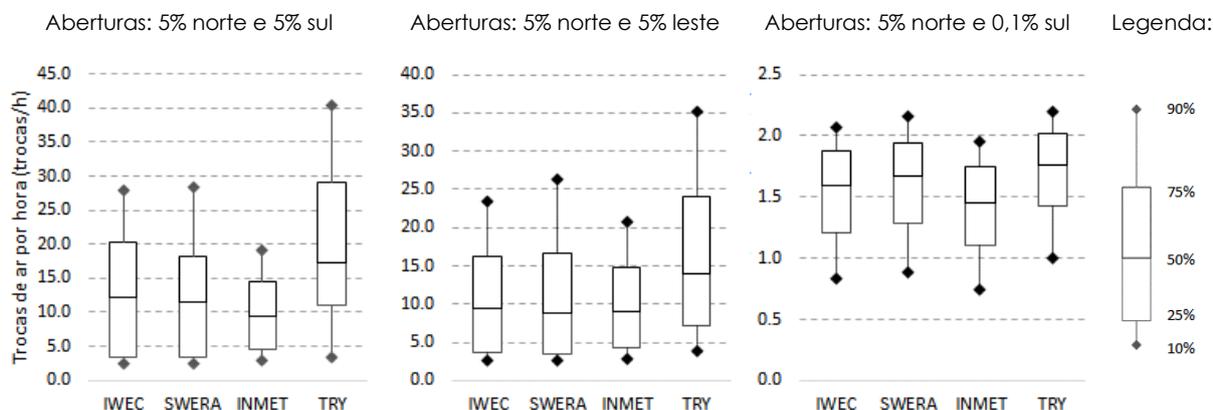
## 4 RESULTADOS

O gráfico da Figura 4 mostra cinco percentis de ocorrência de trocas de ar por hora para o modelo simplificado com as três condições de aberturas e diferentes arquivos climáticos de São Paulo. Observa-se que os arquivos IWEC e SWERA geram perfil de trocas de ar semelhantes. Mas o arquivo INMET resultou em trocas de ar mais baixas que os demais, e o arquivo TRY resultou em trocas de ar mais altas em todos os percentis. A mediana (percentil de 50%) do primeiro modelo simulado com arquivo TRY equivale a 17,4 trocas/h, enquanto a simulação com arquivo INMET apresenta como mediana o valor de 9,3 trocas/h, ou seja, 47% menor.

Isso significa que um mesmo modelo, simulado com diferentes arquivos climáticos de uma mesma cidade, pode resultar em perfis de ventilação diferentes, podendo comprometer a análise de estratégias de projeto. Entretanto, os testes desenvolvidos aqui não permitem identificar qual o arquivo correto, ou pelo menos, qual seria o mais

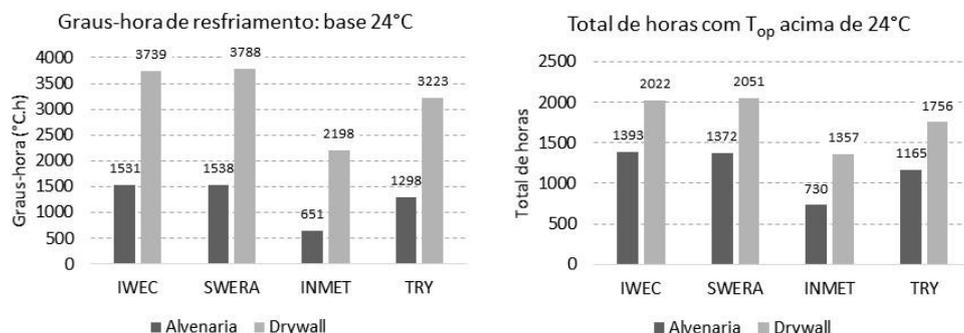
adequado. Por enquanto, sabe-se que os diferentes perfis de dados de vento disponíveis nos arquivos climáticos geram resultados significativamente diferentes.

Figura 4 – Perfis de ventilação obtidos para o modelo simplificado nas três condições de abertura e quatro arquivos climáticos de São Paulo.



Para avaliar o impacto dessa variação do perfil de ventilação sobre o desempenho térmico da edificação, analisou-se o teste conduzido sobre o modelo de uma HIS. A quantidade de graus-hora de resfriamento calculada para a temperatura de base de 24°C é apresentada na Figura 5 para os modelos com paredes em alvenaria e *drywall*. A figura também apresenta o total de horas anuais com registros de temperatura operativa acima de 24°C.

Figura 5 – Graus-hora de resfriamento e ocorrência de temperatura operativa acima de 24°C do modelo HIS simulado com os diferentes arquivos de São Paulo.



Observa-se uma semelhança nos resultados quando se usa os arquivos IWEC e SWERA, mas com o uso do arquivo INMET os valores de temperatura são mais baixos, ficando o arquivo TRY com resultados intermediários.

A análise comparativa entre os dois modelos, alvenaria e *drywall*, também gerou diferenças percentuais variadas conforme o arquivo climático utilizado. Por exemplo, a mudança da parede de *drywall* para alvenaria, quando analisada com arquivo IWEC resultou em redução de 59% no total de graus-hora, frente à redução de 70% observada com arquivo INMET.

Vale ressaltar que os arquivos climáticos também possuem diferenças nos valores de temperatura do ar e radiação solar, que teriam influência nesses resultados. Tais incertezas serão avaliadas na sequência dessa pesquisa.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise sobre as incertezas de dados de ventos dos arquivos climáticos utilizados para simulação computacional. Em um teste aplicado sobre um modelo simplificado, no programa EnergyPlus, usando quatro arquivos climáticos diferentes para a cidade de São Paulo identificou-se resultados com padrões de ventilação natural diferenciados. Isso indica que se uma simulação desse tipo for utilizada como ferramenta de análise em normas e procedimentos de certificação ambiental, a escolha do arquivo climático é fator determinante nos resultados. Isso foi demonstrado por meio de um teste sobre um modelo de habitação de interesse social alterando-se as paredes de alvenaria por *drywall*. Dependendo do arquivo climático utilizado, a quantidade de graus-hora de resfriamento para a temperatura de base de 24°C reduziu de 59% a 70%, ou seja, uma variação de até 11 pontos percentuais, que poderia comprometer a classificação do nível de desempenho da edificação.

Este artigo demonstrou que os arquivos climáticos são fontes de grandes incertezas no processo de simulação computacional do desempenho térmico de edificações. A facilidade de utilização de simulação horária anual, por gerar maior volume de resultados, não significa que irá resultar num procedimento mais preciso. Pelo contrário, o nível de incertezas aumenta e demanda maior detalhamento em um provável procedimento normativo que lance mão deste recurso.

## REFERÊNCIAS

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BECK, A. T.; CORRÊA, M. R. S. New Design Chart for Basic Wind Speeds in Brazil. **Latin American Journal of Solids and Structures**, v. 10, 2013, p. 707 – 723.
- DOE (U.S. Department of Energy. EnergyPlus. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 5/5/2020.
- \_\_\_\_\_. Weather data. **EnergyPlus**. Disponível em: <<https://energyplus.net/weather>>. Acesso em: 6/8/2019.
- MARSH, A. Weather 3D. AndrewMarsh.com. Disponível em: <<https://drajmarsh.bitbucket.io/weather-data.html>>. Acesso em: 5/5/2020.
- PASSOS, B. A. Impacto do uso de isolante térmico em Habitações de Interesse Social nas diferentes condições climáticas brasileiras. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. 2016. 154 pp.
- PES, M. P.; Pereira, E. B.; MARENGO, J. A.; MARTINS, F. R.; HEINEMANN, D.; SCHMIDT, M.; Climate trends on the extreme winds in Brazil. **Renewable Energy**, v. 109, 2017, p. 110-120.
- SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S. ; GHISI, E. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 289-303, 2017.
- SOUSA, J. P. M. **Influência da forma urbana na ventilação natural**: um estudo de caso no Cais José Estelita, Recife. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano. Universidade Federal de Pernambuco. 2014. 179 pp.
- VALLIS, M. B.; LOREDO-SOUZA, A. M.; WATRIN, L. C. A review of Brazilian wind data. In: AMERICAS CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 13. , Gainesville, Florida, USA. **Proceedings...** Gainesville: ACWE, 2017.
- WESTPHAL, F. S. Análise de incertezas de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. 147 pp.