DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE FLUXOS TÉRMICOS EM EDIFICAÇÕES[1]

LEITZKE, R. K., Universidade Federal de Pelotas, email: rodrigokarinileitzke@gmail.com; FREITAS, J. R., Universidade Federal de Pelotas, email: julyeramalhof@hotmail.com, CUNHA, E. G. da, Universidade Federal de Pelotas, email: eduardogralacunha@gmail.com

ABSTRACT

The building thermal balance is fundamental for the evaluation of the building thermoenergetic performance. It's defined by the heat gains and losses balance considering the external environment. Computational simulation is an important tool capable of performing these analyzes, such as EnergyPlus software, performing simulations involving thermal and energy issues and being able to simulate at different time steps. One of the results analysis methods of a computational simulation is the elaboration of thermal flows. This analysis involves a series of variables providing an evaluation of what is most influential in the thermal balance observing the building envelope. For this process, it's necessary that several variables are related in graphs that separate the relations of losses and gains. The objective of this work is to present the implementation of a tool that automates the generation of thermal flows, representing graphically the numerical results obtained through computational simulations in EnergyPlus. The method was divided into three stages, technology analysis, code development and application of the tool in an existing model. The results show the feasibility of implementing this tool for computational simulations in EnergyPlus.

***Keywords**: Computational simulation. Thermal flows. Algorithms. EnergyPlus. Energy analysis.*

1 INTRODUÇÃO

O balanço térmico de um edifício está diretamente relacionado com as variáveis que influenciam nos ganhos e nas perdas de calor com o meio externo. Segundo HENSEN e LAMBERTS (2014), para avaliar o desempenho e o comportamento de uma edificação em um determinado contexto climático, é preciso considerar uma interação dinâmica que relaciona a edificação com as pessoas que a ocupam, equipamentos elétricos existentes, clima local e os sistemas de refrigeração e ventilação. Desta forma, a relação entre este conjunto de fatores, determinará o desempenho da edificação por meio de um balanço térmico que avalia as trocas que são realizadas entre a edificação com suas configurações e o clima onde ela está inserida.

Uma das maneiras de avaliar o comportamento do conjunto de variáveis que representam o comportamento de uma edificação é através de simulações computacionais. Para realização de simulações computacionais, o software EnergyPlus (EP) (CRAWLEY et. al., 2001), é geralmente escolhido em análises que envolvem questões térmicas e energéticas em edificações. Um dos pontos diferenciais do EP é a possibilidade de simular os casos de teste em

[1] LEITZKE, R.K. , FREITAS, J. R., CUNHA, E.,G. da, DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE FLUXOS TÉRMICOS EM EDIFICAÇÕES. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XVII, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

diferentes intervalos de tempo (timestep), ou seja, uma mesma análise pode ser realizada de forma horária, diária, semanal, mensal ou anual.

Os resultados obtidos através da simulação do EP, dentro do intervalo pré-estipulado, são fornecidos através de planilhas eletrônicas contendo as informações solicitadas nas variáveis de saída do programa. A partir destas planilhas é possível gerar gráficos ou outras representações que apresentem os resultados obtidos.

Segundo STRAND (1999), em uma simulação computacional termoenergética, um dos métodos de análise de resultados é a elaboração de fluxos térmicos, onde uma série de variáveis é considerada em uma representação gráfica, proporcionando a avaliação das variáveis que são mais influentes no consumo energético de uma edificação. A geração deste modelo de análise necessita que os resultados sejam relacionados em um gráfico que separe as relações de perdas e ganhos oriundas da simulação, algo que as ferramentas de geração gráfica não oferecem de forma trivial, o que torna complexa a visualização dos resultados obtidos em uma análise com múltiplas simulações.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta/interface para facilitar a visualização dos fluxos térmicos obtidos a partir dos resultados numéricos das simulações computacionais no software *EnergyPlus*.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Na primeira, foi realizada uma análise de tecnologias relacionadas com o desenvolvimento da ferramenta. A segunda etapa caracterizou-se pelo desenvolvimento do código fonte da aplicação. Na terceira e última etapa, a ferramenta foi aplicada em um modelo residencial com o objetivo de apresentar os fluxos do balanço térmico deste edifício.

3.1 Análise das tecnologias utilizadas

Para otimização dos modelos e dos resultados do EP, a linguagem de programação de computadores *Python* vem sendo adotada em diversos trabalhos, como na geração da biblioteca *esoreader* (DAREN, 2014), uma ferramenta que apresenta um modelo de análise e seleção dos resultados do EP na extensão .eso. Outra ferramenta em *Python*, porém com um propósito geral, é a biblioteca *matplotlib* (HUNTER, 2007), uma aplicação que permite a geração de gráficos a partir de quaisquer parâmetros informados no código em *Python*.

A união destas duas bibliotecas permite que seja desenvolvido o modelo proposto por este trabalho, selecionando os resultados para avalição (*esoreader*), e gerando um gráfico com os resultados a partir dos resultados selecionados (*matplotlib*).

3.2 Desenvolvimento de código fonte da aplicação

Partindo do estudo do funcionamento das bibliotecas *Python* apresentadas no item 3.1, o desenvolvimento da aplicação proposta se deu a partir da definição das informações coletadas como entrada para o algoritmo. Inicialmente, é definido o período de análise da simulação, neste trabalho optou-se pela avaliação diária, afim de verificar o comportamento dos dias típicos de inverno e verão. Para simulação destes dias, o objeto *SizingPeriod:DesignDay* do EP deve estar configurado com informações dos dias característicos de inverno e verão para zona bioclimática de interesse. Em seguida, com base no estudo de SILVA et. al. (2012), que avalia as variáveis mais influentes no processo de simulação computacional, foram definidas as variáveis de saída utilizadas pelo algoritmo para alimentar o gráfico de fluxos térmicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Variáveis utilizadas para simulação

Variável	**Tradução**
Zone Electric Equipment Total Heating Rate (W)	Ganho total de calor pelos equipamentos elétricos (em Watts)
Zone Windows Total Heat Gain/Loss Rate (W)	Ganhos e perdas totais de calor pelas esquadrias (em Watts)
Zone Windows Total Transmitted Solar Radiation Rate (W)	Ganho pelas esquadrias transmitido pela radiação solar direta (em Watts)
Zone Lights Total Heating Rate (W)	Ganhos totais através da iluminação (em Watts)
Zone People Total Heating Rate (W)	Ganhos totais através das pessoas (em Watts)
AFN Zone Infiltration Sensible Heat Gain/Loss Rate (W)	Ganhos e perdas pela infiltração – calor sensível (em Watts)
AFN Zone Infiltration Latent Heat Gain/Loss Rate (W)	Ganhos e perdas pela infiltração – calor latente (em Watts)

Fonte: Os autores

A etapa de elaboração da ferramenta baseia-se no fluxo de execução apresentado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Fluxo de execução do programa



Fonte: Os autores

Conforme apresentado pela Figura 1, a primeira etapa do fluxo de execução da ferramenta apresenta a definição das bibliotecas utilizadas durante a implementação (*esoreader*, *matplotlib*, além da *numpy,* biblioteca numérica do Python para manipulação dos dados e operações). Também apresenta a criação das listas para cada uma das variáveis descritas na Tabela 1. Estas listas serão responsáveis por armazenar os resultados da simulação posteriormente.

Nas etapas seguintes do fluxo de execução são realizados os processos de seleção dos resultados obtidos através da simulação e de armazenamento no arquivo .eso. Utilizando as funcionalidades da biblioteca *esoreader*, um laço de repetição para as 48 horas de resultados (24 do dia de inverno e 24 do dia de verão) é definido, nele são coletados para todas as variáveis da Tabela 1 os seus resultados. Em seguida, é realizada uma média ponderada por área de cada zona térmica para cada variável, este procedimento é necessário já que o EP fornece os resultados de saída separados por zonas térmicas, inferindo a necessidade de que seja realizada uma ponderação dos resultados pela área destas zonas para apresentar o comportamento da edificação como um todo.

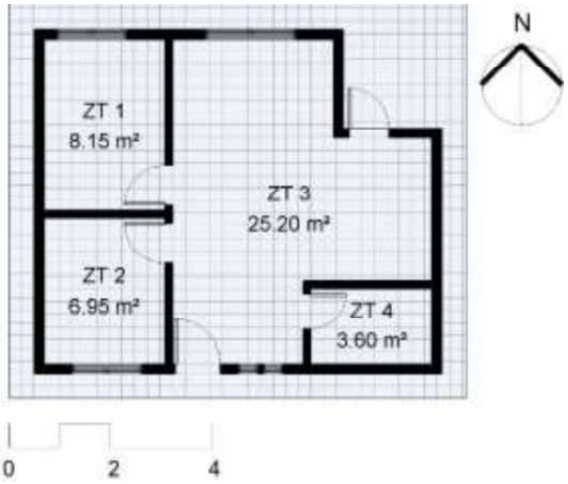
Na última etapa do fluxo, é utilizada a biblioteca *matplotlib* para geração dos gráficos, nela as listas contendo os resultados das variáveis solicitadas durante a simulação são adicionadas em um gráfico de colunas, escolhido para diferenciar as relações de perdas e ganhos através de um eixo central horizontal em zero. Nele são atribuídas cores diferentes para cada uma das

variáveis de saída definidas. Por fim, são adicionados os títulos dos eixos e do gráfico, além do intervalo de representação (24 horas de um dia).

3.4 Aplicação em modelo existente

Para avaliação do uso da ferramenta em um contexto real, foi escolhida uma habitação de interesse social unifamiliar (OLIVEIRA, 2012). Foi configurada para simulação computacional utilizando o EP de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) para Zona Bioclimática Brasileira 2, cidade de Pelotas com latitude 31° 46' 19" S e longitude 52° 20' 33" W. A Figura 2 apresenta a planta baixa da edificação utilizada, o modelo possui 4 zonas térmicas (ZT), sendo a ZT 1 e ZT 2 - dormitórios, a ZT 3 - sala de estar e cozinha integradas e a ZT 4 - banheiro. A densidade de carga interna com equipamentos adotada foi de 1,5 W/m² para a sala, considerada no período de 24 horas. Foi adotado o padrão mínimo de ocupação sendo duas pessoas por dormitório e quatro pessoas no ambiente de estar e cozinha, com as agendas definidas de acordo com o RTQ-R (INMETRO, 2012).

Figura 2 – Planta baixa modelo



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2012)

Para configuração do envelope do modelo foram utilizados materiais tradicionais da construção de HIS no Brasil, de modo a atender aos requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica exigidos para a zona bioclimática 2, pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) (Tabela 2).

Tabela 2 – Desempenho térmico envelope opaco - ZB2 (NBR 15.575)

Paredes Externas	Paredes Internas	Cobertura
U ≤ 2,5 e CT ≥ 130	U ≤ 2,5 e CT ≥ 130	U ≤ 2,3

U = Transmitância térmica (W/m²K); CT = Capacidade Térmica (kJ/m²K).

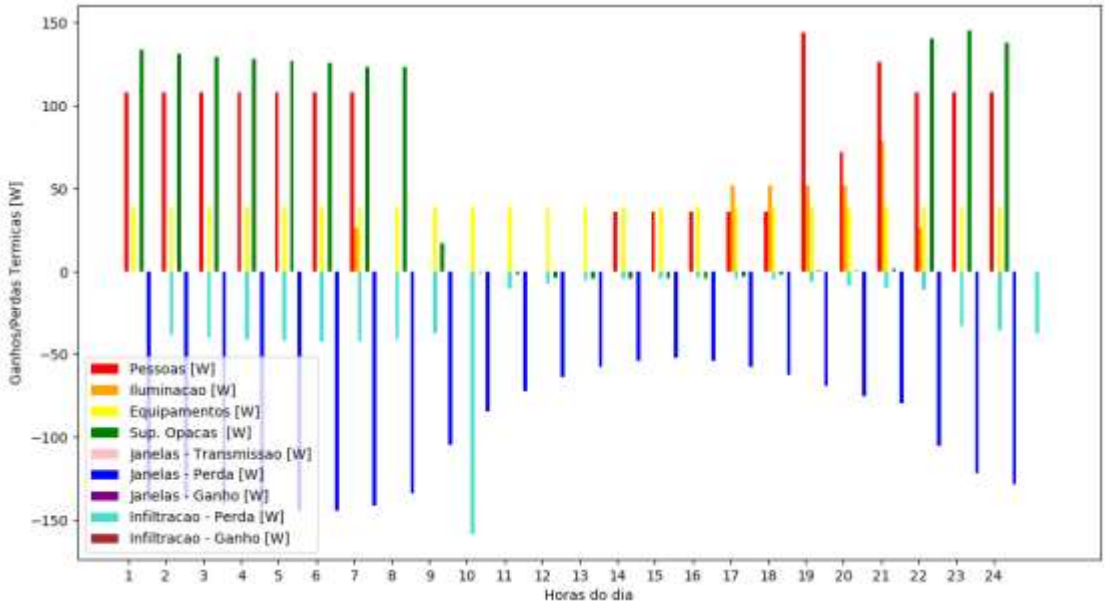
Fonte: Os autores

De acordo com os requisitos da Tabela 2, para verificar o funcionando da aplicação dentro da HIS apresentada, foram testados dois limites de transmitância térmica de cobertura: 2,18 e 0,48 W/m²K. Esta situação gerou dois casos de teste, o caso 1 com cobertura menos isolada (U = 2,18 W/m²K) e o caso 2 com a cobertura mais isolada (U = 0,48 W/m²K).

4 RESULTADOS

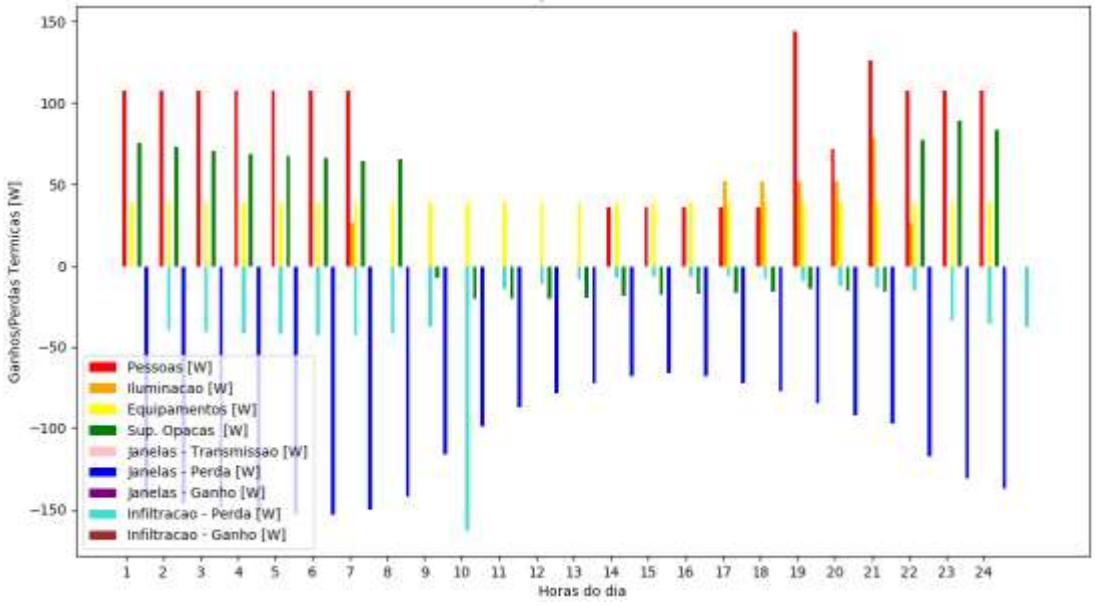
Diante dos dois cenários de cobertura definidos, os casos 1 e 2 foram simulados pelo EP considerando os dias típicos de projeto de inverno e verão na ZB2, definidos no trabalho de SOARES (2014). Foram solicitados como resultados todas as variáveis da Tabela 1.

Figura 3 – Dia típico inverno ZB2 – Cobertura U = 0,48 W/m²K



Fonte: Os autores

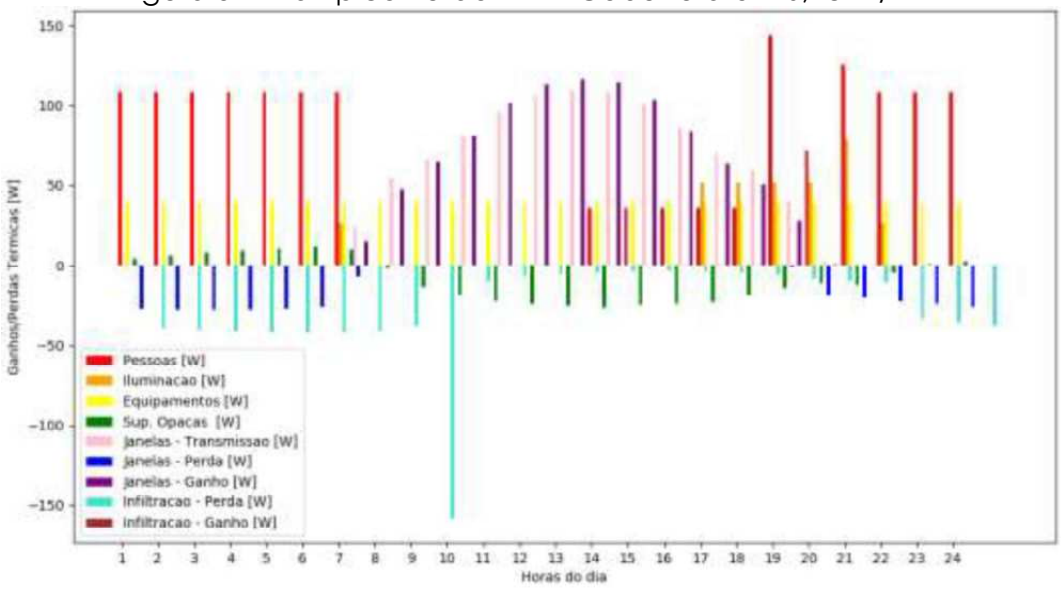
Figura 4 – Dia típico inverno ZB2 – Cobertura U = 2,18 W/m²K



Fonte: Os autores

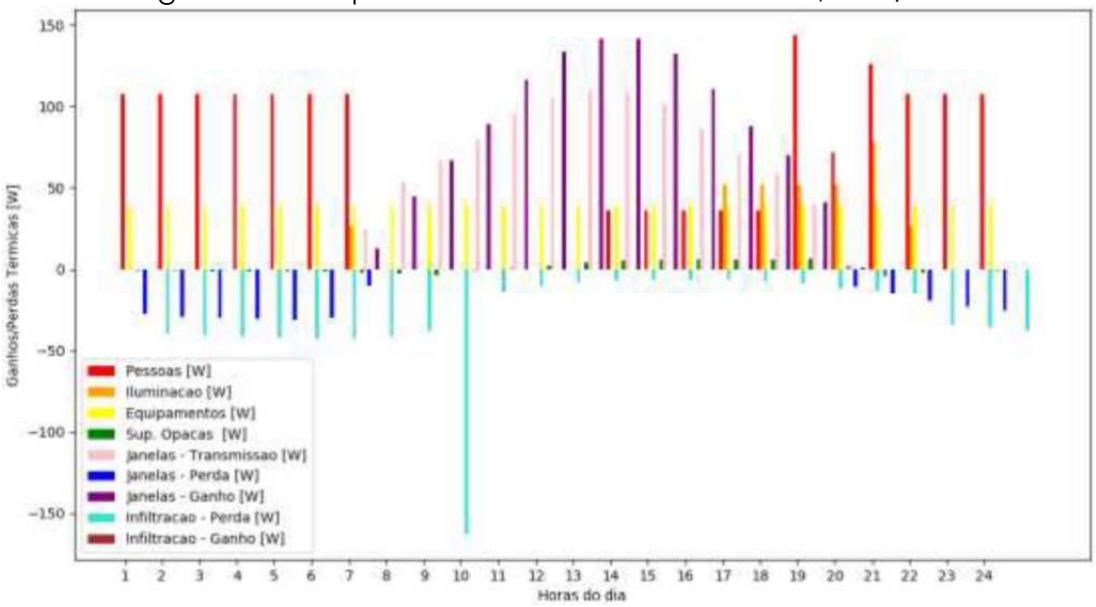
Analisando as Figuras 3 e 4, que apresentam os gráficos gerados pela ferramenta utilizando a biblioteca *matplotlib* para os dias típicos de inverno nos casos 1 e 2, é possível observar incialmente o formato do gráfico (gráfico de barras com o eixo central horizontal em zero), os rótulos dos eixos e a legenda dos resultados. Quanto ao comportamento do isolamento da cobertura no balanço térmico da edificação, é possível perceber que as superfícies opacas, no caso da cobertura mais isolada e com maior massa térmica, auxiliaram na redução das perdas de calor durante o dia (das 09 às 20hrs, caso 2, Figura 3) no dia típico de inverno. Porém, este mesmo modelo apresentou ganhos maiores no período da noite (das 22 às 8hrs), em decorrência da maior massa térmica, quando comparado com o modelo menos isolado na cobertura (caso 1, Figura 4).

Figura 5 – Dia típico verão ZB2 – Cobertura U = 0,48 W/m²K



Fonte: Os autores

Figura 6 – Dia típico verão ZB2 – Cobertura U = 2,18 W/m²K



Fonte: Os autores

Analisando as Figuras 5 e 6, considerando os dias típicos de verão nos casos 1 e 2, pelos resultados das superfícies opacas para avaliar o comportamento do isolamento da cobertura, é perceptível que o caso 1 (cobertura menos isolada, Figura 6), apresentou um ganho maior de calor longo do dia quando comparado com o caso 2 (Figura 5).

5 CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos propostos para o trabalho, foi possível realizar a implementação da ferramenta de visualização e aplica-la em um modelo do EP para testar suas funcionalidades. Para futuras atualizações na ferramenta, é possível pensar em uma interface que realize a geração dos gráficos sem a necessidade de utilizar a linguagem de programação *Python* como intermédio em cada execução. Ainda como trabalhos futuros, sugere-se a utilização do modelo apresentado em um contexto de análises paramétricas, utilizando o Python para variação das características do modelo afim de gerar múltiplos gráficos para diferentes cenários/contextos.

REFERÊNCIAS

CORBIN, C. D.; HENZE, G. P.; MAY-OSTENDORP, P.. **A model predictive control optimization environment for real-time commercial building application**. Journal of Building Performance Simulation, v. 6, n. 3, p. 159-174, 2013.

CRAWLEY, D. B. et al. **EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program**. Energy and buildings, v. 33, n. 4, p. 319-331, 2001.

DAREN, T. **esoreader: A python module for reading *.eso files generated by EnergyPlus**. Repositório do Github, 2014. Disponível em: < https://github.com/architecture-building-systems/esoreader>. Acesso em: 29 mar. 2018.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Routledge, 2012.

HUNTER, J. D. **Matplotlib: A 2D graphics environment**. Computing in science & engineering, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.

JACOB, D. et al. **Black-box models for fault detection and performance monitoring of buildings**. Journal of Building Performance Simulation, v. 3, n. 1, p. 53-62, 2010.

OLIVEIRA, L. d. S. **Avaliação dos Limites das Propriedades Térmicas dos Fechamentos Opacos da NBR 15220-3 Para Habitações de Interesse Social, da Zona Bioclimática 2**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. 2012.

SILVA, A. S.; et al. **Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações**. Ambiente Construído, v. 14, n. 4, p. 103-117, 2014.

SOARES, M. M. **Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15575/2013: habitações de interesse social na zona bioclimática 2**. 159 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

STRAND, R. et al. **Enhancing and extending the capabilities of the building heat balance simulation technique for use in EnergyPlus**. In: in Proceedings of Building Simulation'99, Volume II. 1999.

ZHAO, J.; LAM, K. P.; YDSTIE, B. E. **EnergyPlus model-based predictive control (EPMPC) by using MATLAB/SIMULINK and MLE+**. 2013.