



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

COMPARATIVO NO USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM MÉTODO PRESCRITIVO NO CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA¹

MEDEIROS, H. G. (1); RODRIGUES, G. M. (2); QUEIRÓZ, G. (3); SANTOS, L. A. O. (4); SOUZA, R. V. G. (5); VELOSO, A. C. O. (6)

- (1) PACPS, Universidade Federal de Minas Gerais, heldergattoni@gmail.com
(2) PACPS, Universidade Federal de Minas Gerais, gessica_mr@yahoo.com.br
(3) Universidade Federal de Minas Gerais, gqueiroz3@gmail.com
(4) PACPS, Universidade Federal de Minas Gerais, eng.larissaoliveira@gmail.com
(5) Depto TAU, Universidade Federal de Minas Gerais, robertavgs2@gmail.com
(6) PACPS, Universidade Federal de Minas Gerais, acoveloso@gmail.com

RESUMO

O presente artigo surgiu da problemática de utilização da simulação computacional para o cálculo da carga térmica em edificações. A pesquisa visou comparar o desempenho do método simplificado da extinta norma ABNT NBR 5858:1983 com método de simulação proposto pela ABNT NBR 16401:2008 em projetos de ar condicionado. Usando como objeto de estudo o prédio da Faculdade de Farmácia da UFMG. Foi verificado pelo método simulação uma carga térmica 2% menor do que pelo método simplificado. Concluiu-se que a simulação computacional pode ajudar o projetista de ar condicionado e, também contribui para a economia de recursos energéticos no uso do condicionamento térmico de edificações. Porém a metodologia simplificada apresenta resultado confiável para sistemas simples que utilizam aparelhos unitários com objetivo de fornecer conforto térmico aos espaços.

Palavras-chave: Carga térmica. Simulação computacional. EnergyPlus.

ABSTRACT

Problems related to the use of computer simulation to calculate the thermal load in buildings generated the present paper. The research aimed to compare the performance of the simplified method of the extinct ABNT NBR 5858: 1983 standard with the simulation method proposed by ABNT NBR 16401: 2008 in air conditioning project using as a study case de Pharmacy Faculty of UFMG building. The simulation method presented a thermal load 2% lower than the simulation obtained by the simplified method. It was concluded that computer simulation can help the air conditioning designer contributing to the economy of energy resources for buildings with mechanical air condition. However, the simplified methodology presents a reliable result for simple systems that use unitary devices with the sole purpose of providing thermal comfort to spaces.

Keywords: Thermal load. Computational simulation. EnergyPlus.

¹MEDEIROS, H. G.; RODRIGUES, G. M.; QUÉIROZ, G.; SANTOS, L. A. O., SOUZA, R. V. G.; VELOSO, A. C. O. Comparativo no uso da simulação computacional com método prescritivo no cálculo da carga térmica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O principal fator em um projeto de climatização é a determinação da carga térmica necessária para manter o ambiente na temperatura desejada. Até 2010, estava vigente a ABNT NBR 5858:1983 que fornecia metodologia simplificada para determinação da carga térmica com foco em conforto para ambientes de baixa complexidade. Entretanto, após seu cancelamento apenas a ABNT NBR 16401-1:2008 foi considerada válida, que trata sobre dimensionamento de carga, mas não possui metodologia simplificada, e indica que devido à complexidade do cálculo é recomendável a utilização de softwares para este fim, sendo incluída apenas em 2019 uma metodologia simplificada para sistemas domésticos através da ABNT NBR 16655-3:2019. Para obtenção de classificação “A” ou “B” da edificação pelo RTQ-C, um dos pré-requisitos é de que a estimativa de carga térmica do sistema de climatização tenha sido elaborada conforme ABNT NBR 16401:2008, o que acaba por obrigar que este dimensionamento seja feito através da simulação, excluindo a possibilidade da utilização de uma metodologia simplificada.

O cálculo correto da carga térmica em sistema de climatização é muito importante, pois segundo IEA (2013), o consumo energético nas edificações é responsável pelo consumo de 30% da energia global e praticamente 40% de toda emissão de CO₂. No setor de edificações comerciais e serviços e públicas, os principais consumidores de energia são o ar condicionado, a iluminação e outros equipamentos instalados. Veloso e Souza (2018) analisaram o consumo energético de 101 edificações comerciais em Belo Horizonte/MG e observaram que há grande variação no consumo, de acordo com o tipo de solução de ar condicionado, sendo observado que os maiores consumidores são aqueles que utilizam sistemas centrais para climatização de todos os ambientes da edificação.

A simulação computacional é a forma mais flexível e completa de observar aspectos relacionados à eficiência de edificações, mesmo que não represente sua realidade absoluta (CARLO; LAMBERTS, 2010). Dentre os motivos para se desenvolver estudos de simulação computacional estão a possibilidade de prever resultados, levar em consideração as variâncias do sistema, gerar uma solução total e poder-se avaliar o retorno financeiro das soluções adotadas, pois todos estes não são necessárias mudanças reais no sistema estudado antes de testar sua eficácia (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2012).

Entretanto, Hensen e Lamberts (2011) e Zhang (2013) indicam a necessidade de mão-de-obra altamente qualificada e experiente no domínio de programas computacionais de alta complexidade, para que haja confiabilidade nos resultados obtidos através da simulação, além do maior investimento financeiro e de tempo, se comparada com métodos prescritivos. Neste sentido, Alfredo (2011) sugeriu que fosse incluído na norma ABNT NBR 16401:2008 uma tabela de cálculo simplificado de carga térmica para sistemas compostos de *mini splits* e ar condicionado de janela, como era o caso da ABNT NBR 5858:1983.

Inácio e Erthal (2017) realizaram um estudo em que dimensionaram a carga térmica de 12 salas de aula através de simulação com o software EnergyPlus e utilizando o método da ABNT NBR 5858:1983. Neste estudo, observaram que na média, a carga térmica obtida com simulação foi 2,69% maior do que a obtida pela ABNT NBR 5858:1983, sendo que a sala com maior diferença foi de 15,39%. O estudo corrobora a sugestão de Alfredo (2011) de inclusão de método simplificado na norma ABNT NBR 16401:2008. Neste sentido, a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) publicou em 2018 a norma ABNT NBR 16655-3:2018 posteriormente substituída pela

versão em vigor ABNT NBR 16655-3:2019, que possui um método simplificado para dimensionamento de carga térmica. Este método utiliza três processos: carga de resfriamento pela diferença de temperatura (CLTD), fatores de carga de resfriamento solar (SCL) e fatores de carga térmica Interna.

O objetivo deste artigo é apresentar um comparativo da estimativa de carga térmica obtido por dois métodos, sendo eles o de simulação sugerido pela norma ABNT NBR 16401:2008 e o método simplificado sugerido pela norma ABNT NBR 5858:1983 aplicando-os na Biblioteca da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais.

1.1 Evolução das normas de climatização

No que tange às normas brasileiras sobre climatização, o Brasil se absteve de atualizá-las por cerca de 30 anos, enquanto as tecnologias nesta área vinham evoluindo e se modificando, tanto para sistemas domésticos quanto para sistemas de grande porte. Podemos citar a gradual substituição dos compressores alternativos por compressores do tipo *scroll*, parafuso e rotativo, introdução de eletrônica nos equipamentos, e ainda sistemas com inversores chamados de *inverter* (ALFREDO, 2011). Deste modo, houve grande interesse na atualização das normas de modo a incorporar as novas tecnologias, excluindo gradualmente, equipamentos que utilizam gases prejudiciais ao meio ambiente, equipamentos de baixa eficiência, ou que por algum motivo não atendam as novas normativas.

Atualmente, a principal norma sobre climatização em vigor é a NBR 16401-1, 2 e 3 (ABNT,2008). Antes dela a ABNT NBR 6401:1980 vigorou por 28 anos como a única norma que tratava de sistemas centrais de ar condicionado e a ABNT NBR 5858:1983 que tratava de equipamentos domésticos de climatização, cancelada em 2010.

Entre 1980 e 2008, diversas tecnologias foram criadas e houve avanços nas áreas trabalhistas, de saúde, de qualidade do ar e de meio ambiente. Entretanto as normas então vigentes não abordavam com a profundidade necessária estes assuntos. Neste sentido, em 1998, a Portaria 3523 do Ministério da Saúde contribuiu para introduzir exigências em relação à qualidade do ar interior (ALFREDO, 2011).

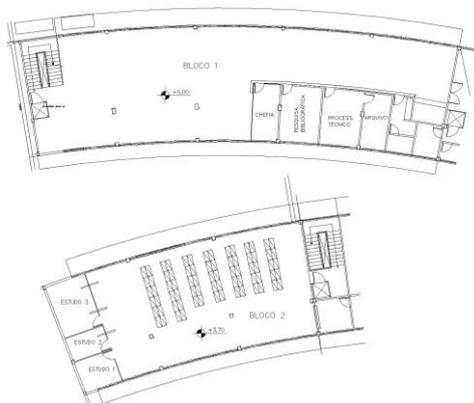
Em relação ao meio ambiente, tivemos nesse período o protocolo de Montreal e de Kyoto que trouxeram nova visão sobre os fluidos refrigerantes utilizados nos sistemas de refrigeração. A partir de então criou-se a necessidade da existência de normas mais modernas que fossem capazes de abordar os novos paradigmas propostos. Assim, a ABNT elaborou a NBR 16401:2008 com título de Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários, que é dividida em três partes: 1 - Projetos das Instalações, 2 - Parâmetros de conforto térmico e 3 - Qualidade do ar interior.

De 2008 a 2010, ficaram vigentes em concomitância a ABNT NBR 5858:1983 e a ABNT NBR 16401:2008, com a primeira possuindo um método simplificado para sistemas domésticos e a segunda apresentando a simulação computacional como método indicado. Entretanto, em 2010, a ABNT NBR 5858:1983 foi cancelada e não foi substituída, deixando uma lacuna para dimensionamento de sistemas simples, em que o conforto é o foco. Porém, recentemente foi lançada a ABNT NBR 16655:2018 que trata de sistemas residenciais de ar condicionado e possui três partes, sendo que a parte 3 que apresenta método de cálculo simplificado foi revisada em 2019.

2 ESTUDO DE CASO

Para o estudo foi adotado o ambiente da Biblioteca do prédio da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG localizado em Belo Horizonte, MG. Esta biblioteca conta com dois pavimentos localizados em blocos alternados: o bloco 2 do segundo pavimento está à direita do bloco 1 do primeiro pavimento. Sua área total é de 589,94m², sendo distribuída em área de exposição do acervo, área de leitura, salas de estudo, salas de arquivo e salas administrativas, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Planta baixa da biblioteca do Prédio de Farmácia da UFMG.



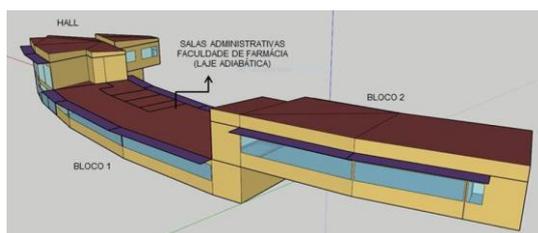
Fonte: Os autores

A pintura externa é feita na cor amarela terra (absortância $\alpha = 0,7$), as paredes externas são de tijolo cerâmico de 14x19x29 com 2cm de argamassa na superfície interna e externa, as paredes internas de tijolo cerâmico de 9x19x29 com 2cm de argamassa nas duas faces. Os vidros das janelas são simples de 6mm.

3 CARGA TÉRMICA PELA SIMULAÇÃO

Para realizar a simulação foi necessária a elaboração de um modelo digital da edificação elaborado no programa computacional SketchUp, versão 2018, a partir do *plug-in* Euclid, versão 0.9.3, e para a simulação foi usado o software EnergyPlus, versão 8.8.0. Para a modelagem, foi considerada a área total da biblioteca e o hall adjunto a esta, já que este apresenta trocas térmicas com a biblioteca. Este hall não é climatizado artificialmente. Sobre o bloco 1, encontram-se salas administrativas de outro setor da Faculdade de Farmácia e, como estas não são foco deste estudo, não foram modeladas. Como as salas administrativas são climatizadas, a laje do primeiro pavimento sobre o bloco 1 foi considerada adiabática, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Vista frontal da Biblioteca do Prédio de Farmácia da UFMG.



Fonte: Os autores

As zonas térmicas foram estabelecidas de acordo com seu uso e ocupação, tendo sido a orientação dos ambientes uma premissa para separação das zonas. Dessa forma, cada ambiente constituiu uma zona térmica, com exceção da sala de arquivo e banheiros que constituíram uma única zona térmica por apresentarem características semelhantes, e por não serem áreas condicionadas artificialmente.

Entre os dados de entrada usados para a simulação pode-se citar: características físicas dos materiais; arquivo climático; *schedules* de iluminação, ocupação e equipamentos; orientação da edificação e temperatura do solo. As informações relativas aos materiais construtivos da biblioteca foram obtidas do Memorial Descritivo Arquitetônico fornecido pelo Departamento de Planejamento e Projetos da UFMG. Para a elaboração das *schedules* de iluminação, ocupação e equipamentos, foi feita uma entrevista com funcionários da Biblioteca. Utilizou-se, ainda, o arquivo climático SWERA da região da Pampulha, para a cidade de Belo Horizonte, já que o Campus da UFMG onde localiza-se o projeto se situa nesta região. A simulação foi realizada para o ano todo, não considerando dias típicos.

Para simulações de análise, foi selecionado a opção *HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem* que possibilita realizar cálculos de carga térmica para cada uma das 8.760 horas do ano. O *Ideal Load Air System* é utilizado para calcular as cargas de aquecimento e refrigeração em cada zona, sem modelagem de um sistema completo de climatização. É uma maneira rápida e fácil para avaliar impactos de estratégias de eficiência energética (VERSAGE; LAMBERTS, 2010).

Para a determinação das cargas térmicas de resfriamento, o dado de saída escolhido foi o *Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate*, em Watts, para dados horários para o ano inteiro, uma vez que o sistema de condicionamento artificial implantado na biblioteca é exclusivo para resfriamento dos ambientes. Para determinar qual seria a carga térmica considerada para seleção do equipamento foi escolhido a carga que atenderia a 99% das horas para cada ambiente. A Tabela 1 apresenta os dados obtidos por ambiente.

Tabela 1 – Carga Térmica por ambiente obtida por simulação com EnergyPlus

Ambiente	Carga Térmica (W)	Carga Térmica (BTU/h)
ANDAR 1	18.735	63.926
ANDAR 2	20.590	70.256
PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	2.082	7.104
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	2.130	7.268
CHEFIA	1.551	5.292
ESTUDO 1	2.880	9.827
ESTUDO 2	2.421	8.261
ESTUDO 3	5.110	17.436

Fonte: Os autores

4 CARGA TÉRMICA PELO MÉTODO DA ABNT NBR 5858:1983

Para obtenção da carga térmica pelo método simplificado da ABNT NBR 5858:1893, foi utilizada planilha disponibilizada pelo Laboratório de Conforto e Eficiência Energética da Universidade Federal de Pelotas (LABCEE/UFPEL, 2018), que corresponde ao formulário do anexo “A” da norma. O método de cálculo simplificado presente na ABNT NBR 5858:1893 se aplica a aparelhos condicionadores

para fins residenciais, comerciais, ou industriais, tendo conforto como finalidade (VESCOVI; MENEGAZ; 2014).

O método consiste na inserção de parâmetros que são multiplicados por fatores pré-estabelecidos. Dentre os parâmetros inseridos cita-se a área de janela com insolação, área de paredes internas e externas, orientação das janelas, tipo de parede pesada ou leve, quantidade de pessoas, atividade dos ocupantes, carga de equipamentos, carga de iluminação, área de piso, tipo de cobertura e áreas constantemente abertas. Ao final, o valor obtido deve ser multiplicado por um fator, a depender da região onde está a construção, podendo variar de 1,05 a 0,85. A Tabela 2 apresenta os valores de carga térmica obtidos com este método.

Tabela 2 – Carga Térmica por ambiente obtida pelo método da ABNT NBR 5858:1983

Ambiente	Carga Térmica (W)	Carga Térmica (BTU/h)
ANDAR 1	20.970	71.553
ANDAR 2	20.562	70.160
PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	2.015	6.875
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	2.023	6.903
CHEFIA	1.573	5.367
ESTUDO 1	2.720	9.281
ESTUDO 2	2.142	7.309
ESTUDO 3	4.471	15.256

Fonte: Os autores

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos para os dois métodos, tem-se a Tabela 3 para comparação.

Tabela 3 – Comparação do resultado obtido pelo método de simulação com método da ABNT NBR 5858:1983

Ambiente	Carga Térmica (BTU/h) (Simulação)	Carga Térm. (BTU/h) ABNT NBR 5858	Simul. / ABNT NBR 5858	Varição (BTU/h)
ANDAR 1	63.926	71.553	0,89	7.627
ANDAR 2	70.256	70.160	1,00	96
PESQUISA BIBLIOG.	7.104	6.875	1,03	229
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	7.268	6.903	1,05	365
CHEFIA	5.292	5.367	0,99	75
ESTUDO 1	9.827	9.281	1,06	546
ESTUDO 2	8.261	7.309	1,13	952
ESTUDO 3	17.436	15.256	1,14	2.180
TOTAL	189.370	192.704	0,98	3.334

Fonte: Os autores

Pode-se observar que a variação no resultado foi de -11% a +14%, sendo que, considerando a carga térmica total de todos os ambientes da biblioteca, o resultado

com simulação foi 2% menor quando comparado com o método simplificado, coincidindo com os resultados de Inácio e Erthal (2017), corroborando a sugestão de Alfredo (2011) para inclusão de tabela de cálculo simplificada na ABNT NBR 16401:2008 e com a afirmação de Vescovi e Menegaz (2014) de que o método simplificado presente na ABNT NBR 5858:1893 se aplica para ambientes sem complexidade com finalidade somente de conforto.

O Ambiente “Andar 1” foi o único que apresentou alteração suficiente para justificar a escolha de um modelo de ar condicionado com capacidade térmica diferente para cada método de cálculo da carga térmica. Para os demais a diferença não seria suficiente para justificar alteração nos modelos, visto que os fabricantes possuem equipamentos splits de capacidade 7.500, 9.000, 12.000, 18.000, 24.000, 30.000, 36.000, 48.000, 60.000 e 80.000 BTU/h (Elgin, 2019).

6 CONCLUSÕES

O programa computacional EnergyPlus é uma complexa ferramenta que exige uma quantidade considerável de dados de entrada e configurações para alcançar um resultado de acordo com a realidade. Portanto, a simulação computacional para a elaboração de projetos de dimensionamento de sistemas de ar condicionado é um processo que exige tempo e profissional qualificado para a função.

Por meio deste trabalho, iniciou-se a discussão da necessidade de se entender os limites para o cálculo de carga térmica, como o nível de fidelidade com que deve ser informada a geometria do modelo digital do projeto e o quão detalhada deve ser a simulação com relação aos dados de entrada.

Apesar da maior complexidade da simulação e comparada à simplicidade do método da ABNT NBR 5858:1983, os resultados obtidos foram bastante próximos, e a escolha de equipamentos de ar condicionado seria a mesma se utilizado modelos *split*, exceto para a o ambiente “Andar 1”.

Considera-se, no entanto, a simulação uma ferramenta flexível onde podem ser definidas diferentes temperaturas internas e vazões de renovação para o cálculo da carga térmica, enquanto o método simplificado não apresenta esta possibilidade. Vale ressaltar que a ABNT NBR 16655-3:2019, publicada recentemente, apresenta metodologia simplificada mais abrangente e detalhada, sugerindo assim para trabalhos futuros, a comparação entre os três métodos.

Considerando os fatores e limitações, mesmo com o resultado mais preciso indicado pela simulação por meio do programa EnergyPlus, caso o sistema seja simples com função apenas de conforto, como no caso deste trabalho, o método simplificado apresenta um resultado confiável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pelos recursos financeiros aplicados no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2:

Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 16655** – Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado — Split e compacto Parte 1: Projeto e Instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 16655** – Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado — Split e compacto Parte 2: Procedimento para ensaio de estanqueidade, desidratação e carga de fluido refrigerante. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 16655** – Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado — Split e compacto Parte 3: Método de cálculo da carga térmica residencial. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 5858** – Condicionador de ar doméstico. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ALFREDO, J. A., **Análise crítica da norma brasileira ABNT NBR 16401-1 (Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários parte 1 - projeto das instalações), 16401-2 (Parâmetros de conforto térmico) e 16401-3 (Qualidade do ar interior)**. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010.

ELGIN. Catálogo de Climatização 2019/2020. Disponível em: <https://portaldeapoio.elgin.com.br/catalogos/1_1555940618.pdf>, Acessado em 01 de novembro de 2019.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. O. **Simulation using ProModel**. 3. ed. New York: McGraw Hill, 2012.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Londres, 2011.

INÁCIO, W. D. S; ERTHAL, M. **Dimensionamento da carga térmica de resfriamento de ambientes como estratégia para melhoria da eficiência energética em instituições de ensino**. VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/RJ, v.19, n.3, p. 211-236, set./dez. 2017

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Total energy use in buildings: Analysis and evaluation methods**. 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL. Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE). Programa do Bom Uso Energético (PROBEN). **Planilha de carga térmica**. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/proben/planilha-de-carga-termica/>>. Acesso em: 12/06/2018.

VELOSO, A. C. O., SOUZA, R. V. G. **Benchmarking the energy efficiency of office buildings in Belo Horizonte, Brazil**. 7th International Conference Physics Building, IBPC2018, Syracuse, NY, USA, 2018.

VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **Tutorial OpenStúdio 1.0**: plugin do EnergyPlus para Sketchup. Florianópolis: LabEEE, 2010. 20 p. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_OpenStudio.pdf> . Acesso em: 21/06/2018.

VESCOVI, P. V. S.; MENEGÁZ, P. J. M.. **Análise técnico-econômica de implementação de um sistema de geração Elétrica fotovoltaica aplicada para cargas de refrigeração**. Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte, MG, 2014.

ZHANG, I. Impact of model simplification on energy and comfort analysis for dwellings. In: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013, França. **Anais...** Chambéry: IBPSA, 26-28 ago. P. 1184-1192.