MODELO TERMOENERGÉTICO CALIBRADO DO RESTAURANTE ESTUDANTIL DO CEFETMG CAMPUS II[1]

DUARTE, M. A., Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG),e-mail: matduart95@gmail.com; FREITAS, L. F., CEFETMG, e-mail: ludfreittas@gmail.com; LIMA, F. R. S., CEFETMG, e-mail: fredericoromagnoli@gmail.com; OLIVEIRA, R. D., CEFETMG, e-mail: raqueldo@gmail.com

ABSTRACT

The sustainable use of electricity is a global challenge. In this scenario, building thermal studies can improve the indoor human thermal conditions as well as minimize the HVAC consumption of electricity. The authors aimed at developing a calibrated model of a school restaurant that will foster human thermal comfort and building energy efficiency studies. To this intent, the research dealt with the restaurant data beyond its architectural design such as schedules, building systems and indoor temperatures, among others. Two Onset HOBO Data Logger measured the temperature in situ. Therefore, a case study model was created by using Energy Plus version 8.7.0. The simulated temperatures were compared with those gathered by measurement. A similar behavior could be notice on the results, at many period of the year, indicating that the model is calibrated. Further simulations by using this model could foster the building thermal behavior prediction and drive to building enhances.

***Keywords**: Human thermal comfort. Building simulation Calibration.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, aproximadamente 50% do consumo de eletricidade provém de edifícios (BRASIL, 2017), fato que impacta de forma significativa o consumo de eletricidade no país. Os ganhos e perdas de calor por meio da envoltória da edificação bem como a energia interna gerada pela ocupação, funcionamento de equipamentos e iluminação artificiais podem contribuir para a elevação das temperaturas máximas nos períodos quentes, entre outros, e, consequentemente, aumentar o desconforto térmico dos usuários (CARLO, 2008; SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2013), justificando, portanto, o uso de condicionamento de ar.

Uma alternativa sustentável a aparelhos elétricos para o controle do conforto térmico são as estratégias passivas de condicionamento. Essas estratégias consistem na construção e adaptação dos edifícios para que os sistemas naturais de ventilação associados as suas propriedades térmicas, possibilitem a manutenção de temperaturas aceitáveis no ambiente (WONG; LI, 2007). A viabilidade do uso dessas estratégias é realizada por meio do estudo do desempenho térmico e energético da edificação que, segundo Mendes et al. (2005), é uma tarefa que envolve variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. Logo, *softwares* de simulação energética são necessários para construção, calibração e validação de modelos físicos que simulam o

[1] DUARTE, M.A.; FREITAS, L. F.; LIMA, F. R.S.; OLIVEIRA, R. D. Modelo termoenergético calibrado do restaurante estudantil do CEFETMG Campus II. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

comportamento termoenergético de edifícios (PEREIRA, 2008; GALVARRO et al, 2013). Assim, o modelo físico computacional da construção deve estar calibrado para que ele possa representar o comportamento térmico do edifício (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi elaborar um modelo termoenergético calibrado do restaurante estudantil do CEFETMG CAMPUS II, em Belo Horizonte-MG.

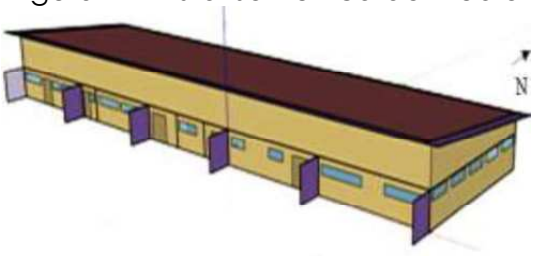
2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo apresenta caráter exploratório. Definiu-se como estudo de caso o restaurante escolar do CEFETMG Campus II. Adotou-se três etapas metodológicas para cumprir com o objetivo de desenvolver um modelo computacional calibrado. As etapas metodológicas empregadas foram descritas a seguir.

2.1 Desenvolvimento do modelo computacional

Por meio do SketchUp Make versão 2017 e o *plugin* Euclid realizou-se o modelo tridimensional do restaurante de aproximadamente 681m² (Figura 1). A edificação é composta por cozinha (84m²), sala de nutricionista (SN) (4m²), sala dos laváveis (SL) (9m²) salão de alimentação (190m²), almoxarifado (32m²), recepção (54m²), além do Diretório Central dos Estudantes (9.8m²). Conforme demonstrado na Figura 2, cada partição foi representada por uma zona térmica.

Figura 1 – Vista Isométrica do Prédio



Fonte: Os autores

Figura 2 – Vista Superior do Prédio



Fonte: Os autores

As propriedades térmicas dos materiais utilizados no modelo foram listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades dos elementos construtivos da edificação

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m³]	Calor específico [J/kg.K]
Tijolo cerâmico maciço, com argamassa de assentamento	0,90	1764	920
Argamassa reboco	1,15	2000	1000
Concreto maciço	1,75	2200	1000
Telha de alumínio	230	2700	880
Madeira para forro	0,14	600	2300
Gesso para forro	0,35	900	840
Pedra ardósia	2,20	2500	840

Azulejo cerâmico	1,00	1300	1000

Fonte: Adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2005)

Os dados de entrada do modelo foram definidos pelas seguintes variáveis: horário em que as janelas e portas estão abertas ou fechadas, quantidade de pessoas dentro do ambiente ao longo do dia, potência dos equipamentos elétricos e do sistema de iluminação, além da temperatura do solo.

As janelas e portas permanecem abertas durante o período de funcionamento do refeitório tendo sido considerado o período de 8h00 às 20h00 para a cozinha e de 10h45 às 13h30 e das 17h45 às 19h00 para o salão de refeições. No restante do tempo considerou-se as aberturas fechadas.

Quanto ao número de pessoas considerou-se 120 no salão de refeições, 10 na cozinha e 15 na recepção. A quantidade de calor dissipada pelo metabolismo humano no ambiente foi estimada de acordo com a norma ASHRAE 55 (2013). Para o salão e recepção foi atribuída uma taxa de liberação de calor por área igual a 120 W/m² por pessoa, para a atividade de repouso e sentada. Já para a cozinha a taxa de liberação de calor considerada foi de 175 W/m² por pessoa, para a atividade de cozinhar.

Em relação à dissipação de calor devido aos equipamentos elétricos, a Tabela 2 apresenta a potência dos equipamentos elétricos presentes na cozinha e salão do refeitório. A fração radiante considerada foi igual a 1,0.

Tabela 2 – Equipamentos elétricos na Cozinha

Material	**Potência [W]**	**Quantidade**	**Localização**
Passthrough aquecido	1500	1	Cozinha
Passthrough refrigerado	373	1	Cozinha
Maquina lava louças Hobart modelo AND CLI551100748	1500	1	Cozinha
Bebedouro	80	1	Cozinha
Forno combinado VM1011 E	15350	1	Cozinha
Freezer Vertical Ormifrio	300	2	Cozinha
Freezer Horizontal Center Frio	500	4	Cozinha
Ventilador	100	3	Cozinha
Ar Condicionado Komeco	1500	1	Cozinha
Lâmpadas	36	52	Cozinha

Tabela 2 – Continuação

Material	**Potência [W]**	**Quantidade**	**Localização**
Bebedouro Industrial Nardin	350	1	Salão
Rampa de distribuição de alimentos em banho maria	4000	2	Salão
Rampa de distribuição de alimentos de resfriamento	450	2	Salão
Computador	300	3	Salão
Impressora	45	2	Salão
Ventilador	100	7	Salão
Lâmpadas	36	44	Salão

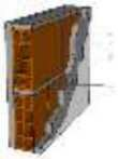
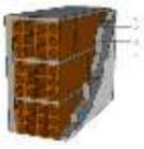
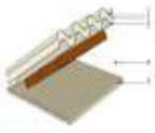
Fonte: Os autores

A simulação de teste (pré-calibração) foi realizada para o período anual e o arquivo climático utilizado foi do tipo SWERA da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais (EnergyPlus, 2017). Para a temperatura do solo deste estudo de caso utilizou-se 2°C a menos do que a temperatura média mensal estabelecida no arquivo climático[2] (DOE, 2016).

2.2 Caracterização dos elementos construtivos

A caracterização da envoltória do refeitório foi representada pela Tabela 3 bem como os dados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT).

Tabela 3 – Composição da vedação horizontal e vertical do estudo de caso.

Tipologia	Vedação	Composição	U (w/m².K)	CT (kJ/m².K)
Parede (15cm)		1) Revestimento cerâmico (8mm) 2) Argamassa interna (3,0cm) 3) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 29,0cm) 4) Argamassa externa (3,0cm) 5) Revestimento cerâmica (8mm)	2,28	186
Parede (20cm)		1) Argamassa interna (2,5cm) 2) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 29,0cm) 3) Argamassa externa (2,5cm) 4) Revestimento cerâmica (8mm)	2,00	185
Parede (25cm)		1) Revestimento cerâmica (8mm) 2) Argamassa interna (2,5cm) 3) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 29,0cm) 4) Argamassa externa (2,5cm) 5) Revestimento cerâmica (8mm) 6) Pedra (1,5cm)	1,49	462
Cobertura		1) Telha metálica 0,43mm 2) Poliestireno Expandido (30mm) 3) Telha metálica 0,5mm 4) Câmara de Ar (> 5 cm) 5) Forro de madeira (1,5 cm)	0,85	15

Fonte: Os autores

As esquadrias são de alumínio com acabamento na cor preta sendo as portas do tipo veneziana e janelas máximo ar com vidros simples de 4mm.

Os dados relativos a absortância à radiação solar foram obtidos por meio de cálculo (SANGOI; RAMOS; LAMBERTS; 2010), a partir de medição realizadas com o auxílio do espectrômetro de refletância ALTA II, da marca Vernier. Verificou-se o valores de 0,7 e 0,4, para a vedação vertical externa e cobertura, respectivamente.

2.3 Medição de temperaturas

As temperaturas internas foram medidas por dois data loggers modelo HOBO U12 (Figura 3), marca ONSET e, posteriormente, transferidos para o

[2] Procedimento adotado na ausência de dados ou em caráter de simplificação. Para valores mais apurados recomenda-se utilizar o pré-processador Slab ou Basement. DOE, 2016, p.90.

computador por meio do software HOBOware 3.7.12. Esses dois equipamentos foram programados para realizar medições de temperatura a cada 15 minutos entre as datas de 4 de abril de 2017 e 10 de novembro de 2017.

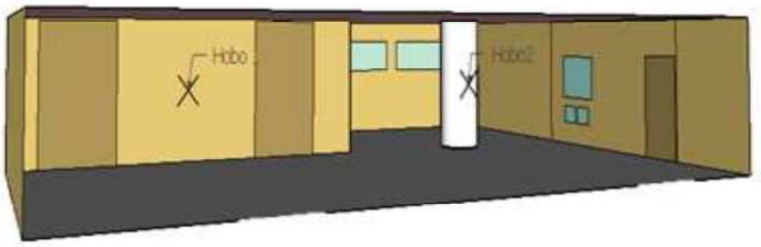
Figura 3 – HOBO U12 ONSET



Fonte: ONSET (2018)

O posicionamento dos medidores seguiu a orientação expressa no trabalho desenvolvido por Barbosa (2007), de forma a não atrapalhar o fluxo de pessoas no local, garantindo também a preservação do equipamento. Considerando a estrutura física do espaço em que se localiza o refeitório, os HOBOS foram fixados sobre o ponto médio da parede (h=1,42m). A Figura 4 ilustra a disposição dos dois medidores.

Figura 4 – Posicionamento dos Hobos no refeitório



Fonte: Os autores

2.4 Calibração do modelo computacional

Para a calibração do modelo termoenergético utilizou-se os resultados da simulação computacional em comparação com os valores obtidos, no mesmo período, pelas medições, visando aferir a confiabilidade do modelo e correção de erros e redução de incertezas (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005; PEREIRA, 2008; GALVARRO et al, 2013;). Os dados de temperatura de bulbo seco registrados no arquivo climático foram substituídos pelos dados aferidos pela estação meteorológica (Hobo Remote Monitoring System da Marca Onset), localizada a um raio de aproximadamente 120m do estudo de caso. Após nova simulação, os valores das temperaturas internas foram comparados para análise da correlação linear estatística visando o estabelecimento de relação entre os dados obtidos por medição e simulação. Neste contexto, considera-se que correlações superiores a 0.75 são relações fortes (COSTA, 1998). No trabalho em questão, os cálculos das correlações foram feitos com auxílio do Microsoft Excel 2007.

3 RESULTADOS

Os resultados alcançados na pesquisa serão apresentados a seguir. Os dados

armazenados das medições da estação meteorológica não abrangiam todas as datas do ano. Desta forma, foram plotados gráficos para as datas 5 a 8 de abril, 24 a 27 de abril, 2 a 5 de maio, 30 de maio a 2 de junho, 26 a 29 de agosto e 2 a 5 de outubro de 2017. Serão apresentados também os valores de correlação obtidos entre as temperaturas medidas e simuladas.

3.1 Análise gráfica dos resultados

As Figuras 5 a 10 representam graficamente o comportamento das temperaturas medidas, *in situ*, pelos dois data loggers (Hobo 1 e 2) no estudo de caso e daquelas simuladas durante os períodos estudados. Foram plotados, também, os valores referentes à temperatura externa do prédio aferidos pela estação meteorológica.

Figura 5 – Simulação 5 a 8 de abril

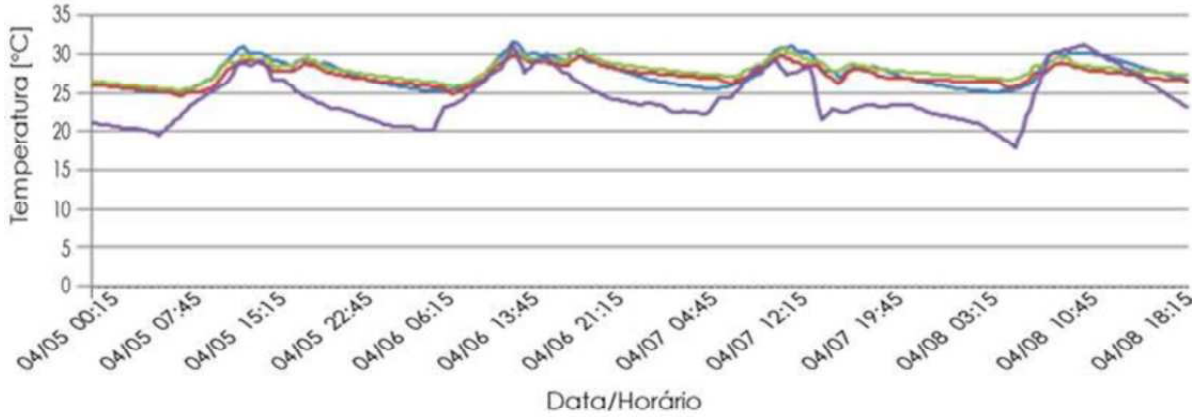


Figura 6 – Simulação 24 a 27 de abril

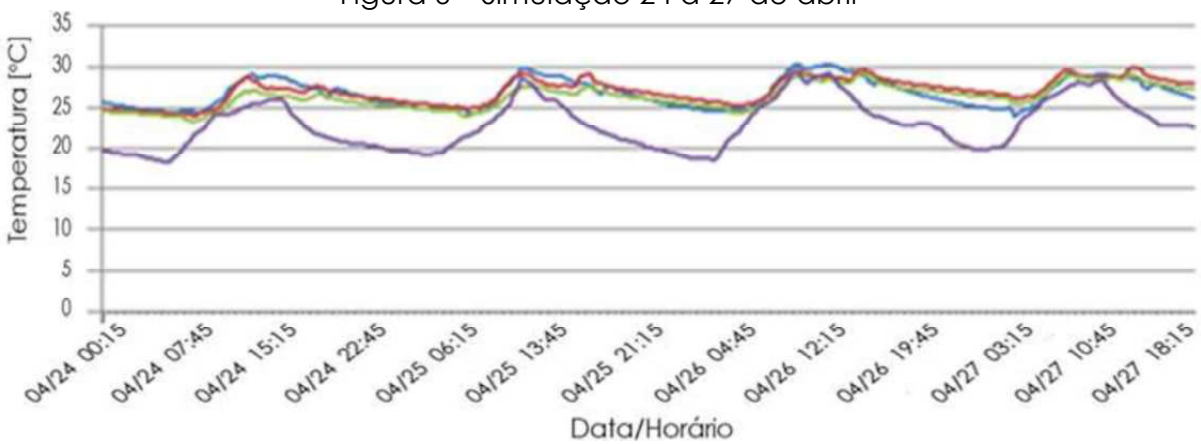


Figura 7 – Simulação 2 a 5 de maio

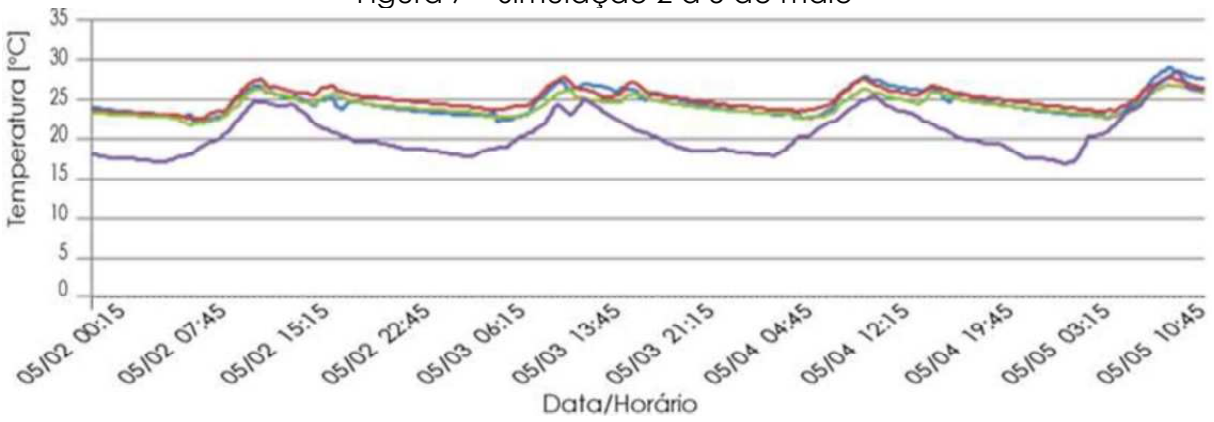


Figura 8 – Simulação 30 de maio a 2 de junho

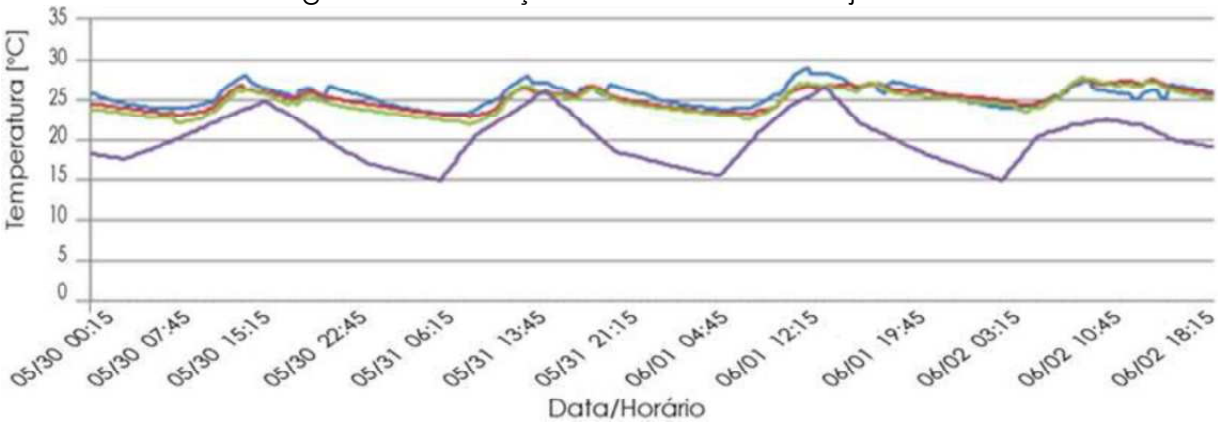


Figura 9 – Simulação 26 a 29 de agosto

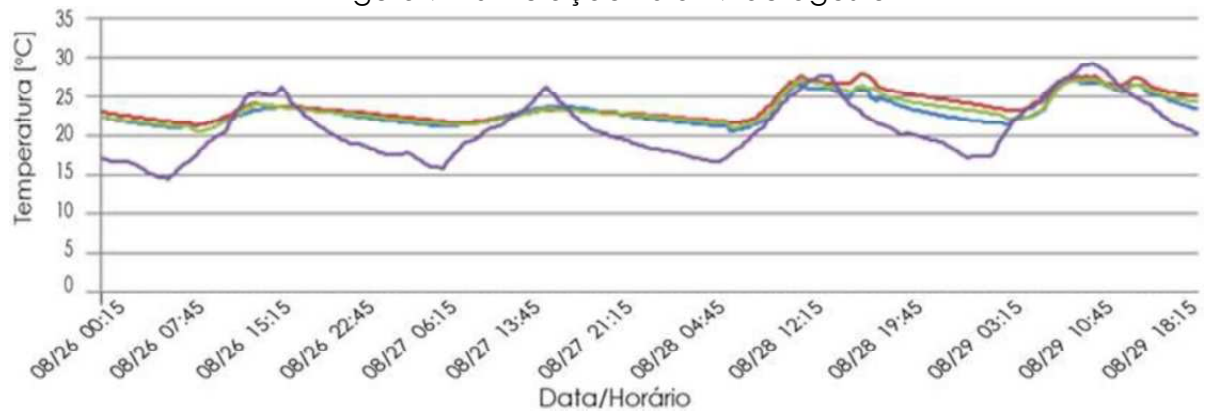
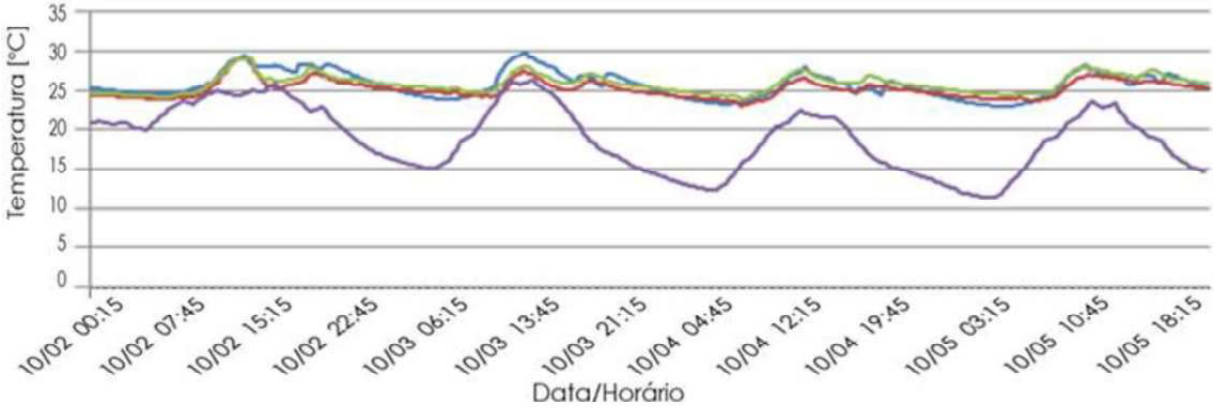


Figura 10 – Simulação 2 a 5 de outubro



Fonte: Os autores. Legenda:



Analisando os gráficos, nota-se que as curvas das temperaturas medidas e simuladas possuem comportamentos parecidos, atingindo maiores amplitudes durante o período de funcionamento do refeitório e com queda de temperatura durante o período noturno. Essa queda é influenciada pelo decaimento significativo da temperatura externa durante a noite. Por fim, verifica-se que os valores das temperaturas simuladas e medidas no interior do prédio não atingem valores próximos às temperaturas externas durante o período noturno, indicando que o edifício retém parte do calor dispersado em seu interior durante o dia.

3.2 Correlação linear do processo de Simulação e Medição

A Tabela 4 mostra os valores da correlação linear 1 e 2 entre as temperaturas simuladas e medidas pelos data loggers 1 e 2, respectivamente, de cada período estudado.

Tabela 4 – Valores das Correlações Lineares

Período Analisado	Correlações Lineares 1	Correlações Lineares 2
5 a 8 de abril	0,90	0,90
24 a 27 de abril	0,86	0,84
2 a 5 de maio	0,91	0,92
30 de maio a 2 de junho	0,82	0,84
26 a 29 de agosto	0,93	0,96
2 a 5 de outubro	0,87	0,87

Fonte: Os autores

Todos os períodos estudados apresentaram correlações lineares maiores que 0,75, sendo consideradas correlações fortes, indicando que o modelo termoenergético do prédio está calibrado em relação às medições feitas.

4 CONCLUSÕES

A pesquisa possibilitou a criação de um modelo termoenergético calibrado do refeitório escolar, localizado em Belo Horizonte - MG. Este modelo poderá, portanto, servir de base para estudos de aprimoramento do desempenho térmico do edifício e das condições de conforto térmico do usuário, visando a proposição de estratégias de condicionamento do ambiente que demandem o menor consumo de eletricidade possível.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 55**. Thermal environmental for human occupancy. ASHRAE: Atlanta, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações **–** Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações**. Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 89-108, jul./set. 2007

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em 10 out. 2017.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) **–**Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

COSTA, Sergio Francisco. **Introdução Ilustrada a Estatística**. São Paulo: Harbra, 1998. 3 ed.

ENERGYPLUS. **Weather Data - South America WMO Region 3 – Brazil – Belo Horizonte**. Golden, 2016. Disponível em <https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA%20%20>. Acesso em 19 mar. 2018.

GALVARRO, Skarlen Fialho Soria; CARLO, Joyce Correna; GUIMARÃES, Ítalo Bruno Baleeiro; TIBIRIÇÁ, Antônio Cléber Gonçalves. Calibração de simulação térmica de uma unidade habitacional em edifício multifamiliar. In: Encontro Nacional e Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 12/ELACAC 8, 2013. Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil**. Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.

ONSET COMPUTER CORPORATION. **Products – Data loggers – U12-012.** Bourne, 2018. Disponível em: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>. Acesso em 05 mar. 2018.

PEREIRA, Cláudia D, Ghisi, Enedir. Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 12, 2008. Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2008.

SAGOI, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absortância através do Espectrômetro alta II. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

SORGATO, Márcio José; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. In: Encontro Nacional e Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 12/ELACAC 8, 2013. Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - DOE. **EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation**: Input Output Reference. Washington DC: U.S. Department of Energy, 2016.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. In: BUILDING SIMULATION, 9., 2005, Montreal. **Proceedings…** Montreal: IBPSA, 2005. p. 1331-1338.

WONG, N.H.; LI, S. A Study of the Effectiveness of Passive Climate Control in Naturally Ventilated Residential Buildings in Singapore. **Building and Environment**, v.42, n.1, p 1395-1405, 2007.