ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA SIMULAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DE VENTILAÇÃO NATURAL EM PRÉDIO ESCOLAR[1]

FREITAS, J., Universidade Federal de Pelotas, e-mail: juramalhof@hotmail.com; LEITZKE, R., Universidade Federal de Pelotas, e-mail: rodrigokarinileitzke@gmail.com; CLEFF, V., Universidade Federal de Pelotas, e-mail: viniciuscleff@hotmail.com; HAX, D.; Universidade Federal de Pelotas, e-mail: dgshax@gmail.com; DUARTE, C., Universidade Federal de Pelotas, e-mail: carolinademesquitaduarte@hotmail.com; CARVALHO, A.; Universidade Federal de Pelotas, e-mail: amandarosadc@hotmail.com, CUNHA, E.; Universidade Federal de Pelotas, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the main bioclimatic strategies to be used to provide thermal comfort, reduce thermal load in environments and reduce energy consumption. Therefore, this work aims to evaluate the boundary conditions of natural ventilation by means of computational simulation in the EnergyPlus 8.4 software in a school building. The thermal comfort in school environments is of great importance for a good performance of the students, who spend a long period of the day in school. The method consists of computational simulations of a school building considering different temperature setpoint variations for window opening (23°C, 24°C, 25°C and 26°C), window opening percentages (10%, 50% and 100%) and levels of infiltration (minimum, medium and maximum) in Brazilian bioclimatic zones 2 and 8. The results show that there is no significant difference between the different types of configuration in the same bioclimatic zone. In the bioclimatic zone 2, the greatest difference in thermal comfort per window opening percentage occurs at the 25 ° C setpoint at maximum infiltration with 0.05% variation. In the bioclimatic zone 8 the greatest difference is in the setpoint of 24°C and minimum infiltration with 0.5% of variation.

***Keywords**: Natural ventilation. Computational simulation. School building.*

1 INTRODUÇÃO

Após a crise mundial do petróleo, na década de 70, o tema eficiência energética ganhou importância, passou-se a buscar maneiras alternativas e sistemas mais eficientes principalmente para edificações, visto que estas são responsáveis por uma grande parcela no consumo de energia elétrica. No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), Fluxo de Energia Elétrica (2017), ano base 2016, consta que 42,8% da energia produzida é consumida apenas nas edificações, sendo distribuídos em 14,4% para edificações comerciais, 21,4% residenciais e 7% públicas. Nos edifícios, o maior consumo ocorre através do uso do sistema de iluminação artificial e ar condicionado.

No ambiente escolar, o conforto térmico apresenta um papel fundamental para a aprendizagem do aluno. Segundo Burgos, Grigolett e Paixão (2015), ambientes que não apresentam conforto térmico além de afetarem a

[1] FREITAS, J., *et al*. Análise das condições de contorno para simulação e configuração de ventilação natural em prédio escolar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

compreensão do estudante, também podem ocasionar problemas de saúde que afetam diretamente a concentração e memória. Além disso, Corgnati (2007) afirma que crianças e adolescentes passam grande parte do seu tempo na escola, tornando imprescindível a criação de ambientes adequados para que os mesmos possam desempenhar suas atividades de forma satisfatória. Conforme Lamberts (2014) a ventilação natural é indicada como uma das estratégias passivas de baixo custo energético para proporcionar o conforto térmico em edifícios não climatizados, o que torna uma estratégia eficiente e necessária para edificações escolares. Sorgato e Lamberts (2012), afirmam que a ventilação natural nas edificações tem importante função de assegurar a qualidade do ar e promover o resfriamento da edificação e proporcionar conforto térmico aos usuários, sempre que a condição do clima externo for favorável.

Marin et. al. (2016) compararam por meio de simulação computacional, utilizando os criterios de conforto adaptativo da ASHRAE 55 e temperatura de controle de abertura de janelas proposta pelo RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para Edificações Residenciais), as diferenças dos diferentes controles de temperatura utilizados no conforto térmico de uma habitação social. Os autores concluem que o aprimoramento dos dados dos parâmetros de entrada são essenciais para a confiabilidade dos resultados.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar, por meio de simulação computacional, a influência das variáveis: percentual inicial de abertura das janelas, infiltração e setpoint de abertura das janelas no desempenho de edifício escolar ventilado naturalmente nas Zonas Bioclimáticas 2 (ZB2) e 8 (ZB8).

3 MÉTODO

A pesquisa utiliza simulação computacional como ferramenta para o desenvolvimento e foi dividida em seis etapas. Na primeira etapa foram definidas e modeladas as zonas térmicas a serem simuladas. Na segunda etapa foram configuradas as condições de uso e ocupação, iluminação; e na terceira etapa foi configurado o envelope, os materiais e composições da edificação a ser simulada. Na quarta etapa foi configurado o sistema de ventilação natural e na quinta etapa foram planejadas as simulações a serem realizadas. Na sexta etapa foram analisados os resultados.

3.1 Método de modelagem e configuração das simulações

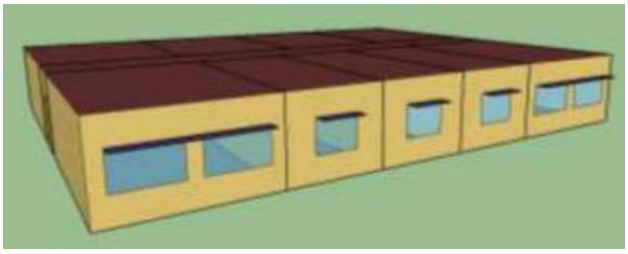
Neste trabalho, utilizou-se o software EnergyPlus 8.4 para a realização das simulações computacionais, os próximos itens descrevem as etapas de modelagem e configurações da simulação.

3.1.1 Modelagem da edificação a ser simulada

Foi criado para o estudo um modelo de edificação escolar, no formato sala-

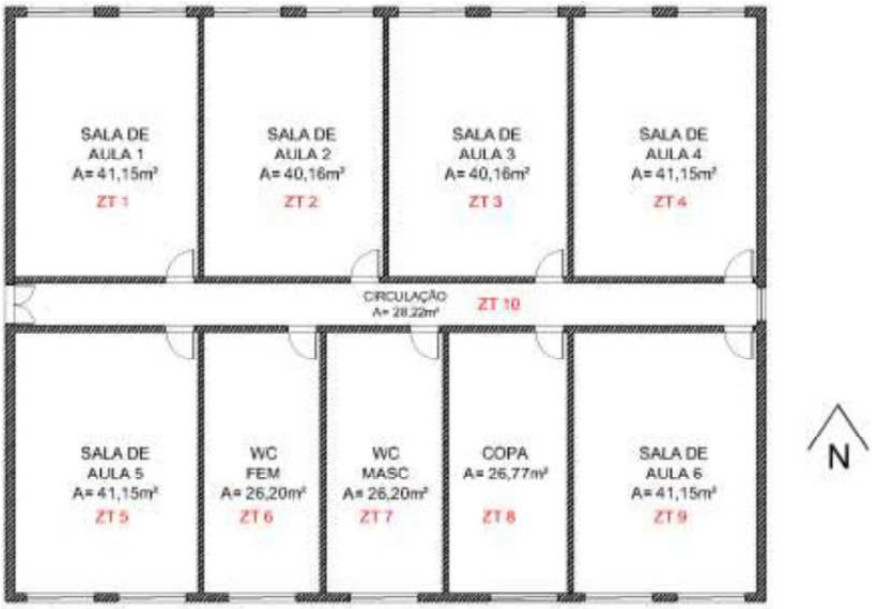
corredor- sala, de um pavimento. A edificação foi modelada na interface gráfica do programa SketchUp com o plugin Legacy Open Studio (Figura 1). Cada compartimento foi considerado uma zona térmica (ZT) pelas dimensões externas das paredes externas até o eixo das paredes internas (Figura 2). As salas de aula orientadas a norte possuem proteção solar.

Figura 1 – Modelagem



Fonte: Os autores

Figura 2 – Planta baixa



Fonte: Os autores

3.1.2 Configurações de uso/ ocupação

As configurações do modelo foram feitas no IDF Editor do programa EnergyPlus versão 8.4. As agendas de uso e ocupação e iluminação foram configuradas observando o uso diurno das salas de aula (manhã e tarde) em dias de semana. A densidade de potência de iluminação configurada foi de 10,2 W/m² para as zonas de permanência prolongada (salas de aula) e 5,0 W/m² e 9,6 W/m² para banheiros e circulações, respectivamente) acordando com o nível de eficiência energética ''A'' do RTQ-C. (INMETRO, 2010).

3.1.3 Configurações do envelope

As paredes externas da edificação foram simuladas com uma transmitância

térmica de 2,49 W/(m².K). Os materiais e composição da parede estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição paredes

Camadas	**e (m)**	**(W/(mK))**	**CT (kJ/m²K)**	**U (W/(m²K))**
Reboco externo	0,025	1,15	186	2,49
Tijolo Cerâmico 4 furos	0,095	0,90		
Reboco interno	0,025	1,15		

Fonte: Os autores

A cobertura foi configurada com transmitância de 1,69 W/(m².K) e a composição está especificada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição cobertura

Camadas	**e (m)**	**(W/(mK))**	**CT (kJ/m²K)**	**U (W/(m²K))**
Telha Cerâmico	0,02	0,92	348,4	1,69
Câmara de ar > 5cm	> 0,05	R=0,21		
Laje concreto	0,15	1,15		

Fonte: Os autores

3.1.4 Configurações sistema ventilação natural

As configurações de ventilação natural foram realizadas no objeto AirFlowNetwork do software EnergyPlus. Foi criada uma agenda de ventilação para as 24 horas do dia e os setpoints de abertura de janelas, o percentual de abertura das janelas e o nível de infiltração foram configurados de diversas formas. Essas configurações estão especificadas no ítem: planejamento das simulações. A partir dos diferentes setpoints de abertura das janelas o programa verifica a temperatura externa, e a mesma estando num intervalo do setpoint – 5ºC, a janela é aberta.

3.1.5 Planejamento das simulações

As simulações foram planejadas de modo que se pudessem testar e analisar diferentes parâmetros de configurações das janelas que influenciam no conforto térmico da edificação. O Quadro 1 apresenta as diferentes configurações de janelas (infiltração, setpoint de temperatura e percentual de abertura) que foram configurados. As temperaturas escolhidas para o estudo partiram do estudo de Martins (2011) que aponta a temperatura de 25º para setpoint de abertura das janelaS, o percentual de abertura das janelas baseia-se no valor default do programa EnergyPlus e os valores de infiltração utilizados foram para janelas pivotantes com eixo horizontal sem vedação, sugeridos por Liddament (1986).

Quadro 1 – Relação das variáveis analisadas

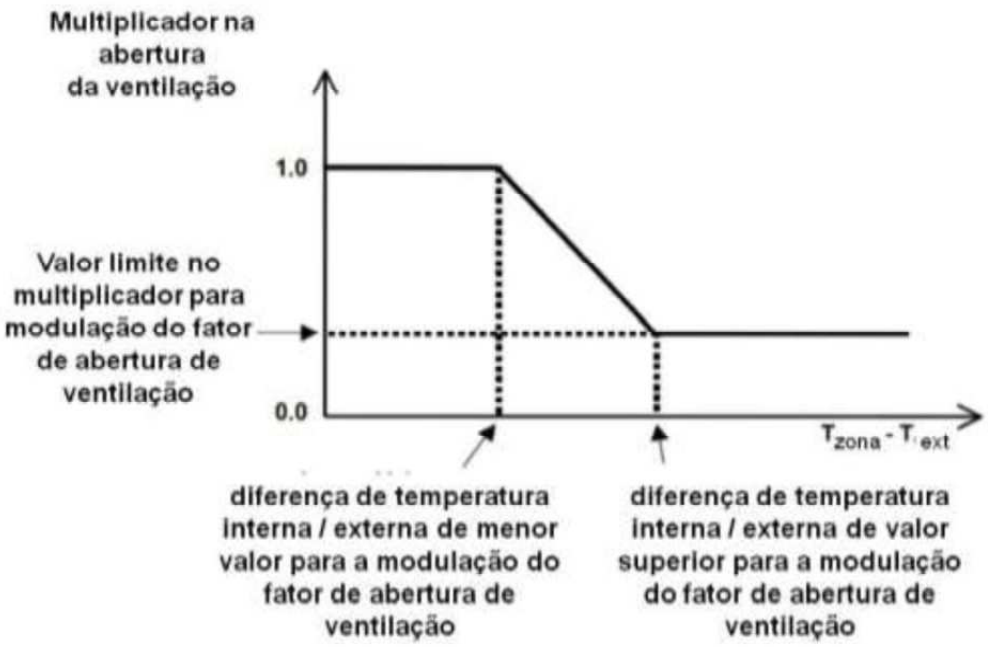
Infiltração (C) Mínima (0.00114)/ **Média** (0.00140)/ **Máxima** (0.00178)			
Temperatura	Percentual de abertura		
23 °C			

24 °C	10%	50%	100%
25 °C			
26 °C			

Fonte: Os autores

O percentual de abertura das janelas é caracterizado pelo maior valor possível de abertura quando temos a menor diferença de temperatura possível entre o ar interior e o ar exterios (Figura 3). As janelas são abertas quando a temperatura externa estiver menor que a interna em até 5ºC.

Figura 3 – Abertura de uma janela no EnergyPlus



Fonte: Adaptado de USDOE (2017)

3.1.6 Arquivos climáticos

Foram escolhidos para as simulações os arquivos climáticos de Camaquã.epw (ZB2), por esta zonabioclimática ser uma das mais frias e apresentar as estações de inverno e verão com temperaturas extremas e Manaus.epw (ZB8), por ser a zona bioclimática mais quente.

3.2 Método de análise dos resultados

Os resultados de nível de conforto térmico foram avaliados seguindo o modelo de conforto adaptativo de Dear e Brager (1998) para a ASHRAE 55 (2010). Este método utiliza-se apenas para ambientes condicionados naturalmente e relaciona as temperaturas externas e internas do ambiente para determinação da temperatura operativa de conforto, baseado na Equação 1.

$$Toc = 18,9 + 0,255. Text \quad (1)$$

Onde:

Toc =Temperatura operativa de conforto;
Text =Temperatura média mensal externa.

Para aceitabilidade de 90% de pessoas em conforto térmico estabelece-se uma variação da temperatura operativa interna em relação à temperatura operativa de conforto entre +2,5 °C e -2,2°C. E para aceitabilidade de 80% estabelece-se uma oscilação entre +3,5°C e -3,2°C (ASHRAE 55, 2010). Neste trabalho, para análise do conforto térmico calculou-se o número de horas em conforto para 80% de satisfação.

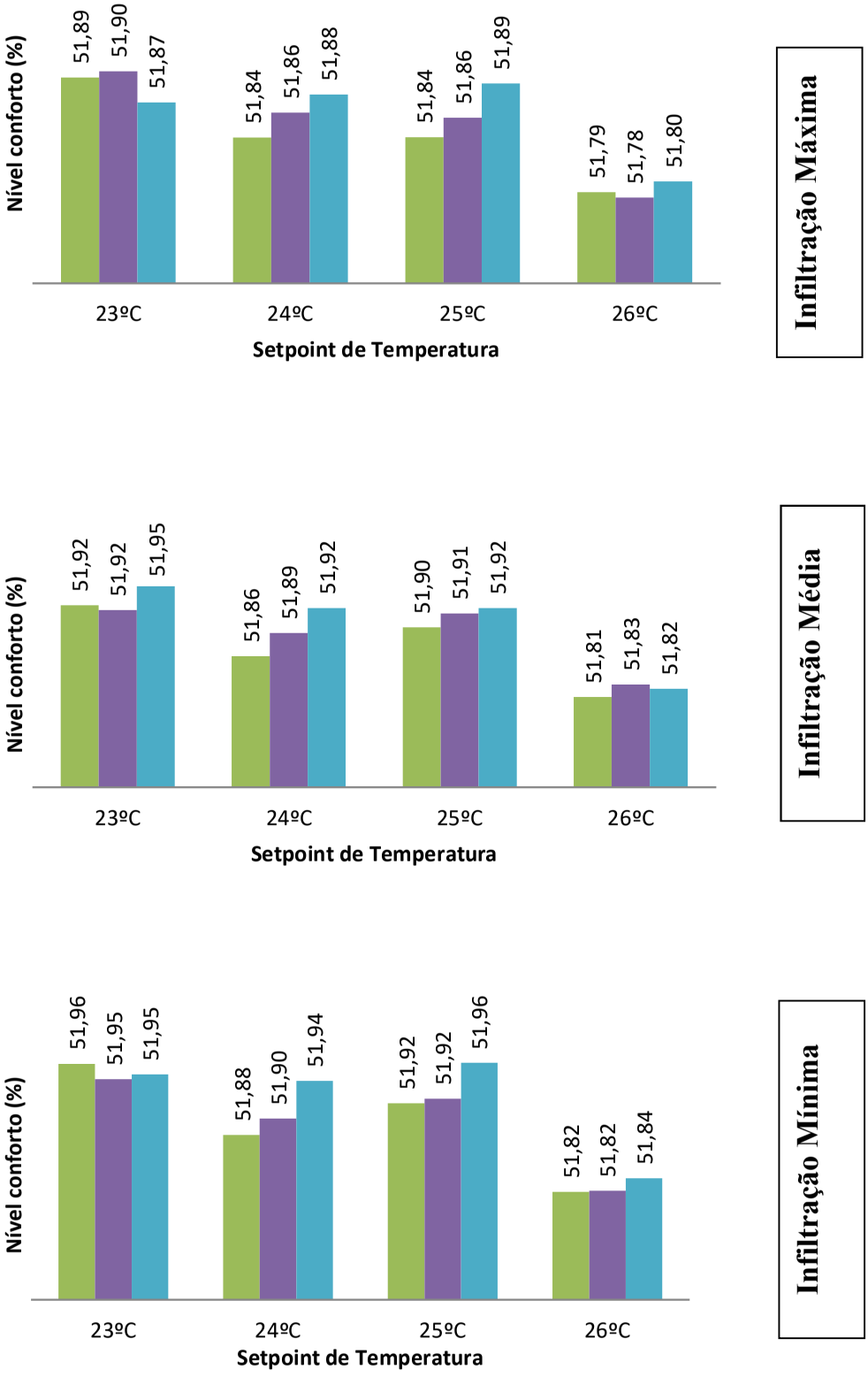
4 RESULTADOS

Na análise de resultados comparou-se o nível conforto térmico considerando diferentes setpoints de temperatura e percentual de abertura de janelas para os diferentes níveis de infiltração para as zonas bioclimáticas 2 e 8. A escala apresentada nos gráficos é relativamente pequena, pois os resultados apresentaram grande proximidade em ambos os casos.

4.1 Resultados ZB2

Os resultados para a ZB2, considerada uma das zonas bioclimáticas brasileiras com as temperaturas mais baixas, são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Análise de resultados ZB2



Fonte: Os autores

Observa-se que os níveis de conforto térmico obtidos através da simulação,

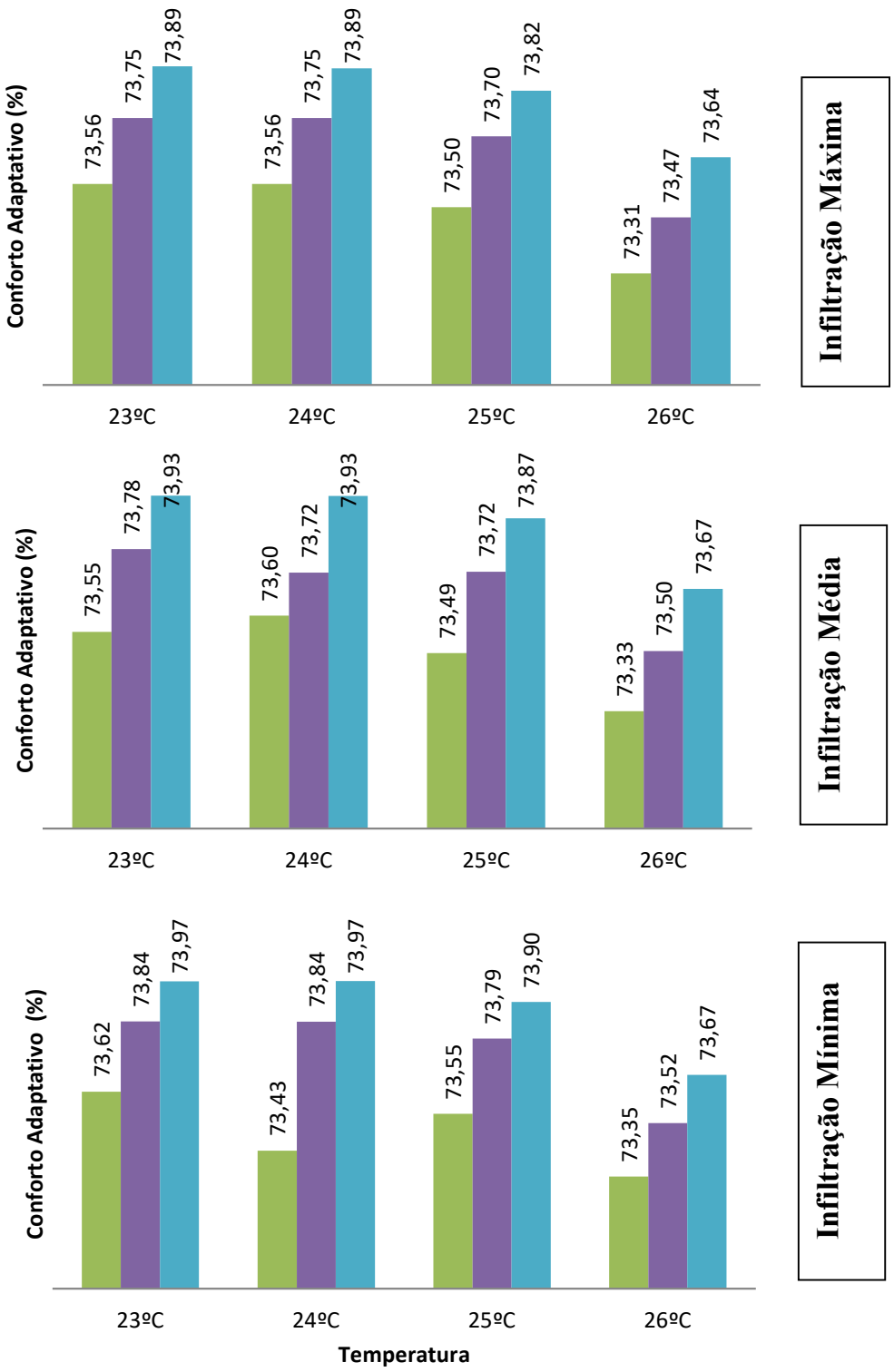
não apresentam grandes variações nas diferentes condições de contorno. No entanto, comparando-se as diferentes temperaturas para ambas taxas de infiltrações, a que mostra a maior diferença em relação às demais é a de 26°C, com os índices de conforto mais baixos.

O maior nível de conforto térmico se encontra na situação de infiltração mínima nas temperaturas de 23°C com percentual de abertura de 10%, e 25°C com percentual de abertura de 100%. Apesar das pequenas diferenças, esses casos apresentaram os melhores resultados.

4.2 Resultados ZB8

Nos resultados para a ZB8, podemos observar na figura 5 que a variação dos percentuais de conforto térmico é mínima, independente das condições de contorno utilizadas para a simulação computacional. Mesmo com a proximidade nos resultados pode-se constatar que a infiltração mínima apresenta melhores percentuais de conforto térmico quando comparada com a máxima e a média. Se tratando de setpoints de temperatura, 23°C é o que apresenta melhor conforto térmico a um percentual de abertura de janelas de 100%.

Figura 5 – Análise de resultados ZB8



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O trabalho cumpriu o seu objetivo, ao analisar a influência das variáveis em estudo no desempenho de edificação escolar. Observou-se através dos gráficos que na ZB2 a diferença no nível de conforto térmico, entre os

percentuais de abertura (10%, 50% e 100%) das janelas em cada uma das temperaturas e também das infiltrações (mínima, média e máxima), é ínfimo, podendo considerar que os setpoints não trazem nenhuma mudança no nível de conforto térmico do edifício quando estabelecido uma determinada temperatura. No entanto, verifica-se que para 26° de temperatura de setpoint para abertura de janelas, o nível de conforto térmico diminui em relação às demais.

Na ZB 8 os resultados são similares aos da ZB2, no entanto, a diferença do nível de conforto térmico entre os percentuais de abertura e entre as infiltrações é maior do que na ZB2. Observa-se também que não há grande influência no aspecto geral do resultado, pois traz uma diferença na casa decimal. Da mesma forma como no primeiro resultado, quando é elevada a temperatura do ambiente, o conforto térmico tende a diminuir.

Conclui-se que a variação do percentual de abertura de janela ainda que considerando diferentes níveis de infiltração e setpoints de temperatura para abertura de janelas não apresentam grandes influências no desempenho térmico do edifício escolar.

REFERÊNCIAS

ASHRAE 55. ANSI / ASHRAE / IES Standard 90 . 1-2010 Applicability to Datacom. n. 2005, p. 1–5, 2010.

_____ ASHRAE STANDARD 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.

BURGOS, E. G.; GRIGOLETTI, G. D. C.; XAVIER, D. Otimização do conforto ambiental no espaço escolar : uma visão sustentável Optimization of environment comfort in the school : a sustainable vision. v. 16, n. 1, p. 66–70, 2015.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951–959, 2007.

CRAWLEY, D. EnergyPlus: a new-generation building energy simulation program. **Proceedings of Renewable and Advanced Energy Systems for the 21st Century**, n. April, 1999.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. *ASHRAE Transactions*,** 104 (1): 145-167, 1998.

INMETRO - Instituto Nacional de Metereologia, Normalização e Qualidade Industrial**. RTQ-R.** Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Eletrobrás, 2010.

LAMBERTS, R. et al. Desempenho térmico de edificações. p. 42, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro , 2014.

LIDDAMENT, M. **Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide**. Bracknell, Berkshire. 1986.

MARTINS, David; RAU, Sabrina; RECKZIEGEL, Simone; FERRUGEM, Anderson; SILVA, Antônio César. Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações. **ENCAC 2009**, Natal, RN.

MARIN, Héctor F.; CASATEJADA, M. Pilar; CHVATAL, Karin M. S.. Impacto da temperatura de controle na operação das janelas e no conforto térmico para uma habitação de interesse social naturalmente ventilada em São Carlos – SP. In: **XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, 2016, São Paulo.

SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados para a simulação computacional de ventilação natural, no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar. **XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 161–171, 2012.