



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AValiação de Conforto Térmico: Aproximação Experimental entre uma Simulação Computacional e um Percorso Walkthrough¹

MODLER, Nébora Lazzarotto (1); MACIEL, Thalita dos Santos (2); LEITZKE, Rodrigo Karini (3); CUNHA, Eduardo Grala da (4); RHEINGANTZ, Paulo Afonso (5)

- (1) Universidade Federal da Fronteira Sul, nebora.modler@uffs.edu.br
(2) Universidade Federal de Pelotas, thalita-maciel@hotmail.com
(3) Universidade Federal de Pelotas, rodrigokarinileitzke@gmail.com
(4) Universidade Federal de Pelotas, eduardogralacunha@yahoo.com.br
(5) Universidade Federal do Rio de Janeiro, parheingantz@gmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma análise de conforto térmico de uma Escola Municipal de Educação Infantil com projeto padrão Proinfância/FNDE Tipo C, localizada em um município da Zona Bioclimática 2, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O estudo teve por objetivo relacionar os resultados de uma análise qualitativa utilizando duas estratégias de avaliação: percurso walkthrough e simulação computacional do nível de conforto térmico do edifício baseada no modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2017). A comparação dos resultados produzidos a partir dessas duas estratégias possibilitou confrontar os resultados da simulação do nível de conforto térmico da edificação com as reações e sensações dos seus ocupantes adultos. Os resultados deste estudo enfatizam a importância de ajustar o perfil de ocupação dos ambientes nas simulações em função das atividades, das demandas e do manuseio dos dispositivos de controle de aberturas por parte dos usuários.

Palavras-chave: Conforto térmico, Percorso Walkthrough, Simulação computacional, Educação Infantil, Zona Bioclimática 2.

ABSTRACT

This article presents the results of a thermal comfort analysis at Municipal School of Early Childhood Education with the standard project Proinfância / FNDE Type C, located in a county in the Bioclimatic Zone 2, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The study aimed to relate the results of a qualitative analysis using two assessment strategies: walkthrough route and computational simulation of the building's thermal comfort level based on the ASHRAE 55 (2017) adaptive model. The comparison of the results produced from these two strategies made it possible to compare the results of the building's thermal comfort level with the reactions and sensations of its adult occupants. The results of this study emphasize the importance of adjusting the occupancy profile of the environments in the

¹ MODLER, Nébora Lazzarotto; MACIEL, Thalita dos Santos; LEITZKE, Rodrigo Karini; CUNHA, Eduardo Grala da; RHEINGANTZ, Paulo Afonso. Avaliação de conforto térmico: aproximação experimental entre uma simulação computacional e um percurso walkthrough. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

simulations according to the activities, demands and of the handling of the windows and doors control devices by the users.

Keywords: *Thermal comfort, Walkthrough Route, Computer simulation, Early Childhood Education, Bioclimatic Zone 2.*

1 INTRODUÇÃO

A partir do estudo de caso de uma Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI) construída com base no projeto padrão Proinfância/FNDE Tipo C, localizada em município da Zona Bioclimática 2² – (NBR 15220, 2005), este artigo apresenta o entrelaçamento das descobertas de um instrumento de avaliação qualitativa – percurso *walkthrough* –, com os resultados de uma simulação computacional do nível de conforto térmico.

O objetivo de cruzar os resultados das duas estratégias metodológicas é comparar as experiências e sensações térmicas dos ocupantes adultos com a avaliação por simulação computacional pautada no índice de conforto térmico adaptativo da ASHRAE Standard 55 – *Thermal Environmental Condition of Human Occupancy* (2017).

A avaliação resultante desse entrelaçamento, no entanto, leva em consideração apenas o ponto de vista dos adultos, pois no percurso *walkthrough* somente as educadoras da EMEI foram entrevistadas, bem como o modelo adaptativo da ASHRAE 55 adota o organismo adulto como parâmetro³. Nesse sentido, cabe ressaltar que essa constitui uma limitação deste estudo, visto que as crianças consistem nos sujeitos de direito do ambiente construído escolar infantil (DCNEI, 2009).

Nesse contexto, importa destacar que a avaliação das condições de conforto térmico de escolas de Educação Infantil é consideravelmente relevante, tendo em vista que o ambiente participa da ação pedagógica (FORNEIRO, 1998; HORN, 2004; CEPPI; ZINI, 2013; OLDS, 2001; BRASIL, 2004). O que significa dizer que se não há ambiente adequado, há prejuízo no desenvolvimento infantil (MODLER, 2020).

2 MÉTODO

Neste estudo, a avaliação do nível conforto térmico da EMEI, alinhada com os fundamentos da Abordagem Experiencial⁴ – AE (RHEINGANTZ *et al*, 2009; RHEINGANTZ, 2020), se valeu de duas estratégias: (1) percurso *walkthrough* e (2) simulação computacional (*Design Builder*®v.3.4.0.04). Os resultados oriundos da simulação foram avaliados com base no índice de conforto térmico adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2017) para 80% de aceitabilidade, o qual considera que, em um ambiente ventilado naturalmente, o ocupante tende a

² Por solicitação da Secretaria Municipal de Educação, foram eliminadas as referências à cidade e à EMEI.

³ O organismo infantil difere do adulto, pois apresenta carga metabólica distinta em função do peso e da idade. Nesse sentido, vale apontar a carência de parâmetros normativos para embasar simulações que considerem as crianças como ocupantes.

⁴ A perspectiva da Abordagem Experiencial “propõe a transformação da postura ou atitude do observador, de abstrata e desincorporada, para uma atitude de observação aberta e atenta do ambiente, considerando pessoa-ambiente de forma indissociável e interdependente” (RHEINGANTZ *et al*, 2009, p. 107).

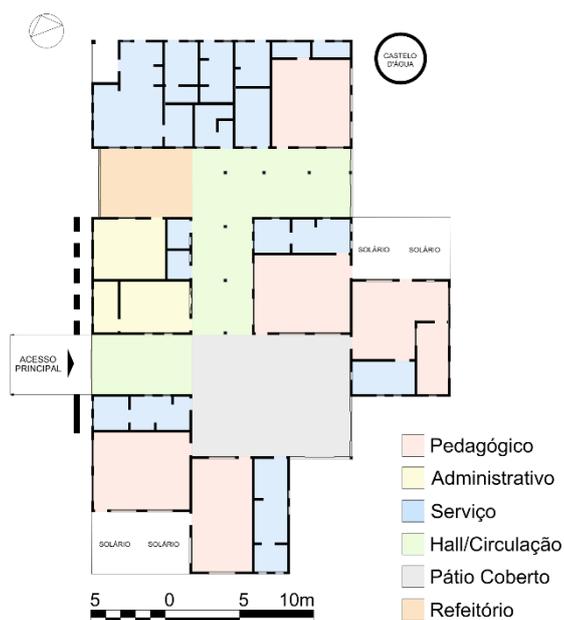
se adaptar ao contexto microclimático local, através da abertura e do fechamento das esquadrias.

2.1 Objeto de estudo

A EMEI definida como objeto de estudo situa-se na região Norte do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. Trata-se de uma edificação térrea com 564,50 m², implantada em terreno sobre o qual não incidem sombras do entorno imediato. Os setores pedagógico, administrativo e de serviço são interligados por circulações cobertas e também através do pátio coberto.

O projeto padrão Tipo C, originalmente concebido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), apresenta configuração arquitetônica aberta com a previsão de uma área descoberta adjacente à circulação. Tendo em vista a condição de inverno frio característico da região, a Prefeitura Municipal executou adaptações construtivas, com o objetivo de propiciar melhores condições de conforto térmico nos ambientes de uso coletivo e também evitar a incidência de chuvas. Para tanto foram instaladas esquadrias no refeitório, no pátio coberto, no hall de entrada e no acesso dos fundos, bem como cobertura translúcida sobre o *hall* de entrada, sobre os solários e sobre o vão adjacente à circulação interna (Figura 1).

Figura 1 – Planta da EMEI Proinfância/FNDE Tipo C adaptada de Brasil (2010)



Fonte: Os autores (2018).

2.2 Percurso Walkthrough

Dispositivo clássico em Avaliações Pós-ocupação (APO) concebido por Kevin Lynch (ZEISEL, 1981), o percurso *walkthrough* compreende uma visita guiada pelos ambientes da edificação, combinando, simultaneamente, observação e entrevista. Quando alinhado com a AE, a interação com o ocupante entrevistado, que atua como guia do percurso, possibilita entender e

experienciar com mais riqueza de detalhes as performances que se produzem nas relações envolvendo os ocupantes e os ambientes (RHEINGANTZ, 2020).

Construído em outubro de 2017 por quatro pesquisadores, o percurso *walkthrough* permitiu compreender a articulação dos aspectos físicos relacionados às condições ambientais da EMEI com as reações quanto às sensações térmicas dos seus ocupantes. Durante o percurso também foram levantados os dados sobre o perfil de ocupação da edificação. As observações e informações foram registradas por meio de fichas, croquis e fotografias.

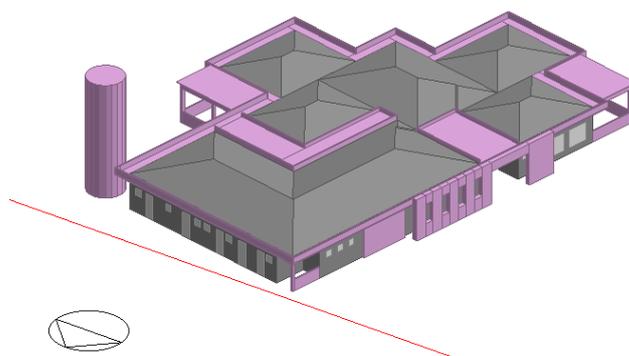
2.3 Simulação computacional

O procedimento pautado na simulação computacional teve por objetivo mensurar o nível de conforto térmico dos usuários nas zonas de permanência prolongada e de recreação ventiladas naturalmente – salas das turmas, sala de repouso do Berçário I e pátio coberto. A simulação foi desenvolvida com a utilização do software *DesignBuilder®* versão v.3.4.0.04, a partir de três etapas, nesta ordem: (1) modelagem das zonas térmicas e configuração do modelo; (2) cálculo do nível de conforto térmico; (3) análise de resultados.

2.3.1 Modelagem das zonas térmicas (ZT) e configuração do modelo

A modelagem da edificação seguiu o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (BRASIL, 2012), assim cada ambiente caracterizou uma Zona Térmica (ZT). A Figura 2 evidencia a volumetria da EMEI na modelagem por *software*.

Figura 2 - Modelo da EMEI



Fonte: Os autores, a partir do *DesignBuilder®* (2018).

A Tabela 1 apresenta os valores de Transmitância térmica (U), Capacidade térmica (CT) e Absortância solar (α) dos sistemas verticais e horizontais de vedação da edificação (Tabela 1).

Para a configuração da agenda do sistema de iluminação, equipamentos, uso e ocupação de pessoas e abertura de janelas foi adotado o horário de ocupação da EMEI, que compreende o período das 8h às 17h. A partir do levantamento de campo, foram mapeados os equipamentos e obtidos os dados de uso e ocupação dos ambientes, a fim de configurar o sistema de iluminação, calcular a densidade de potência de iluminação instalada (DPI) e densidade de carga interna (DCI).

Tabela 1 - Caracterização do envoltório da edificação

Sistemas	Caracterização	U (W/(m ² K))	CT (kJ/(m ² K))	α
Cobertura da edificação	Telhas cerâmicas, câmara de ar, laje de concreto com tabelas e reboco	1,90	144	0,70
Cobertura do Pátio	Cobertura com telhas cerâmicas	6,16	55	0,85
Paredes	Paredes externas e internas compostas por camadas de reboco, cerâmica, câmara de ar, cerâmica e reboco (tijolos cerâmicos de 08 furos, dimensões 9cm x 19cm x 19cm)	2,50	170	0,70
Pisos internos e externos	Camadas de terra argilosa seca, contrapiso com camadas de brita, concreto, camada niveladora de argamassa e revestimento cerâmico ⁵	0,79	273	0,78
Janelas	Ferro com vidro 4 mm	5,85	-	0,50
Portas internas	Madeira compensada	2,60	-	0,50
Portas externas	Vidro temperado	5,85	-	0,84

Fonte: Os autores (2018).

A DPI foi calculada a partir do somatório das potências de todas as lâmpadas e reatores divididos pela área das zonas térmicas. A densidade de carga interna foi obtida a partir do somatório de todas as potências dos equipamentos, considerando o fator radiante 0,20 para equipamentos com menos de 1000 W e 0,5 para equipamentos com potência acima de 1000 W, dividida pela área da zona térmica. A edificação foi configurada com ventilação natural com *setpoint* de abertura das esquadrias definido em 25° C (MARTINS *et al.*, 2009), de forma que quando a temperatura interna chegar em 25°C, e a externa estiver mais baixa em até 5°C, a janela é considerada aberta para fins de simulação. Quanto ao cálculo de densidade ocupacional, o número de crianças ocupantes de cada sala foi dividido por dois, uma vez que a área corporal do organismo infantil é significativamente menor do que a do adulto, o que acarreta, provavelmente, menor calor dissipado para o recinto (Tabela 2).

Tabela 2 - Ocupação da EMEI e densidade de ocupação por ambiente

Ambientes	Área	Ocupação	Ocup. Tot.	Den. Ocup.
Sala 1	28,0	15 crianças e 3 adultos	10,5	0,37
Sala de repouso	10,2	0	0	0
Sala 2	33,8	19 crianças e 3 adultos	12,5	0,37
Sala 3	33,8	20 crianças e 2 adultos	12	0,35
Sala 4	31,0	20 crianças e 2 adultos	12	0,39
Sala 5	30,7	19 crianças e 2 adultos	11,5	0,37
Pátio coberto	87,8	0	0	0

Fonte: Os autores (2018).

⁵ Apesar de o piso ser de granitina, para a configuração utilizamos cerâmica, em função dos dois materiais possuírem valores similares de condutividade térmica e densidade aparente.

2.3.2 Cálculo do nível de conforto térmico

Para o cálculo do nível de conforto térmico, como referência, foi utilizado o arquivo climático da cidade TMY da cidade de Erechim/RS, tendo em vista sua proximidade com o município de implantação da EMEI. A temperatura do solo foi obtida a partir do software SLAB/EnergyPlus. Para realizar a simulação, os dados foram exportados do DesignBuilder para o programa EnergyPlus® versão 8.7. A partir dos dados de saída obtidos pelo EnergyPlus, foram copiados os valores de temperatura operativa e temperatura externa de cada hora, ao longo de um ano, para uma planilha eletrônica previamente configurada e então realizada uma análise de resultados.

2.4 Análise dos resultados da simulação computacional em comparação com os do percurso *walkthrough*

A análise de resultados foi estruturada de modo que possibilitasse a comparação entre os dados obtidos na simulação computacional e no percurso *walkthrough*. Com base nos valores das variáveis definidas pela simulação computacional, foi realizada a análise do nível de conforto térmico dos usuários da edificação segundo os padrões da ASHRAE 55 (2017), que define uma Zona de Conforto Térmico para a qual indica aceitabilidade de 80% dos ocupantes do ambiente interno.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta a percentagem de desconforto térmico por frio, por calor e de conforto térmico dos ambientes internos da EMEI estudada, conforme o padrão da ASHRAE 55 (2017). Quanto às salas, os resultados da simulação indicam predomínio de conforto térmico, o que corresponde ao valor médio de 78,5% ao longo do ano, considerando o total de horas ocupadas. Essa condição ambiental foi confirmada pelas educadoras, que responderam que os ambientes, em geral, são termicamente agradáveis, exceto nas estações frias, quando o contato com o piso de granitina, causa sensação de desconforto por frio. Este revestimento foi reconhecido como inadequado por todas as professoras dos cinco grupos avaliados durante o percurso *walkthrough*.

Tabela 3 - Avaliação por simulação do nível de conforto térmico na EMEI

Ambientes	Conforto (%)	Frio (%)	Calor (%)
Sala 1	82,7	7,3	9,9
Sala de repouso	69,2	27,9	2,9
Sala 2	79,8	16,2	4,0
Sala 3	81,4	9,7	8,8
Sala 4	79,7	13,1	7,2
Sala 5	78,3	14,2	7,6
Pátio coberto	54,9	35,8	9,3

Fonte: Os autores (2018).

Quanto ao pátio, o percentual significativo de desconforto por frio resultante da simulação (35,8%) concordou com a opinião das educadoras. Durante o percurso *walkthrough*, a diretora e duas professoras apontaram que o ambiente é muito frio no inverno. Segundo elas, em dias de temperaturas baixas, costumam conduzir as crianças para brincar no *hall* de entrada, pois nesse ambiente é "mais quente", o que ocorre, provavelmente, em função da

presença da cobertura translúcida, que permite incidência da radiação solar difusa.

Já nos períodos de calor, as profissionais relataram que o pátio é um ambiente “muito quente e abafado”, o que não concorda com o resultado da simulação que expressa um percentual de apenas 9,3% de desconforto por calor no total de horas ocupadas. Esse desalinhamento entre a avaliação por meio da simulação e a experiência das ocupantes pode ser, em parte, explicada por duas razões:

(1) porque o modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2017) toma como aceitáveis as temperaturas na faixa de 29°C, ou seja, elas estão inseridas na zona de conforto térmico, no entanto, durante o percurso *walkthrough* as educadoras sinalizaram que isso não corresponde à sua percepção real.

(2) porque, provavelmente, há diferença entre a abertura das esquadrias configurada no software e o modo com que as ocupantes operam no cotidiano. Enquanto o software computou a abertura total dos caixilhos quando a temperatura interna superasse 25°C, durante o *walkthrough* as educadoras mencionaram que as portas do pátio, em geral, são mantidas fechadas para evitar que as crianças saiam desacompanhadas para a área externa.

Com relação à avaliação por simulação, cabe ressaltar a constatação de uma limitação deste procedimento. Para fins de cálculo de ocupação, a sala de repouso e o pátio coberto foram considerados com densidade ocupacional igual a zero, uma vez que as crianças foram locadas nas salas. No entanto, a opção por tal configuração pode estar relacionada com o percentual de desconforto por frio mais acentuado nesses ambientes, na comparação com os demais.

4 CONCLUSÕES

Ao comparar os resultados obtidos a partir dos dois métodos de avaliação, este estudo de caso possibilitou evidenciar: (1) a importância do observador conhecer e mapear o comportamento dos ocupantes com relação à abertura das esquadrias da edificação, de modo a incluir suas práticas nas simulações computacionais e assim aproximar a modelagem do perfil de uso real dos ambientes observados; (2) a relevância do cruzamento dos resultados das simulações computacionais do nível de conforto térmico com aqueles provenientes de métodos qualitativos que consideram a experiência ambiental dos ocupantes, a fim de que desconfortos térmicos localizados, como a sensação térmica de resfriamento ocasionada pelo piso frio (Fanger, 1970; ASHRAE, 2017) sejam descobertos e considerados na avaliação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Thermal Environmental Conditions of Human Occupancy**. Atlanta, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. (ASHRAE). **Fundamentals: Thermal Comfort**. Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: NBR 15220-3**. Rio de Janeiro 2005.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Fundo Nacional para o Desenvolvimento da Educação (FNDE). **Proinfância: Espaço educativo Infantil**. 2010. Planta baixa em arquivo digital.

BRASIL. Ministério da Educação. **Padrões de Infra-estrutura para as Instituições de Educação Infantil e Parâmetros de Qualidade para a Educação Infantil**. Brasília: MEC, SEB, 2004.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Câmara de Educação Básica. **Resolução Nº 5**, de 17 de dezembro de 2009. Fixa as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Infantil. Brasília: MEC/SEB, 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (INMETRO). **Portaria n. 18**, de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). I. E. C. E.: INMETRO, 2012. 137 p.

CEPPI, G.; ZINI, M. (org.) **Crianças, espaços, relações: como projetar ambientes para a educação infantil**. Porto Alegre: Penso, 2013. 157p.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FORNEIRO, L. I. A organização dos espaços a Educação Infantil. In: ZABALZA, M. A. **Qualidade em Educação Infantil**, Porto Alegre: Artmed, 1998. 288 p.

HORN, M. da G. S. **Sabores, cores, sons, aromas – A organização dos espaços na educação infantil**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 119 p.

MARTINS, D. J. *et al.* Ensaio sobre a Utilização da Automação de Aberturas na Simulação do Desempenho Térmico de Edificações. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10. **Anais [...]**. Natal, ENTAC, 2009.

MODLER, N. L. **Arquitetura e Educação Infantil: Abordagem Experiencial em um estudo de caso no Norte do Rio Grande do Sul**. 2020. 333f. Tese (Doutorado em Ciências em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

OLDS, A. R. **Child Care Design Guide**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2001. 352p.

RHEINGANTZ, P. A *et al.* Observando **a qualidade do lugar**: procedimentos para a avaliação pós-ocupação. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. E-book. Disponível em: <http://prologar.fau.ufrj.br/publicacoes/>. Acesso em: 14 abr. 2020.

RHEINGANTZ, P. A. **Glossário de termos de filosofia e de métodos de pesquisa**. 2019. Disponível em: <http://www.proarq.fau.ufrj.br/pesquisas/grupos-de-pesquisa/16/lugares-e-paisagens-prologar>. Acesso em: 05 jan. 2020.

ZEISEL, J. **Inquiry by design: Environment/Behavior/Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning** Monterey: Brooks/Cole Publishing Company, 1981. 400 p.