O IMPACTO DO SETPOINT DE USO DA VENTILAÇÃO NATURAL NO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO NZEB

Luís Filipe Muta (1); Thalita dos Santos Maciel (2); Ana Paula Melo (3); Roberto Lamberts (4)
(1) Mestre em Arquitetura e Urbanismo, doutorando, luis. muta@posgrad.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
(2) Mestra em Arquitetura e Urbanismo, doutoranda, thalita.maciel@posgrad.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
(3) Doutora em Engenharia Civil, docente, a.p.melo@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
(4) PhD em Engenharia Civil, docente, roberto.lamberts@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

RESUMO
Este trabalho analisou o conforto térmico em uma edificação Nearly Zero Energy Building (nZEB) de tipologia educacional, situada na zona bioclimática 2 (ABNT, 2005), considerando apenas o uso da ventilação natural para o condicionamento do ar no edifício. Além da análise do modelo real da nZEB, um modelo de referência foi criado, com sistemas construtivos convencionais, e o conforto térmico nas duas edificações foi comparado pelo modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2017). O impacto do setpoint de operação das janelas no conforto térmico também foi analisado neste estudo, sendo analisados cenários entre 19°C e 28°C, por meio do programa EnergyPlus. O trabalho demonstrou que o modelo real da nZEB proporcionou 18% de horas adicionais em conforto térmico e reduziu as horas em desconforto por calor e frio em 36% e 63%, respectivamente, em comparação ao modelo de referência. Foi demonstrado que o valor do setpoint de operação das janelas foi significativo no conforto térmico, proporcionando variações no conforto térmico dos casos real e de referência de até 13% e de 17%, respectivamente.

Palavras-chave: conforto térmico, ventilação natural, simulação computacional.

ABSTRACT
This paper analyzed the thermal comfort in a nZEB building, educational typology, located in bioclimatic zone 2 (ABNT, 2005), considering only natural ventilation. In addition to actual nZEB model analysis, a reference model was created, considering conventional construction systems, and the thermal comfort in the two buildings was compared by the adaptive model of ASHRAE Standard 55 (2017). The impact of the ventilation temperature setpoint on thermal comfort was also analyzed in this paper. Scenarios between 19 °C and 28 °C were evaluated by EnergyPlus program. The analysis demonstrated that the nZEB provided 18% additional hours in thermal comfort and reduced the number of hours in heat and cold discomfort by 36% and 63%, respectively, compared with the reference model. It was also demonstrated that the ventilation temperature setpoint significantly relates to thermal comfort. This parameter caused variations in thermal comfort in the real and reference cases of up to 13% and 17%, respectively.

Keywords: thermal comfort, natural ventilation, simulation.

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura bioclimática busca proporcionar conforto ambiental aos usuários a partir de técnicas e materiais condizentes com o clima local da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Entretanto, as construções nos centros urbanos demonstram que as questões relacionadas ao desempenho térmico não são consideradas (OLIVEIRA, 2019).

Com o avanço tecnológico, mesmo que a envoltória da edificação não apresente sinergia com o clima local, é possível garantir conforto aos usuários a partir de sistemas de ar condicionado, mas o uso desse sistema pode representar até 48% do consumo final de energia de uma edificação (GOMES, 2012; VIEGAS; BARACHO, 2017).

O setor de edificações, em âmbito global, é responsável pelo consumo de 35% da energia e pela emissão de 38% de CO_2 na atmosfera (UNEP, 2020). Considerando o cenário de mudanças climáticas e as metas para a neutralidade de emissões de carbono até 2050, o desenvolvimento de edifícios de alta eficiência energética se torna relevante (YANG *et al*., 2022).

Segundo Jaysawal (2022), o termo "nZEB" (*Nearly Zero Energy Building*) é um conceito para edificações que possuem um nível elevado de eficiência energética e um balanço energético anual próximo de zero, aspectos alcançados através dos preceitos da arquitetura bioclimática e da geração de energia renovável. Em países como o Japão e os Estados Unidos, espera-se que até 2030 as novas edificações comerciais tenham o consumo de energia próximo de zero (CHEN, 2019).

No Brasil, a Eletrobras lançou em 2019 o Edital "Procel Edifica – NZEB Brasil" para subsidiar a construção de quatro edificações nZEB em território nacional. O objetivo do edital é fomentar o conhecimento, o estudo e o desenvolvimento de novos projetos, demonstrando o efeito prático de edificações nZEB e possibilitando que esse conceito seja aplicado em larga escala no país (ELETROBRAS, 2020).

Um dos projetos aprovados no edital foi o Anexo FAUrb da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), uma edificação institucional de ensino superior, situada em Pelotas-RS, na Zona Bioclimática 2 (ZB2), conforme especificada pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Conforme Pouey *et al*. (2020), a classificação de eficiência energética da edificação foi feita seguindo os procedimentos da consulta pública da INI-C (Portaria nº 248/2018 do Inmetro), atingindo classe A em todos os sistemas avaliados (envoltória, iluminação e ar condicionado). O Anexo FAUrb considerou um sistema de condicionamento híbrido, intercalando o ar condicionado com a ventilação natural (objeto "AvailabilityManager:Hybrid Ventilation" do EnergyPlus) (POUEY *et al*., 2020).

O sistema de ar condicionado é relevante para o conforto térmico do usuário, mas é essencial preconizar edifícios que apresentem o maior conforto térmico possível, através da ventilação natural, a fim de reduzir a necessidade do uso do sistema de condicionamento de ar. O tema da ventilação natural tem ganhado destaque na última década, mas na data desta pesquisa não foi identificada nenhuma pesquisa com foco na variação do conforto térmico a partir de alterações no setpoint de operação das janelas.

Considerando a necessidade do aumento de edificações energeticamente eficientes, esta pesquisa buscou avaliar o conforto térmico de uma edificação nZEB – considerando apenas a ventilação natural – e comparar com um modelo de referência – com características construtivas convencionais do mercado da construção civil – a fim de demonstrar o quanto uma edificação nZEB pode ampliar o conforto térmico dos usuários, sem a necessidade de climatizar artificialmente a construção. Além disso, buscou-se analisar os impactos que as modificações no setpoint de operação das janelas proporcionam no conforto térmico dos usuários na edificação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar o conforto térmico em uma edificação nZEB situada em clima subtropical úmido brasileiro, na ZB2 (ABNT, 2005), considerando o uso da ventilação natural e o setpoint de operação das janelas.

3. MÉTODO

Foi feito um estudo de caso, utilizando uma edificação nZEB de tipologia educacional de ensino superior. A simulação da ventilação natural foi realizada através do programa EnergyPlus, e o conforto térmico foi avaliado pelo modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2017).

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O objeto de estudo, demonstrado pela Figura 1, foi o Anexo FAUrb da UFPel, uma edificação de tipologia educacional de ensino superior, localizada em Pelotas-RS, na ZB 2.



Figura 1 – Representação digital do Anexo FAUrb (UFPEL, 2020).

A cidade de Pelotas/RS está localizada na latitude 31°52'S e longitude 52°21'W; apresenta clima subtropical úmido; altitude de 13 m; temperatura média anual de 17,8 °C, sendo a média máxima de 23,2 °C, registrada em janeiro, e a média mínima de 12,3 °C, registrada em julho; a umidade relativa anual é 80,7%; a direção predominante dos ventos é leste; e a velocidade média anual do vento é 3,5 m/s (CABALLERO, 2018).

O Anexo FAUrb apresenta orientação solar nor-nordeste (14° em relação ao norte), possui três pavimentos e 15 ambientes, sendo seis de permanência prolongada (CEAU, CEART, LINSE e Ateliês 1, 2 e 3) e nove de permanência transitória (circulações e banheiros). As Figuras 2, 3 e 4 demonstram as plantas dos pavimentos do Anexo FAUrb.

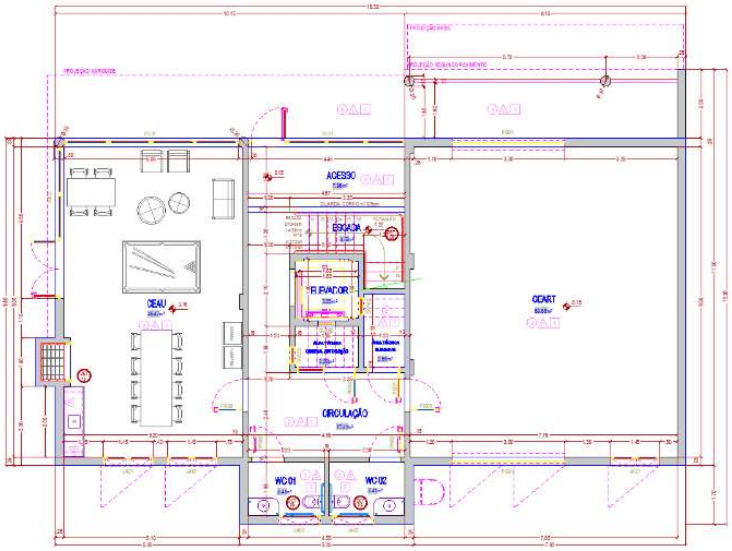


Figura 2 – Planta do pavimento térreo do Anexo FAUrb.

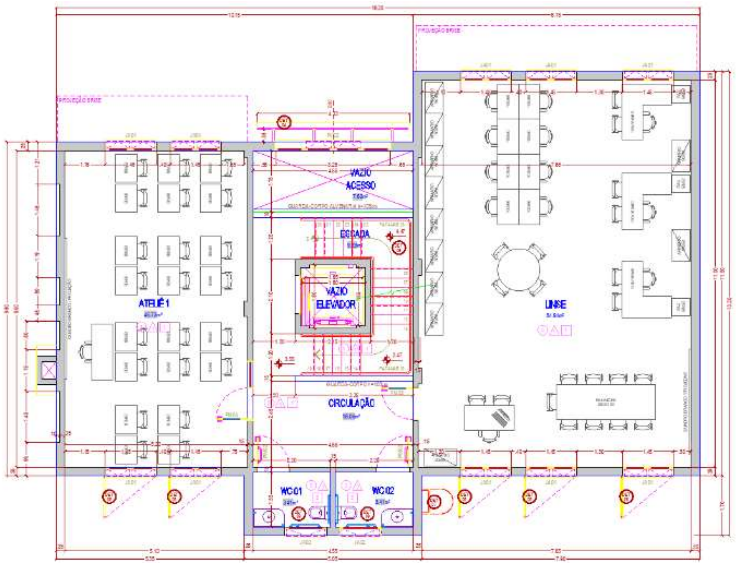


Figura 3 – Planta do primeiro pavimento do Anexo FAUrb.

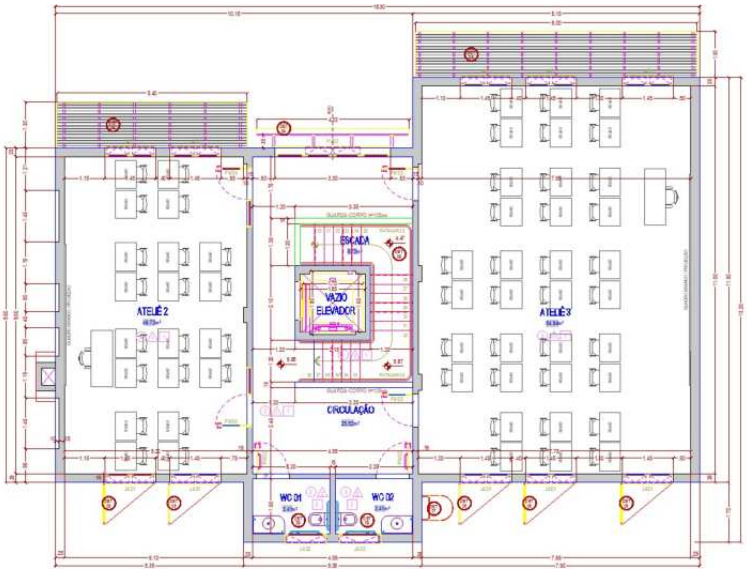


Figura 4 – Planta do segundo pavimento do Anexo FAUrb.

3.2. Avaliação do conforto térmico

O modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2017) – considerando os limites de aceitabilidade de 80% – foi utilizado para determinar o percentual de horas ocupadas em conforto térmico na edificação. As horas em desconforto por calor e por frio também foram consideradas na pesquisa.

3.3. Simulação computacional

A modelagem da geometria do Anexo FAUrb, apresentado pela Figura 5, foi elaborada no SketchUp Make 2017 com a extensão do Euclid 0.9.4.4, e a simulação foi realizada no programa EnergyPlus (versão 23.1.0) com o arquivo climático TMYx de Pelotas-RS, considerando os dados de 2007 a 2021.

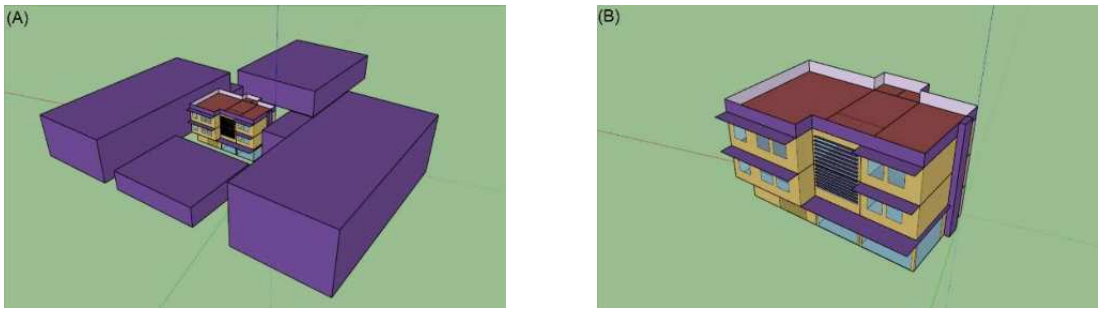


Figura 5 – (A) entorno do Anexo FAUrb; (B) Vista isométrica do Anexo FAUrb.

A ventilação natural foi configurada conforme os procedimentos de Veiga *et al*. (2020) e o cálculo da temperatura do solo seguiu as diretrizes apresentadas por Eli *et al*. (2019), considerando o método da diferença finita.

A operação do Anexo FAUrb considerou todos os feriados nacionais e seguiu o calendário acadêmico da UFPel, com férias de verão em janeiro e fevereiro e férias de inverno em agosto. O padrão de ocupação abrangeu todos os dias da semana das 08:00 às 12:00 e das 14:00 às 18:00. Foram realizadas simulações com variações nos valores de setpoint de operação das janelas, considerando o intervalo entre 19°C e 28°C, para analisar o impacto desse parâmetro no conforto térmico dos usuários.

Os sistemas construtivos e as propriedades dos materiais – absortância (α), emissividade (ε), transmitância térmica (U), espessura (e), condutividade térmica (λ), densidade de massa aparente (ρ) e calor específico (c) – do Anexo FAUrb são apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1 – Sistemas construtivos e propriedades térmicas dos materiais do Anexo FAUrb.

Sistema	**Composição**	**α**	**ε**	**U [W/m².K]**	**Ambiente**	**Material**	**e [cm]**	**λ [W/m.K]**	**ρ [kg/m³]**	**c [J/kg.K]**
Parede externa	Argamassa externa + bloco cerâmico 6 furos + lã de rocha + bloco cerâmico 6 furos + argamassa interna	0,2	0,9	0,79	Todos	Argamassa	2,5	1,15	1800	1000
						Bloco cerâmico	9	0,9	1300	920
						Lã de rocha	3	0,045	20	750
Parede interna	Argamassa externa + bloco cerâmico 6 furos + argamassa interna	0,2	0,9	2,01	Todos	Argamassa	2,5	1,15	1800	1000
						Bloco cerâmico	9	0,9	1300	920
Piso cerâmico	Laje de concreto + contrapiso + argamassa de assentamento + azulejo cerâmico	0,2	0,9	3,93	CEAU, CEART, circulações e banheiros	Laje de concreto	10	1,75	2200	1000
						Contrapiso	3	1,75	2200	1000
						Argamassa	1	1,15	1800	1000
						Azulejo cerâmico	1	1,05	1800	920
Piso vinílico	Laje de concreto + contrapiso + piso vinílico	0,7	0,9	2,65	LINSE e Ateliês 1, 2 e 3	Laje de concreto	10	1,75	2200	1000
						Contrapiso	3	1,75	2200	1000
						Manta vinílica	0,5	0,2	1200	
Telhado metálico	Telha de alumínio + câmara de ar (> 25 cm) + lã de rocha + laje de concreto	0,2	0,9	0,66	Ateliês 2 e 3	Telha de alumínio	0,1	230	2700	880
						Lã de rocha	5	0,045	20	750
						Laje de concreto	10	1,75	2200	1000
Telhado técnico (terraço)	Azulejo cerâmico + argamassa de assentamento + betume + placa pré-moldada + câmara de	0,2	0,9	0,84	Circulação e banheiros	Azulejo cerâmico	1	1,05	1800	920
						Argamassa	1	1,15	1800	1000

	ar (> 25 cm) + lã de rocha + laje de concreto					Betume	0,5	0,17	1000	1460
						Contrapiso	3	1,75	2200	1000
						Placa pré-moldada	10	1,75	2200	1000
						Lã de rocha	3	0,045	20	750
						Laje de concreto	10	1,75	2200	1000
Porta interna	Compensando de madeira	0,7	0,9	2,12	Todos	Madeira	3,5	0,15	450	230
Porta externa	Aço	0,2	0,9	6,68	CEART	Aço	0,12	55	7800	460

A densidade de carga de equipamentos (DPE) e de iluminação (DPI) dos ambientes de permanência prolongada são apresentados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Densidade de carga de equipamentos e de iluminação dos ambientes de permanência prolongada.

Ambiente	**DPE [W/m²]**	**DPI [W/m²]**
CEAU	9,70	6,44
CEART		8,31
LINSE		7,02
Ateliê 1		9,23
Ateliê 2		9,23
Ateliê 3		8,50

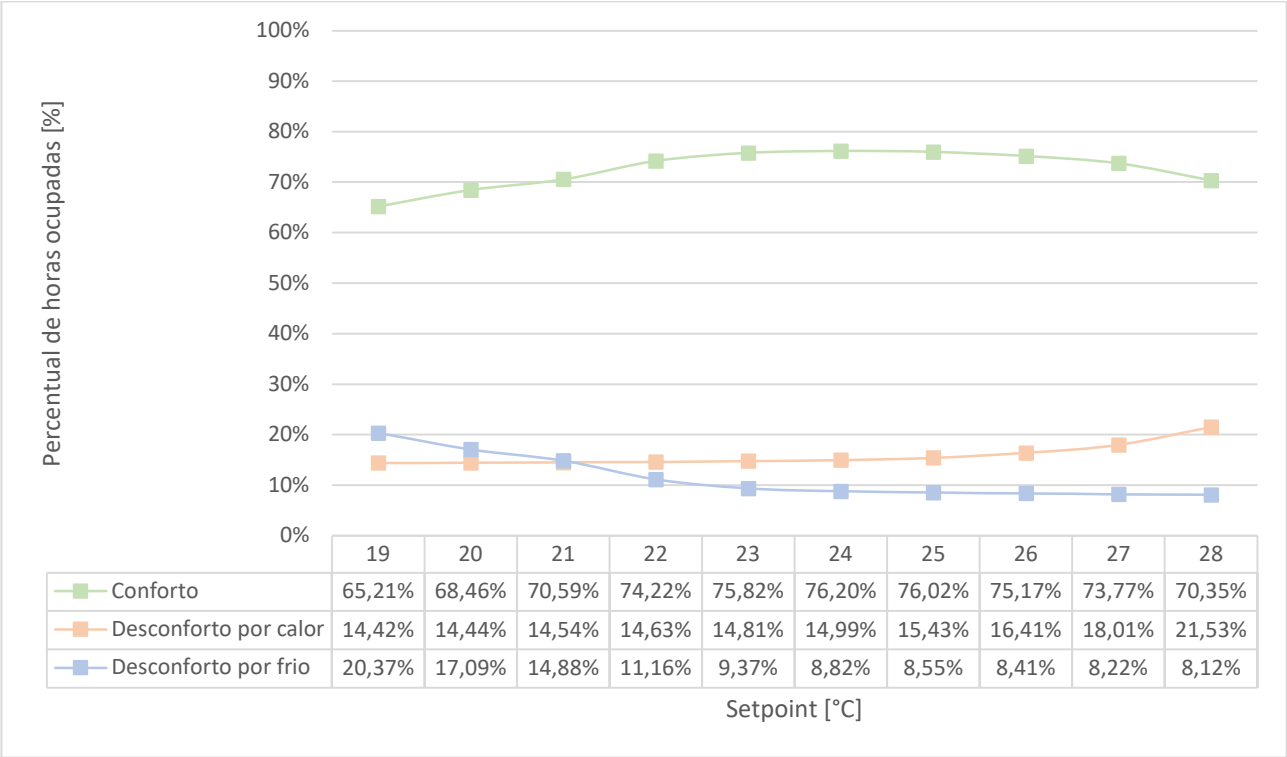
Também foi simulado um caso de referência do Anexo FAUrb, com sistemas construtivas convencionais no mercado da construção civil, a fim de realizar uma comparação com o conforto térmico na nZEB (caso real do Anexo FAUrb). As condições de entorno, os sistemas construtivos, as propriedades térmicas dos materiais e as cargas na edificação de referência foram as mesmas apresentadas na INI-C (Portaria nº 309/2022 do Inmetro), considerando edificações de tipologia educacional de ensino superior (BRASIL, 2022).

Após as simulações, considerando a faixa de setpoint de 19 °C a 28 °C, as horas em conforto térmico foram analisadas. A partir da análise, foi possível verificar quais foram os valores de setpoint que proporcionaram a maior quantidade de horas em conforto térmico, mês a mês.

4. RESULTADOS

Os resultados do caso de referência, apresentados pela Figura 6, demonstraram que o conforto térmico na edificação aumenta em conjunto com o setpoint, até determinado ponto. O setpoint de 24 °C foi o que proporcionou o maior valor de conforto térmico (76,20%) e o menor valor de desconforto (23,80%, somando calor e frio). As simulações também demonstraram que, embora o calor seja o desconforto predominante, as horas em desconforto por frio são consideráveis, chegando a representar 58,55% do desconforto total[1] na simulação de setpoint de 19 °C e, feita a média de todos os casos simulados, representa 41,94% do desconforto total.

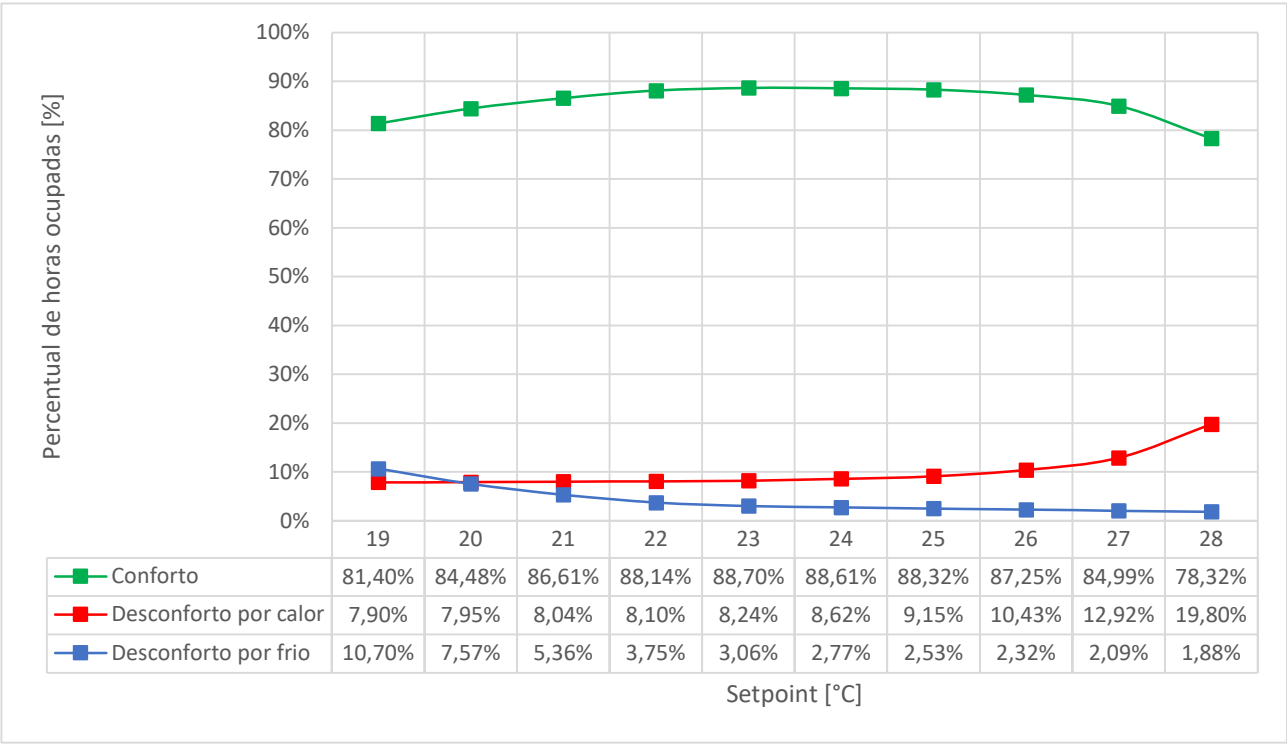
[1] O desconforto total considera apenas as horas em desconforto na edificação, ou seja, excluem-se as horas em conforto térmico.



	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Conforto	65,21%	68,46%	70,59%	74,22%	75,82%	76,20%	76,02%	75,17%	73,77%	70,35%
Desconforto por calor	14,42%	14,44%	14,54%	14,63%	14,81%	14,99%	15,43%	16,41%	18,01%	21,53%
Desconforto por frio	20,37%	17,09%	14,88%	11,16%	9,37%	8,82%	8,55%	8,41%	8,22%	8,12%

Figura 6 – Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico para o caso de referência.

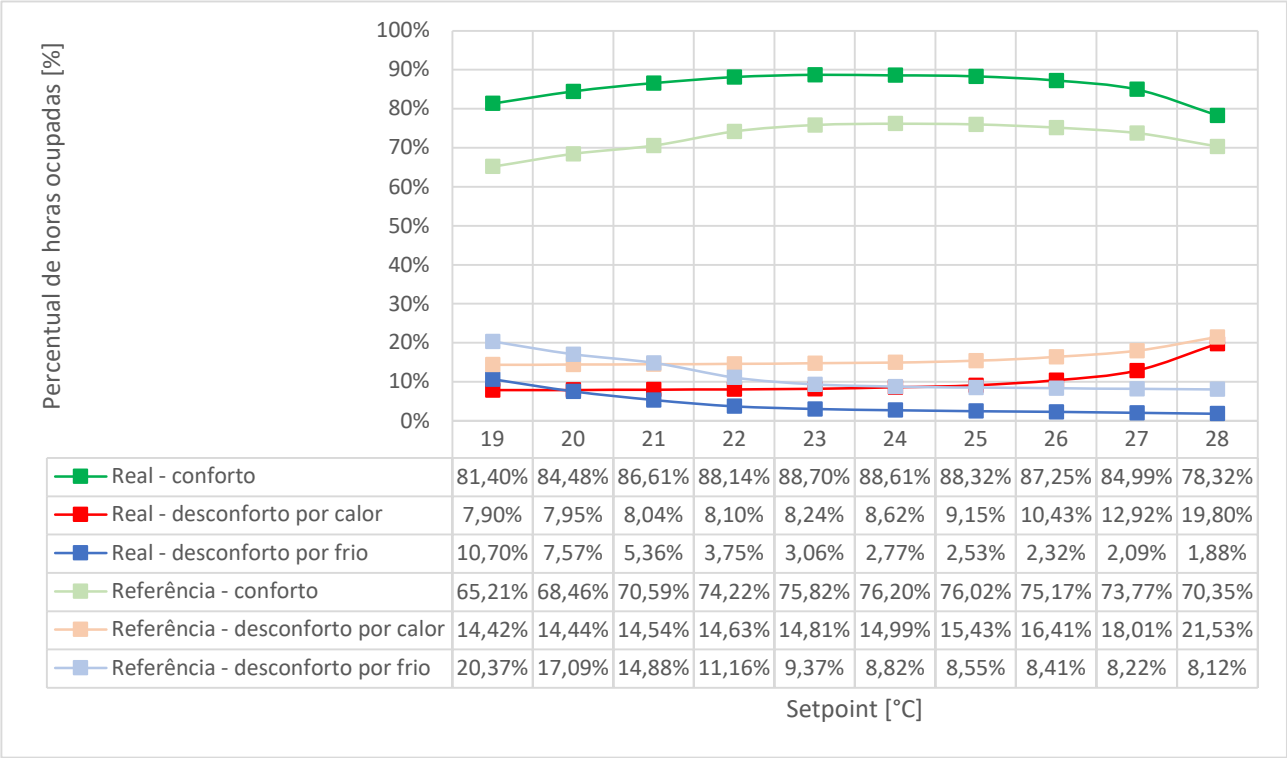
As simulações do caso real demonstraram que o conforto térmico aumentou com o setpoint, até certo ponto. A Figura 7 demonstra que o setpoint de 23°C proporcionou o maior conforto térmico (88,70%) e o menor desconforto térmico (11,30%, somando calor e frio). Sobre as horas em desconforto no caso real, nota-se que a predominância do desconforto por calor aumentou em comparação ao caso de referência, o desconforto por frio é maior do que o calor apenas no setpoint de 19 °C (representou 57,51% do desconforto total), aspecto devido aos sistemas construtivos com isolamento térmico. Apesar disso, o desconforto por frio ainda é considerável na nZEB, na média de todas as simulações representou 29,18% do desconforto total.



	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Conforto	81,40%	84,48%	86,61%	88,14%	88,70%	88,61%	88,32%	87,25%	84,99%	78,32%
Desconforto por calor	7,90%	7,95%	8,04%	8,10%	8,24%	8,62%	9,15%	10,43%	12,92%	19,80%
Desconforto por frio	10,70%	7,57%	5,36%	3,75%	3,06%	2,77%	2,53%	2,32%	2,09%	1,88%

Figura 7 – Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico para o caso real.

Ao plotar as curvas dos dois casos em um único gráfico, conforme a Figura 8, foi constatado que ambos possuem o mesmo padrão, conforme as variações de setpoint. Até a simulação com o setpoint de 22 °C, a redução do desconforto por frio ocorreu de forma acentuada em comparação ao aumento do desconforto por calor e, por isso, o conforto térmico aumentou em ambos os casos (até 23 °C para o caso real e até 24 °C para o caso de referência). Ultrapassados esses valores, o conforto térmico reduziu, pois o aumento do desconforto por calor tornou-se mais significativo, enquanto o desconforto por frio foi discreto. Considerando os valores médios de todas as simulações dos casos, a edificação real, em comparação a de referência, apresentou um aumento de 18,05% nas horas em conforto térmico e reduções de 36,47% e 63,44% nas horas em desconforto por calor e frio, respectivamente.



	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Real - conforto	81,40%	84,48%	86,61%	88,14%	88,70%	88,61%	88,32%	87,25%	84,99%	78,32%
Real - desconforto por calor	7,90%	7,95%	8,04%	8,10%	8,24%	8,62%	9,15%	10,43%	12,92%	19,80%
Real - desconforto por frio	10,70%	7,57%	5,36%	3,75%	3,06%	2,77%	2,53%	2,32%	2,09%	1,88%
Referência - conforto	65,21%	68,46%	70,59%	74,22%	75,82%	76,20%	76,02%	75,17%	73,77%	70,35%
Referência - desconforto por calor	14,42%	14,44%	14,54%	14,63%	14,81%	14,99%	15,43%	16,41%	18,01%	21,53%
Referência - desconforto por frio	20,37%	17,09%	14,88%	11,16%	9,37%	8,82%	8,55%	8,41%	8,22%	8,12%

Figura 8 – Percentual de horas em conforto e desconforto térmico para os casos real e de referência.

A partir da análise dos valores de horas em conforto e desconforto térmico, mês a mês, das simulações dos casos real e de referência, foi possível determinar os valores de setpoint que apresentaram o maior percentual de horas ocupadas em conforto térmico para cada mês do ano analisado. Os valores de setpoint que apresentaram os maiores valores de conforto térmico, para ambos os casos, são apresentados pela Tabela 3.

Tabela 3 – Setpoint ajustado de operação das janelas mês a mês para os casos real e de referência.

Mês	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
Setpoint ajustado para o caso Real [°C]	21	21	21	20	22	25	25	27	27	25	21	19
Setpoint ajustado para o caso de referência [°C]	22	22	22	24	24	25	24	27	27	24	24	22

Os resultados das simulações de ambos os casos apresentaram incremento no percentual de horas ocupadas em conforto térmico, em comparação aos demais cenários simulados. Entretanto, ao comparar as simulações dos casos com os valores de setpoint ajustados, mês a mês, com os melhores cenários antes dos ajustes (23 °C para o caso real e 24 °C para o caso de referência), constatou-se que o aumento no conforto térmico não foi significativo. Conforme a Figura 9, os aumentos nos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico para os casos real e de referência foram 0,5% e 0,2%, respectivamente.

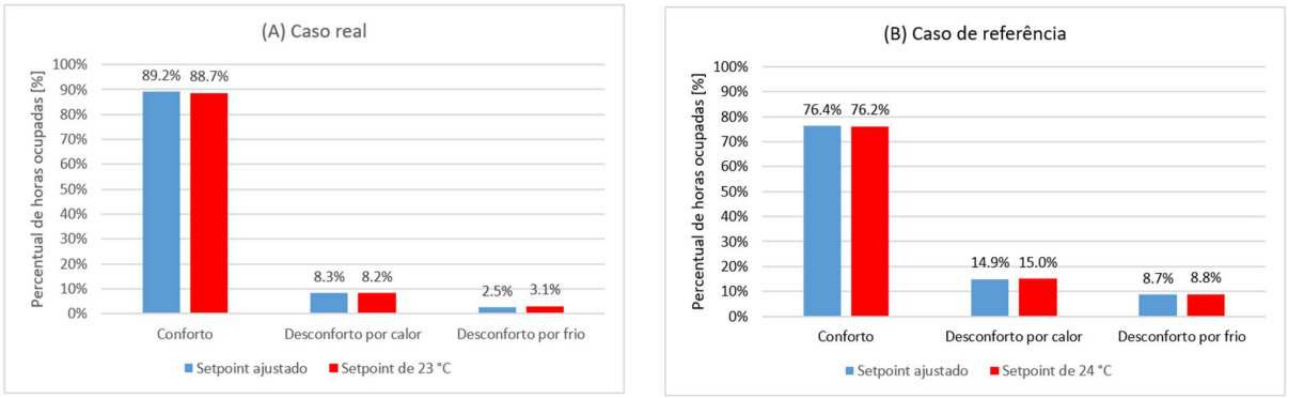


Figura 9 – (A) Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico para o caso real ajustado; (B) Percentual de horas ocupadas em conforto e desconforto térmico para o caso de referência ajustado.

Ao realizar a média ponderada dos valores de setpoint dos casos ajustados, mês a mês, verificou-se que o setpoint do caso real foi 22,84 °C e do caso de referência foi 23,92 °C, praticamente os mesmos valores observados nas análises sem os ajustes de setpoint, mês a mês (23 °C para o caso real e 24 °C para o caso de referência).

5. CONCLUSÕES

Como esperado, o caso real proporcionou condições superiores de conforto térmico em comparação ao caso de referência, independente do setpoint de operação das janelas. Em ambos os casos, o comportamento gráfico do conforto e do desconforto térmico foram os mesmos, conforme as variações nos valores de setpoint de operação das janelas. Tratando-se do desconforto térmico, ficou claro que em condições de setpoint inferiores a 21 °C, o frio foi predominante e, posteriormente, o calor tornou-se mais representativo no desconforto dos usuários.

Foi possível concluir que o setpoint de operação das janelas que proporcionou mais horas em conforto térmico para os casos simulados, na ZB2, está entre o intervalo de 23 °C e 24 °C. O estudo também demonstrou que ajustes de setpoint de operação das janelas, mês a mês, não resultaram em melhorias consideráveis no conforto térmico. Utilizar um valor médio de setpoint de operação das janelas para o ano todo proporcionou valores praticamente idênticos, tanto para a edificação convencional quanto para a nZEB.

O estudo demonstrou que um sistema de isolamento térmico, com baixa transmitância e absortância térmica, proporcionou uma redução significativa no desconforto térmico do usuário, em comparação a uma edificação convencional. O caso real apresentou reduções médias de 63,44% e de 36,47% nas horas em desconforto por frio e calor, respectivamente, em comparação ao caso de referência.

Apesar do desconforto por calor ser predominante, o trabalho demonstrou que o desconforto por frio deve ser considerado em análises e avaliações de desempenho e conforto térmico de edificações, especialmente quando a edificação se situa em regiões de clima subtropical úmido, com invernos rigorosos. Para o caso de uma edificação convencional em Pelotas-RS, na ZB2, a representatividade do frio no desconforto total dos usuários variou de 27,40% a 58,55%.

Por fim, ficou claro que o setpoint de operação das janelas foi relevante no conforto térmico do usuário nas simulações e esse campo deveria ser mais estudado. A pesquisa mostrou que apenas o setpoint de operação das janelas fez com que o percentual de horas ocupadas em conforto térmico na edificação de referência oscilasse entre 65,21% e 76,37% e, na edificação real, entre 78,32% e 89,19%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 3**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE. American National Standards Institute. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2017.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria Inmetro nº 309, de 06 de setembro de 2022. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para

a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. Brasília: **Diário Oficial da União**. 2022.

CABALLERO, C. B. C.; OGASSAWARA, J. F.; DORNELES, V. R.; NUNES, A. B. Precipitação Pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.11, n. 4, 2018.

CHEN, S. Y. USE OF GREEN BUILDING INFORMATION MODELING IN THE ASSESSMENT OF NET ZERO ENERGY BUILDING DESIGN. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 27, n. 3, p. 174-186, 2019.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Edital de Chamada Pública NZEB Brasil**. Minuta: Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2020.

ELI, L. G.; KRELLING, A. F.; MENDES, L. S.; SILVA, R. M.; MAZZAFERO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS COM O USO DO OBJETO GROUND DOMAIN NO PROGRAMA ENERGYPLUS – Versão 9.0.1**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2019.

GOMES, T. H. N. **Sustentabilidade nas Construções em Ambiente Tropical**. 2012. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

JAYSAWAL, R. K.; CHAKRABORTY, S.; ELANGOVAN, D.; PADMANABAN, S. Concept of net zero energy buildings (NZEB) - A literature review. **Cleaner Engineering and Technology**. v. 11, 2022.

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

OLIVEIRA, F. M. **Desenvolvimento de ferramenta BIM para avaliação prescritiva de eficiência energética integrada ao processo de projeto**. 2019. 301 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

POUEY, J. A.; MUTA, L. F.; LEITZKE, R. K.; SILVA, A. C. S. B. APLICAÇÃO DA PROPOSTA DA INI-C PARA AVALIAÇÃO DE PROJETO NZEB, PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

UNEP. United Nations Environment Programme. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction**: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi: UNEP, 2020.

VEIGA, R. K; ELI, L. G.; OLINGER, M. S.; MAZZAFERO, L.; PEREIRA, H. A. C.; MELO, A. P.; VERSAGE, R.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R. **MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA ENERGYPLUS – Versão 9.0.1**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2020.

VIEGAS, A. E. R.; BARACHO, A. S. B. ARQUITETURA VERNACULAR: TIPOLOGIA ARQUITETÔNICA QUE AGREGA VALORES PARA AS CIDADES HISTÓRICAS MINEIRAS DE SÃO JOÃO DEL REI, TIRADENTES E VITORIANO VELOSO. In: Simpósio Científico do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios, 1., 2017, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ICOMOS, 2017. p. 1-15.

YANG, Y.; PAN, Y.; ZENG, F.; LIN, Z.; LI, C. A gbXML Reconstruction Workflow and Tool Development to Improve the Geometric Interoperability between BIM and BEM. **Buildings**. v. 12, n. 2, 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e ao Laboratório de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações (LINSE | UFPel), pela disponibilização dos projetos da nZEB.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).