2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

UMA AVALIAÇÃO INTEGRADA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E TÉRMICO DE EDIFÍCIO UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL[1]

FRANDOLOSO, Marcos Antonio Leite (1); FRITSCH, Rodrigo Carlos (2); REBELATTO, Bianca Gasparetto (3); PINTO, Fábio Lamaison (4); BIER, Angélica dos Santos (5); ROSSI, Letícia (6); NICOLODI, Bárbara Didoné (7)

(1) Universidade de Passo Fundo, frandoloso@upf.br **(2)** Universidade de Passo Fundo, rcfritsch@upf.br **(3)** Universidade de Passo Fundo, biancarebelatto@gmail.com **(4)** Universidade de Passo Fundo, 144428@upf.br **(5)** Faculdade João Paulo II, angélica_bier@hotmail.com **(6)** Universidade de Passo Fundo, 151195@upf.br **(7)** Universidade de Passo Fundo, 168306@upf.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta os procedimentos e as ferramentas utilizados para a integração da avaliação do desempenho energético e térmico de uma edificação de construção recente de uso universitário, bem como das condições de conforto térmico dos usuários. A relevância deste estudo encontra-se no fato de que as universidades podem ser consideradas como laboratórios de experiências que permitam uma vivência prática dos alunos frente aos fatores incidentes no desempenho energético e térmico das edificações. A partir desta avaliação integrada, os resultados obtidos no monitoramento das variáveis da envoltória, das condições climáticas e dos perfis e da intensidade de uso dos edifícios permitem definir propostas de melhoria do parque construído universitário e contribuir para os processos de tomada de decisões.

Palavras-chave: *Desempenho Térmico; Desempenho Energético, Edifício Universitário, Eficiência.*

ABSTRACT

This paper presents the procedures and tools used for the integration of the assessment of the energy and thermal performance of a building of recent construction of university use, as well as the thermal comfort conditions. The relevance of this study lies in the fact that universities can be considered as laboratories of experiences that allow a practical experience of students in the face of the incident factors in the energy and thermal performance of buildings. From this integrated evaluation, the results obtained in the monitoring of the variables of the envelope, the climatic conditions and the profiles of use of the buildings allow to define proposals for improvement of the university built park and contribute to the decision-making processes.

Keywords*: Thermal Performance; Energy Performance, University Building, Efficiency.*

---

[1] FRANDOLOSO, Marcos Antonio Leite; FRITSCH, Rodrigo Carlos; REBELATTO, Bianca Gasparetto; PINTO, Fábio Lamaison; BIER, Angélica dos Santos; ROSSI, Letícia; NICOLODI, Bárbara Didoné. Uma avaliação integrada do desempenho energético e térmico de edifício universitário no sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

As universidades devem se constituir como um ambiente que fomente a construção do conhecimento e que possa servir como laboratório de experiências concretas, reforçando o processo ensino-aprendizagem, através da implementação de inovações pedagógicas e tecnológicas (LEAL FILHO et al., 2020). Para que essa premissa seja verdadeira, torna-se fundamental que esses espaços possuam os requisitos adequados de conforto e eficiência, elementos relacionados à implementação de critérios ambientais e de ecoeficiência. Tais critérios afetam a maneira de concepção, de projeto, de construção, assim como de utilização, servindo também como balizadores para as decisões que norteiam o gerenciamento dos campi universitários. Desta forma, este trabalho destaca o estudo do edifício V2 do Campus I da Universidade de Passo Fundo - RS, o qual buscou determinar o desempenho termo energético, assim como as condições internas de conforto dos usuários, cuja metodologia de monitoramento e avaliação está detalhada a seguir.

Tomashow (2014), dente outros autores, destaca que a energia é fundamental para a organização de esforços em direção à sustentabilidade nos campi universitários; as questões relacionadas com o uso e a gestão de energia têm um potencial de gerar lideranças e resultados efetivos na transformação do campus, da comunidade acadêmica e da sociedade. Estas premissas justificam o desenvolvimento de pesquisas como a descrita resumidamente neste trabalho, aplicadas na Universidade de Passo Fundo (UPF).

2 A METODOLOGIA PARA O MONITORAMENTO DO EDIFÍCIO V2 - UPF

A avaliação do desempenho térmico e energético dos edifícios de referência utiliza a metodologia de Auditorias Energéticas aplicadas ao parque construído da Universitat Politècnica de Catalunya - UPC (LÓPEZ PLAZAS, 2006; BOSCH GONZÁLES et al., 2006; FRANDOLOSO, 2018; FRANDOLOSO; CUCHÍ I BURGOS; CUNHA, 2018). Esta metodologia permite caracterizar cada edifício relacionando as diferentes fontes de energia com seus respectivos usos. A avaliação é obtida a partir da compilação de informações diferenciadas, divididas em dois tipos: os dados estáticos (características construtivas dos edifícios e dos espaços internos e das instalações) e os dados dinâmicos, com alterações ao longo do tempo, como intensidade de uso, variáveis ambientais e consumo energético. As auditorias energéticas apresentam como premissa a integração de três tipos de fatores: a demanda, o rendimento das instalações e a gestão de uso e ocupação.

De acordo com os critérios estabelecidos pela pesquisa (FRANDOLOSO, 2018; 2019; FRANDOLOSO; CUCHÍ I BURGOS; CUNHA, 2019), com a avaliação de tipologias arquitetônicas e construtivas diferenciadas definiu-se uma edificação de construção recente, a qual considera os novos princípios construtivos adotados pelos setores responsáveis pelo planejamento físico da Universidade. Cinco pontos foram desenvolvidos ao longo do trabalho:

1- Análise dos fatores incidentes no consumo dos recursos energéticos nos edifícios universitários (demanda, gestão e rendimento dos equipamentos);

2- Diagnóstico do contexto da eficiência na Universidade de Passo Fundo, com ênfase no uso da energia;

3- Avaliação das condições de conforto nos ambientes acadêmicos e a valoração dos correspondentes desempenhos das variáveis arquitetônicas e dos sistemas

nos edifícios;

4- Proposta de critérios para a tomada de decisões para a eficiência energética;

5- Avaliação das condições reais dos edifícios comparando-os com as simulações dos modelos teóricos ideais para a melhoria da envoltória e dos sistemas.

A partir destes resultados obteve-se a indicação de pautas para apoio aos processos de tomada de decisões para a melhoria do desempenho energético, térmico e de conforto, ou seja, contribuindo com a qualidade ambiental dos ambientes de aprendizagem e trabalho.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Características da edificação:

A pesquisa dá continuidade às avaliações de outros edifícios do parque construído universitário, apresentando neste trabalho o edifício V2 como referência - Figura 1, devido a sua tipologia, a qual se difere das composições recorrentes do Campus I da UPF. A importância da análise desta edificação justifica-se na proposição de melhorias para o parque construído como um todo.

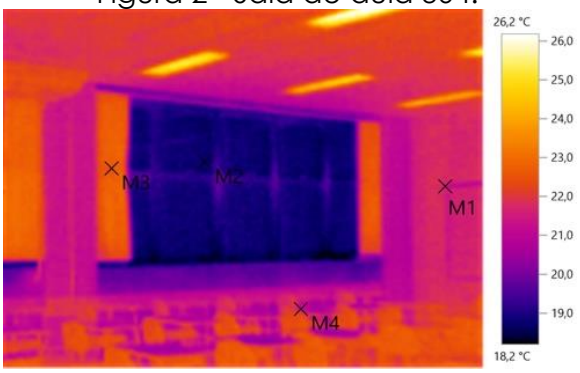
A edificação foi executada entre 2014 e 2015, com estrutura de concreto armado moldado no local, os fechamentos externos em alvenaria de tijolos seis furos, e internamente possui divisórias de gesso acartonado. A fachada principal, orientada a Sul, é composta por alumínio composto (ACM) e sistema *spider-glass*. Para as fachadas Leste e Oeste, utilizaram-se *brises-soleil* como forma de proteção no segundo e terceiro pavimento.

Figura 1 - Vista da fachada Oeste, Edifício V2, 2015.



Fonte: Rebelatto; Frandoloso; Fritsch, 2016.

Figura 2 - Sala de aula 304.



Fonte: Frandoloso; Rebelatto, 2017.

3.2 Dados estáticos: a envoltória

Aplicando-se as equações do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2010, 2013a; 2013b), chegou-se ao indicador de consumo (IC) igual a 30,77, de acordo com estudo prévio de Rebelatto, Frandoloso e Fritsch (2016). Após realizar os cálculos pelo RTQ-C, foram verificados e comparados os pré-requisitos especificados na norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2013a). Através da comparação das transmitâncias térmicas obtidas em cálculo com as exigidas pela norma, obteve-se um resultado satisfatório, nível *A*, para a transmitância térmica da cobertura, apresentando transmitância U=0,6W/m²K. Contudo, a transmitância térmica das

paredes em alvenaria simples, assim como as paredes que utilizaram alvenaria, camada de ar e placas de alumínio composto, obteve nível *C* e *D* de eficiência energética, equivalente a U=2,4 W/m²K, segundo as avalições desenvolvidas por Rebelatto, Frandoloso e Fritsch (2016) e Frandoloso e Rebelatto (2017).

Uma alternativa utilizada no projeto foi o uso de *brises-soleil* verticais nas fachadas Oeste e Leste. Entretanto, pode-se observar na imagem termográfica da Figura 2, obtidas com o termovisor Testo 881-1, que mesmo com os protetores solares a temperatura chega a atingir, por exemplo, 26,80°C ocorrida em 09/12/2016, ou seja, acima dos limites de conforto definidos pela NR-17 (BRASIL, 1978; 2007).

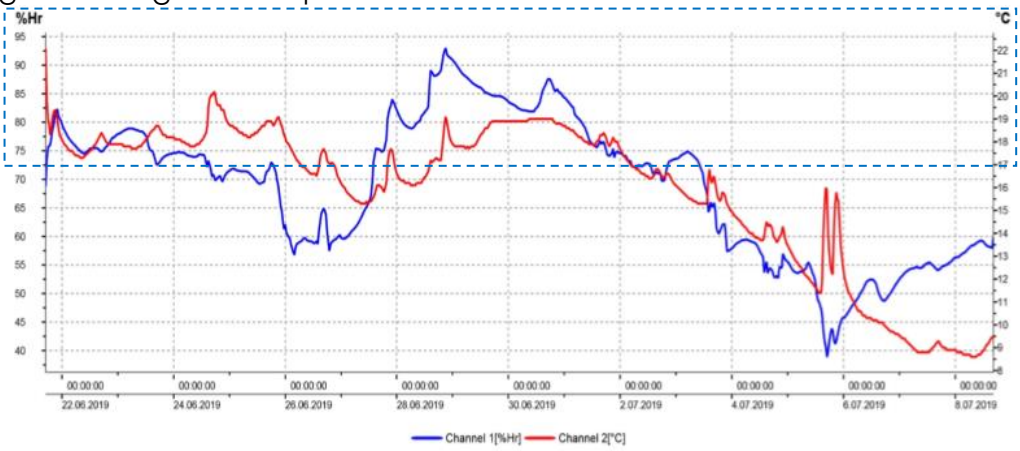
3.3 Dados Dinâmicos: Variáveis climáticas e Conforto térmico

Para o desenvolvimento do estudo foram utilizados *data-logger*s para o monitoramento das variáveis ambientais, medindo tanto a temperatura quanto a umidade relativa – modelo *testo* 175-H2. Os aparelhos foram programados para que fizessem a coleta de dados num intervalo de 15 em 15 minutos, instalados no terceiro pavimento (sala 307) orientada para Oeste, adotando-se os princípios definidos pela ISO 7730 (ISO, 2005).

A partir da análise dos dados foram identificadas as temperaturas e umidades relativas, máximas, médias e mínimas, para cada um dos períodos coletados. Nesta etapa do trabalho foram avaliados os resultados com base nos limites de conforto definidos por Givoni (1992) para "países em desenvolvimento", tendo em vista sua adaptabilidade às condições climáticas locais.

Observaram-se valores extremos em uma das salas de aula a partir de 21/03/2018, com a máxima de 31,8°C para o período do verão de 2018/2019, e a mínima de 8,6°C para o período do inverno de 2019. Também se constatou uma umidade relativa mínima de 29,9%UR na primavera de 2019, abaixo dos limites de conforto (mínimo de 40%) – característico de climas secos. As máximas situam-se entre 80,2% e 96,4%UR em todos os períodos analisados, reforçando a classificação climática local de clima subtropical.

Figura 3 - Registros temperatura e umidade relativa - Sala 307 – inverno 2019.



Fonte: Os Autores

Desta forma, gerou-se um gráfico através do sistema de análise do *Testo ComSoft Basic 5.0* - Figura 3 - que ilustra as informações coletadas referentes ao inverno e permite uma análise dos limites de conforto que, segundo Givoni (1992), devem estar entre 17°C e 27°C – limite identificado pela linha tracejada nos gráficos. A partir destes dados, percebem-se registros de temperaturas abaixo do nível de conforto. Isto se deve à orientação solar noroeste da sala e do uso de *brises-soleil* externos, que

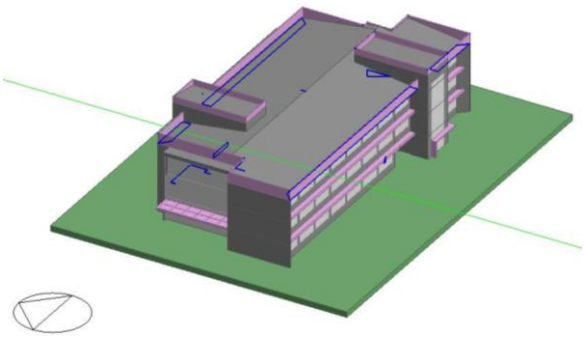
barram a entrada de radiação solar e, consequentemente, de calor. Além disso, as vedações externas são compostas por alvenaria de baixa inércia térmica e esquadrias de vidro com baixa estanqueidade, facilitando as perdas de calor.

3.4 Simulação do desempenho térmico e energético

A primeira etapa destas avaliações consistiu no levantamento do uso e ocupação dos distintos ambientes do edifício, cobrindo uma semana típica, nos turnos da manhã, tarde e noite, relacionando o número de usuários/ocupantes dos ambientes, bem como do regime de utilização dos equipamentos de iluminação, condicionamento e aparelhos diversos como computadores, projetores e impressoras. Este monitoramento foi sistematizado em tabelas, a fim de permitir o estabelecimento de "schedules", ou seja, a modelagem do regime de ocupação.

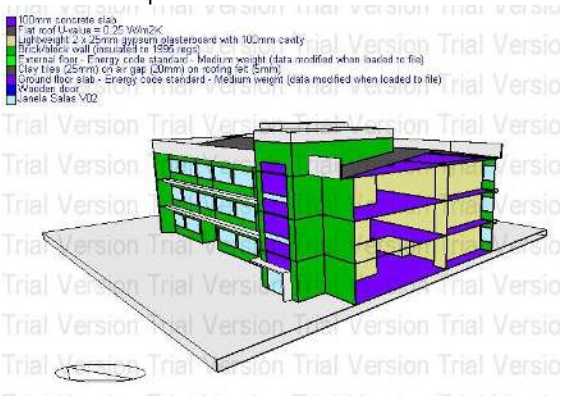
A partir do inventário dos dados estáticos e dinâmicos foram desenvolvidos modelos para a simulação do comportamento energético e de conforto ambiental com a adoção do software *DesignBuilder* – conforme Figura 4. De acordo com a Figura 5, as características construtivas do edifício real são modeladas nos diferentes elementos de fachadas, pavimentos, e cobertura do modelo, de acordo com as avaliações da envoltória anteriormente mencionadas.

Figura 4 Modelo de simulação: vista SE



Fonte: Os Autores

Figura 5 Modelo de simulação: componentes da envoltória



Fonte: Os Autores

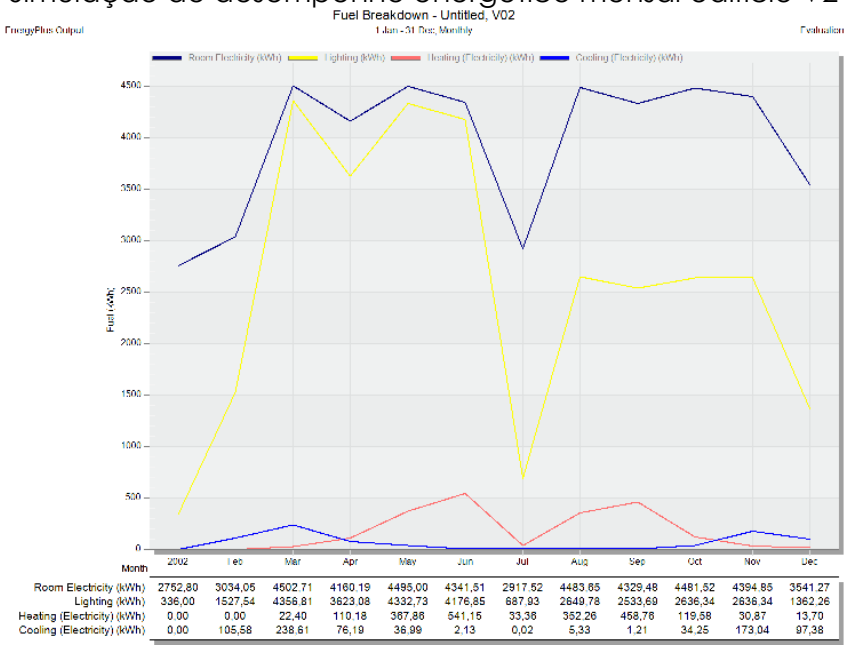
Como resultados, a simulação permite a avaliação de cada um dos componentes do consumo do edifício de eletricidade para todos os usos em equipamentos, iluminação e condicionamento térmico para aquecimento e refrigeração, de acordo com as condições climáticas externas. Na Figura 6 estão representados mensalmente, cada um destes usos ao longo de um ano de referência.

Percebe-se a grande influência da eletricidade geral e da iluminação, sendo que para o condicionamento térmico os valores são mais reduzidos. Tal fator não significa um atendimento das condições de conforto, apenas refletem a demanda instalada existente. Outra referência é que o regime de uso e ocupação (determinados por *schedules* pelo software) também está baseado nos levantamentos reais de uma semana típica.

As condições de conforto horárias são apresentadas na Figura 7. Observa-se que as temperaturas externas refletem o acompanhamento da coleta das variáveis ambientais já mencionadas, a partir do uso de arquivo climático específico para Passo Fundo. Assim, nos períodos de temperaturas mais frias as condições de conforto tendem para o frio (valores negativos do gráfico em verde) de acordo com o índice

do Voto Médio Preditivo e do Percentual de Pessoas em Desconforto (PPD) de Fanger e a escala de Bedford, referenciado pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004), com valores até -4, extrapolando o indicador -3 de sensação de muito frio.

Figura 6 Simulação do desempenho energético mensal edifício V2 por uso.

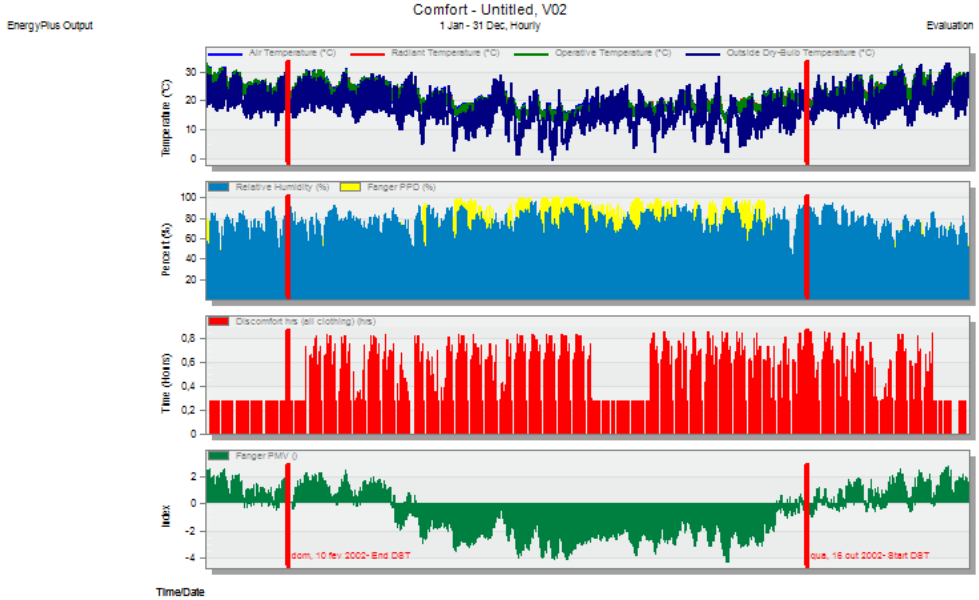


Room Electricity (kWh)	2752,80	3034,05	4502,71	4160,19	4495,00	4341,51	2917,52	4483,65	4329,48	4481,52	4394,85	3541,27
Lighting (kWh)	336,00	1527,54	4356,81	3623,08	4332,73	4176,85	687,93	2649,78	2533,69	2636,34	2636,34	1362,26
Heating (Electricity) (kWh)	0,00	0,00	22,40	110,18	367,86	541,15	33,36	352,26	458,76	119,58	30,87	13,70
Cooling (Electricity) (kWh)	0,00	105,58	238,61	76,19	36,99	2,13	0,02	5,33	1,21	34,25	173,04	97,38

Fonte: Os Autores

Para os períodos de temperaturas amenas ou mais altas (de novembro a janeiro), as condições de conforto se apresentam entre 0 (neutro) e +2 (quente). No período de recesso escolar de julho se percebe a diminuição das condições de desconforto, ou melhor, os regimes de uso e ocupação mais reduzidos são diretamente percebidos neste indicador: menos usuários, menor situação de desconforto (*disconfort for all clothes* no gráfico vermelho).

Figura 7 Simulação das condições de conforto térmico horárias



Time/Date										
Air Temperature (°C)	21,08	24,72	23,38	21,25	16,58	19,80	21,42	16,45	21,26	30,91
Radiant Temperature (°C)	21,12	24,79	23,53	21,11	15,67	19,82	21,45	16,53	21,23	30,20
Operative Temperature (°C)	21,10	24,76	23,45	21,18	16,13	19,81	21,44	16,49	21,24	30,56
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	16,88	20,17	19,05	20,02	4,82	16,65	16,35	11,16	20,41	29,65
Relative Humidity (%)	88,15	69,00	51,41	71,79	60,82	68,74	76,29	87,45	89,60	56,76
Fanger PPD (%)	8,24	16,37	19,60	49,69	96,13	69,93	40,69	95,73	7,40	61,20
Discomfort hrs (all clothing) (hrs)	0,00	0,00	0,00	0,28	0,32	0,00	0,00	0,00	0,28	0,84
Fanger PMV ()	-0,15	0,67	-0,74	-1,36	-3,15	-1,87	-1,26	-2,90	-0,09	2,20

Fonte: Os Autores

Para concluir estas avaliações, a próxima etapa da pesquisa é a análise dos dados, comparando-os com os indicadores obtidos anteriormente nos demais edifícios do parque construído do Campus I da Universidade de Passo Fundo. No entanto, a ferramenta de simulação indica distintas abordagens quanto às diretrizes para o desenvolvimento da otimização do desempenho energético e térmico do edifício V2, confirmando e comprovando as observações desenvolvidas ao longo da pesquisa.

4 CONCLUSÕES

A partir das diferentes ferramentas e metodologias aplicadas na avaliação do desempenho térmico e energético, simplificadas neste trabalho para um edifício universitário, algumas considerações permitem gerar uma reflexão sobre as variáveis que incidem no atendimento aos critérios de eficiência do parque construído.

Quanto à envoltória, através dos cálculos propostos pelo RTQ-C, conclui-se que a edificação poderia obter classificação *A* de envoltória. Porém, analisando a transmitância térmica das paredes, percebe-se que o uso dos materiais escolhidos não foi suficiente para que atingisse o nível superior da classificação, ficando assim classificada entre *C* e *D*. O uso de câmara de ar e placa de alumínio na alvenaria convencional fez com que o valor da transmitância diminuísse, porém não o suficiente para que atingisse o melhor nível de conforto. A cobertura atingiu a classificação *A* através do uso de materiais isolantes como espuma de poliuretano e câmara de ar, contudo, o edifício V2 recebe a classificação final de *C* e *D* para envoltória.

Quanto às condições de conforto térmico, com base nos registros das temperaturas e umidade relativa da sala apresentada neste trabalho e avaliações relacionadas com os limites de conforto, percebe-se que as características de complexidade climática de Passo Fundo, com verões quentes e invernos frios e úmidos, tem um impacto direto nas condições de conforto interno. Em função do regime de utilização dos ambientes acadêmicos, entre fevereiro e dezembro, em geral, este impacto se revela mais importante nos períodos de temperaturas baixas de outono, inverno e primavera.

Assim, as premissas de melhoria da envolvente e nos sistemas de condicionamento ativo, com emprego de energia, ou passivos, aproveitando as condições climáticas externas favoráveis, como insolação e ventilação natural, são imprescindíveis para alcançar um desempenho térmico e energético eficiente.

Diante das avaliações e das soluções apresentadas após a verificação dos resultados, conclui-se que, ao aplicar alternativas que integrem eficiência energética, conforto visual e economia de energia, pode-se melhorar satisfatoriamente o desempenho e as atividades desenvolvidas nas salas de aula e em todo o ambiente acadêmico.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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: ABNT, 2013.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard *55***: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta - USA: ASHRAE, 2004.

BOSCH GONZALES, M. et al. **Avaluació energètica d'edificis**: experiència de la UPC. Barcelona: Edicions UPC, 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 17** - ergonomia. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978; atualizada pela Portaria SIT n.º 13, de 21 de junho de 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria INMETRO 372/2010 de 17 de setembro de 2010**. Disponível em:<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013**. Disponível em:<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001961.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017. [2013a].

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013**. Disponível em:<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001982.pdf>. Acesso em: 18 set. 2017. [2013b].

FRANDOLOSO, M. A. L. **La inserción de la eficiencia energética en los edificios universitarios brasileños: las políticas y los procesos de toma de decisiones**. Tese (Doutorado em Arquitetura, Energia e Meio Ambiente) – Escola Técnica Superior d'Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: UPC, 2018. http://www.tdx.cat/handle/10803/461416.

___. As decisões para a inserção da eficiência energética em parque construído universitário. **Brazilian Journal of Development**, v.5, p.14202 - 14214, 2019.

FRANDOLOSO, M. A. L.; REBELATTO, B. G. Avaliação do desempenho da envoltória do edifício V2 da Universidade de Passo Fundo pelo método prescritivo do RTQ-C. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 6, 2017, Passo Fundo. **Seminário Internacional de Construções Sustentáveis**. Passo Fundo: IMED, 2017. p. 175 – 184.

FRANDOLOSO, M. A. L.; CUCHÍ I BURGOS, A.; CUNHA., E. G. da. The application of eco-efficiency in university buildings: policies and decision-making processes In: **Towards Green Campus Operations: Energy, Climate and Sustainable Development Initiatives at Universities**.1 ed. Berlin: Springer, 2018, p. 141-158.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, 1992, vol. 18, p. 11-23.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Genève: ISO, 2005.

LEAL FILHO, W., EUSTACHIO, J. H. P. P; CALDANA, A. C. F.; WILL, M.; SALVIA, A. L.; RAMPASSO, I. S.; ANHOLON, R.; PLATJE, J.; KOVALEVA, M. Sustainability Leadership in Higher Education Institutions: An Overview of Challenges. **Sustainability**, 12, 3761; doi:10.3390/su12093761 Disponível em:<http://www.mdpi.com/journal/Sustainability>. Acesso em: 7 Maio 2020.

LÓPEZ PLAZAS, F. **Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energia en la edificación**. Tese (Doutorado em Arquitetura). - Departament de Construccións Arquitectòniques I, Programa Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2006.

REBELATTO, B. G.; FRANDOLOSO, M. A. L.; FRITSCH, R. C. Envelope assessment of university building on South Brazil reaching the eco-efficiency In: SUSTAINABLE URBAN COMMUNITIES TOWARDS A NEARLY ZERO IMPACT BUILT ENVIRONMENT - SBE16 BRAZIL & PORTUGAL, 2016, Vitória - ES. **Proceedings of SBE16**. Vitória - ES: Universidade do Minho - Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. p. 217 – 226.

TOMASHOW, M. **The nine elements of a sustainable campus**. MIT Press, Cambridge, USA, 2014.