XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Consumo de energia de equipamentos e iluminação em salas de aula de uma Universidade Pública

Consumo energético de equipos y iluminación en aulas de una Universidad Pública

Energy consumption of equipment and lighting in classrooms of a Public University

Eficiência Energética / *Eficiencia Energética / Energy Efficiency*

Adati, Rafael Sousa
Graduando Eng. Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, civil.rafael.adati@uel.br

Leite, Pedro Souza
Mestrando Eng. Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, pedro.souzaleite@uel.br

Giglio, Thalita Gorban Ferreira
Prof. Dra., Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, thalita@uel.br

Atem, Camila Gregório
Prof. Dra., Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, camila.atem@uel.br

Resumo

Um dos fatores mais importantes nas incertezas entre o consumo real das edificações e aquele estimado em simulação computacional está na influência dos usuários no momento de uso dos sistemas. Na atualidade em salas de aula de universidades, os alunos utilizam cada vez mais equipamentos como computadores pessoais e celulares, cuja energia consumida, muitas vezes, não é contabilizada nos modelos que estimam consumo. Este estudo teve como objetivo levantar e avaliar padrões de uso da energia elétrica em salas de aula de uma universidade pública. O objeto deste estudo de caso foi um Centro de Estudos da Universidade Estadual de Londrina. Foram selecionados 3 tipos diferentes de salas de aula, que foram acompanhadas durante 3 semanas. Monitorou-se os usos de projetores, ventiladores, iluminação, computadores pessoais e celulares. Ao final concluiu-se que este consumo de computadores é relevante e não deve ser negligenciado nos estudos energéticos de edifícios.

Palavras-chave: Consumo de energia. Equipamentos. Sala de aula. Universidade.

Resumen

Uno de los factores más importantes en las incertidumbres entre el consumo real de los edificios y el estimado en simulaciones computacionales radica en la influencia de los usuarios durante el uso de los sistemas. Actualmente, en las aulas universitarias, los estudiantes utilizan cada vez más equipos como computadoras personales y teléfonos móviles, cuyo consumo de energía no se contabiliza en los modelos que estiman el consumo. Este estudio tuvo como objetivo levantar y evaluar los patrones de uso de la energía eléctrica en las aulas de una universidad pública. El objeto de este estudio de caso fue un Centro de Estudios de la Universidade Estadual de Londrina. Se seleccionaron 3 tipos diferentes de aulas, que fueron monitoreadas durante 3 semanas. Se monitorearon los usos de proyectores, ventiladores, iluminación, computadoras y teléfonos. Al final, se concluyó que el consumo de ordenadores es relevante y no debe ser descuidado en los estudios energéticos.

Palabras clave: Consumo de energía. Equipos. Aula. Universidad.

Abstract

One of the most important factors contributing to the discrepancies between the actual energy consumption of buildings and the estimates made through computational simulations is the influence of users during system operation. Currently, in university classrooms, students are increasingly using devices such as personal computers and mobile phones, whose energy consumption is often not accounted for in consumption models. This study aimed to survey and evaluate electricity usage patterns in university classrooms. The object of this case study was a Study Center at the State University of Londrina. Three different types of classrooms were selected, which were monitored over a two-week period. The use of projectors, fans, lighting, personal computers, and mobile phones was monitored during 3 weeks. The study concluded that the energy consumption of laptops is significant and should not be neglected in energy studies of buildings.

Keywords: Energy consumption. Equipment. Classroom. University.

1 Introdução

Nos estudos contemporâneos sobre eficiência energética, busca-se a caracterização detalhada dos edifícios analisados, com o intuito de compreender de que forma os usuários utilizam a energia elétrica para iluminação, equipamentos e climatização em ambientes distintos. Uma análise pormenorizada dos hábitos dos ocupantes permite maior precisão e efetividade na proposição de medidas voltadas à eficiência energética.

A literatura especializada tem destacado que o comportamento dos usuários constitui um dos principais fatores de incerteza na discrepância entre o consumo real de energia em edificações e os valores estimados por meio de simulações computacionais (Vecchi et al., 2017; Markovic et al., 2018; Ciappina et al., 2022; Bäcklund et al, 2023).

Estudos conduzidos por Hong et al. (2015) e O'Brien et al. (2017) indicam que ambientes com características físicas semelhantes podem apresentar variações significativas no consumo energético, em razão da diversidade de comportamentos dos usuários, especialmente no uso de janelas, sistemas de iluminação artificial, aparelhos de ar-condicionado e ventiladores.

Zhang et al. (2018) destacam a necessidade de compreender as atitudes dos ocupantes na operação dos sistemas das edificações, a fim de reduzir as incertezas associadas ao comportamento humano e aprimorar a previsão do desempenho energético.

Munaro e John (2024) apontam que as universidades constituem organizações complexas, policêntricas e multissetoriais, e que sua gestão energética representa uma oportunidade para o desenvolvimento de novas formas de governança, tornando-se um tema relevante em pesquisas nacionais e internacionais.

Conforme Quevedo et al. (2024) apontam que, embora o clima exerça influência sobre o consumo energético, este não representa, isoladamente, um fator determinante. Os usos finais da energia são comumente classificados em: iluminação, uso de tomadas e sistemas de climatização (HVAC), sendo este último o mais relevante. Destaca-se, ainda, a importância do monitoramento em tempo real desses sistemas, além da análise de variáveis associadas ao comportamento dos

ocupantes, à taxa de ocupação dos espaços, à utilização dos ambientes e à natureza das atividades acadêmicas desenvolvidas.

Nos edifícios destinados ao ensino superior, além da presença de ventiladores, projetores e sistemas de iluminação, observa-se o uso crescente de dispositivos eletrônicos pessoais, como computadores portáteis e celulares, utilizados diariamente pelos discentes (Capellin et al, 2018). Tais equipamentos têm potencial para impactar a demanda energética dessas edificações. Entretanto, os novos padrões de uso ainda não estão plenamente mapeados ou consolidados na literatura especializada.

Wang (2022), em estudo conduzido em instituições de ensino em Taiwan, identificou que os equipamentos classificados como Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) foram responsáveis por aproximadamente 7,3% a 7,7% do consumo total de energia elétrica. Dentro deste grupo, equipamentos de projeção, informática e rede responderam por mais de 90% do consumo total das TIC. Capellin et al (2018) chegaram a um percentual de 20,40% de consumo energético devido ao uso de dispositivos móveis em universidades.

Gul e Patidar (2015), por meio de pesquisa realizada na Universidade Heriot-Watt, em Edimburgo, constataram, com base em questionários aplicados, que 67% dos estudantes utilizavam laptops em sala de aula. Considerando o intervalo de uma década desde esse estudo, verifica-se uma intensificação no uso desses dispositivos, inclusive em países em desenvolvimento. Tal realidade reforça a necessidade de quantificação e qualificação do uso desses equipamentos em contextos educacionais.

2 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi levantar e avaliar padrões de uso da energia elétrica em salas de aula de uma universidade, quantificando o consumo por uso final.

3 Método

O presente estudo de caso teve como objeto de análise o Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) da Universidade Estadual de Londrina (UEL). O edifício em questão é composto por três

pavimentos (térreo e dois andares superiores), com planta em formato característico de 'H', semelhante à dos demais centros localizados no campus, conforme ilustrado Figuras 1 e 2. Encontra-se situado nas coordenadas S23°19'35.9" W51°11'54.0", com área construída total de 5.836 m^2.

Para a análise pormenorizada, foram selecionadas três salas de aula representativas, utilizadas por ao menos um dos cursos de graduação em Engenharia Civil, Engenharia Elétrica ou Arquitetura e Urbanismo. As salas selecionadas foram: 1006 (Figura 1), 1012 (Figura 2) e 1023 (Figura 1). Ressalta-se que todas as salas analisadas não possuem sistema de condicionamento artificial, característica prevalente neste tipo de sala do CTU e da UEL.

Figura 1: Planta térreo CTU



Fonte: Autores (2024)

Figura 2: Planta primeiro pavimento CTU



Fonte: Autores (2024)

3.1 Caracterização das Salas

A seleção das salas baseou-se em seus respectivos usos, de modo a contemplar diferentes dinâmicas de ocupação e atividades pedagógicas. A sala 1006 (Figura 3) é destinada a ateliês de projeto do curso de Arquitetura, com predominância de aulas práticas, sendo utilizada majoritariamente por discentes que fazem uso de computadores pessoais e celulares. Esta sala possui área de 106 m^2 e capacidade para 50 alunos. A sala 1012 (Figura 4), utilizada pelo curso de Engenharia Civil, apresenta características mistas, abrigando tanto atividades práticas quanto teóricas. Possui área de 70 m^2 e capacidade para 40 alunos. A sala 1023 (Figura 5), vinculada ao curso de Engenharia Elétrica, é utilizada prioritariamente para aulas teóricas, contando com área de 70 m^2 e capacidade para 60 alunos.

Figura 3: Sala 1006



Fonte: Autores (2024)

Figura 4: Sala 1012



Fonte: Autores (2024)

Figura 5: Sala 1023



Fonte: Autores (2024)

3.2 Equipamentos das salas e potências instaladas

A potência nominal de cada aparelho, bem como suas quantidades em cada sala, é indicada na Tabela 1, juntamente com o resultado da respectiva potência total instalada. A Tabela 2 apresenta a densidade de potência de cada sala considerando os equipamentos fixos.

Tabela 1: Equipamentos e potência instalada

item	Pot. Nominal (W)	1006	1012	1023
Projetor	300	1	1	1
Ventilador de teto	130	2	0	4
Ventilador de parede	150	1	1	0
Lâmpada LED	17	64	32	16
Potência Instalada (W)		**1798**	**994**	**1092**

Fonte: Autor (2024)

Tabela 2: Densidade de Potência (W/m²)

sala	Equipamentos fixos	iluminação
1006	6,69 W/m²	10,26 W/m²
1012	6,42 W/m²	7,77 W/m²
1023	3,88 W/m²	11,71 W/m²

Fonte: Autor (2024)

Para coletar dados em campo, adotou-se como princípio metodológico a não interferência no desenvolvimento regular das aulas, restringindo-se o procedimento à observação e ao registro dos eventos relacionados ao uso das tomadas ao longo das atividades. Os equipamentos utilizados foram os medidores T8 - Medidor de Consumo, Potência, Tensão e Corrente - distribuídos estrategicamente nas tomadas, conforme a utilização dos discentes. O monitoramento foi realizado de forma alternada durante três semanas, nas salas selecionadas. No total, foram utilizados quatro aparelhos para a execução deste estudo. As informações obtidas referem-se à potência demandada e ao consumo de energia elétrica.

3.4 Monitoramento em campo

Complementarmente ao monitoramento instrumental, foram realizadas anotações manuais relativas ao tempo de uso de ventiladores, projetores e lâmpadas, com o objetivo de levantar dados acerca do consumo global de energia elétrica durante as aulas, bem como observar o comportamento dos ocupantes, especialmente no que tange ao uso das tomadas.

4 Resultados

O monitoramento das salas foi realizado entre os dias 11 de março e 1º de abril de 2024, de forma alternada entre os três ambientes selecionados.

As condições climáticas ao longo do período caracterizaram-se, em sua maioria, por temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar. Nessas circunstâncias, os ventiladores disponíveis permaneceram em operação contínua, do início ao término das aulas. A única exceção ocorreu no dia 27 de março, quando o tempo se apresentou nublado, resultando na desativação dos ventiladores.

Durante o monitoramento, observou-se que os equipamentos mais comumente conectados às tomadas eram computadores pessoais. Identificou-se, também, um comportamento estocástico por parte dos discentes quanto ao uso de carregadores de celular, os quais eram utilizados para recargas breves — geralmente inferiores a dez minutos — tanto nas tomadas das salas quanto nas dos corredores. Computadores compartilhados entre grupos também eram conectados de forma intermitente à rede elétrica, devido à necessidade de movimentação do equipamento dentro da sala, por diferentes razões.

Verificou-se, ainda, que o desempenho dos equipamentos, em especial dos computadores pessoais, variava conforme a composição da turma e a natureza da atividade desenvolvida. Na sala 1006, por exemplo, estudantes do curso de Arquitetura e Urbanismo operavam majoritariamente softwares de modelagem tridimensional, enquanto na sala 1012, alunos de Engenharia Civil faziam uso de planilhas eletrônicas e programas de anotações textuais. Em função dessas particularidades, optou-se por calcular os valores de consumo de energia de forma individualizada, com base nas potências médias obtidas especificamente em cada sala, desconsiderando dados provenientes de outros ambientes.

As potências nominais dos equipamentos fixos — como lâmpadas, ventiladores e projetores — foram determinadas conforme os respectivos modelos. Para os carregadores de celulares, adotou-se uma potência média obtida a partir das observações realizadas nas três salas. Os valores utilizados nos cálculos apresentados nas seções seguintes foram: 17 W por lâmpada LED tubular; 130 W para ventilador de teto (marca Venti-Delta); 150 W para ventilador de parede (marca Ventisilva); 300 W para projetor Epson modelo PowerLite; e 6,49 W para carregadores de celular.

4.1 Análises das salas de aula

Na sala 1006, tanto em aulas expositivas, quanto nas atividades voltadas ao desenvolvimento de projetos, observou-se o uso intensivo de computadores pessoais por parte dos discentes, os quais os utilizavam para acompanhar os conteúdos e executar as tarefas propostas.

Esse ambiente apresentou características distintas em comparação às salas destinadas exclusivamente a aulas teóricas. O número de equipamentos conectados simultaneamente à rede elétrica era maior. Diante da limitação no número de tomadas disponíveis — inferior à quantidade de dispositivos em uso —, verificou-se a prática recorrente da utilização de extensões e filtros de linha, permitindo que dois ou mais computadores fossem alimentados por uma única tomada.

A sala 1012 apresentou predominância de aulas expositivas. Durante o monitoramento, foi observado o uso de computadores pessoais pelos discentes, principalmente para a tomada de notas e acompanhamento das atividades teóricas.

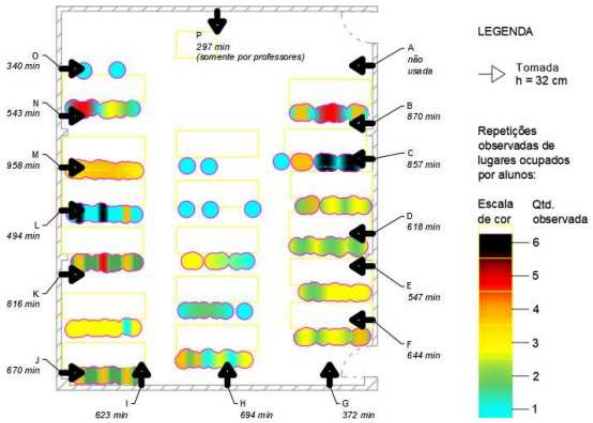
Na sala 1023, constatou-se que o uso das tomadas se restringiu, majoritariamente, ao carregamento de celulares. A principal exceção foi o uso de computadores pessoais pelos docentes para a operação do projetor multimídia, o que representou um ponto fixo de coleta de dados ao longo de todos os dias de monitoramento.

4.2 Mapeamento de ocupação

Durante os monitoramentos, foram registradas as posições ocupadas pelos discentes em cada aula, bem como os intervalos de tempo em que as tomadas foram utilizadas. Os dados coletados

foram organizados e representados nas Figuras 6, 7 e 8, por meio de mapas de calor. Esses mapas indicam os locais com maior frequência de ocupação e os respectivos tempos acumulados de uso nos pontos da rede elétrica monitorados.

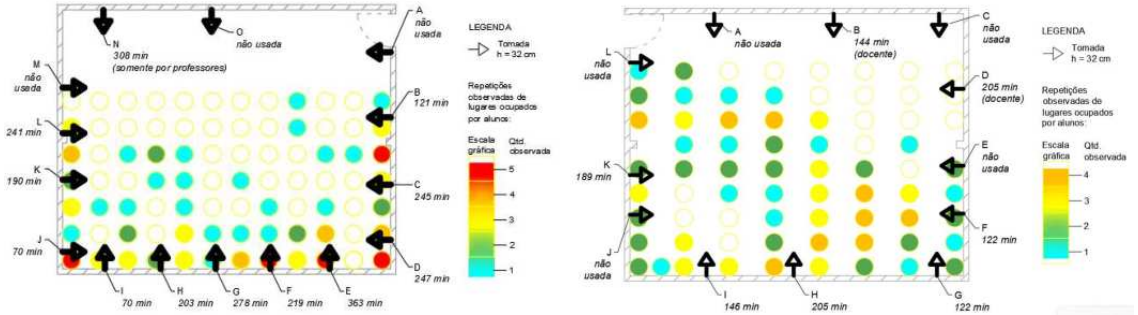
Figura 6: Ocupação dos alunos na sala e tempo de uso observado por tomada (sala1006)



Observou-se que, nas salas 1006 e 1012, os discentes tendem a se concentrar junto às paredes, em função da disponibilidade de tomadas nesses locais. Na sala 1023, por outro lado, a distribuição dos alunos no espaço foi mais homogênea ao longo das aulas monitoradas.

Na sala 1006, verificou-se o uso intensivo de praticamente todas as tomadas disponíveis. Em contraste, na sala 1023, diversas tomadas permaneceram sem utilização durante o período de três semanas de monitoramento.

Figura 7 e 8 : Ocupação dos alunos na sala e tempo de uso observado por tomada (sala1012 e sala 1023)



Fonte: Autor (2024)

4.3 Dados e cálculo de consumo

Inicialmente, foram compilados os dados referentes ao tempo de uso e ao consumo de energia, obtidos por meio dos medidores T8 disponíveis. Com base nos monitoramentos realizados ao longo do período, foi possível determinar a potência média dos computadores utilizados nas salas. Essa estimativa foi então aplicada ao cálculo do consumo de energia das tomadas que, embora tenham sido utilizadas, não puderam ser monitoradas diretamente em razão da limitação no número de medidores disponíveis.

Tabela 3: Potência medida computadores portáteis

Sala	Potência média computadores portáteis (W)
1006	46,92
1012	27,01
1023	25,84

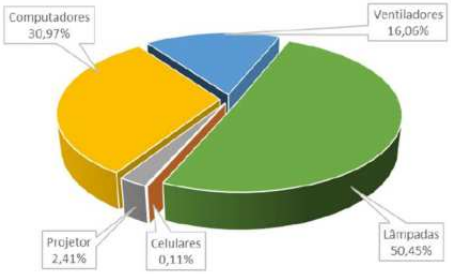
Fonte: Autor (2024)

Após o cálculo do tempo de uso e da potência média dos equipamentos, foi possível determinar o consumo de energia elétrica (em kWh) associado a cada uso nas salas analisadas.

Na sala 1006, conforme apresentado na Figura 9, verifica-se que os computadores portáteis representam uma parcela significativa do consumo total de energia, correspondendo a 30,97%. Esse resultado está associado ao uso intensivo desses equipamentos pelos alunos, bem como à execução de softwares de alta complexidade gráfica, que demandam maior desempenho computacional, refletido na potência média observada.

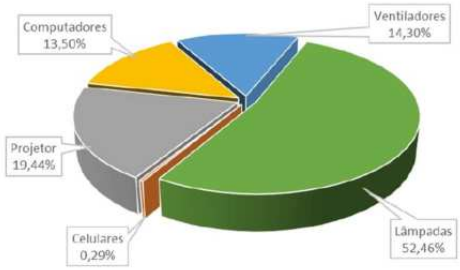
Na sala 1012, conforme ilustrado na Figura 10, o projetor e os computadores aparecem, respectivamente, como o segundo e o quarto maiores consumidores de energia, com participações de 19,44% e 13,50% no total. Tal comportamento decorre do uso misto da sala, alternando entre aulas teóricas e práticas, além da utilização de softwares com menor exigência energética em comparação àqueles empregados na sala 1006.

Figura 9: Consumo de energia por uso (1006)



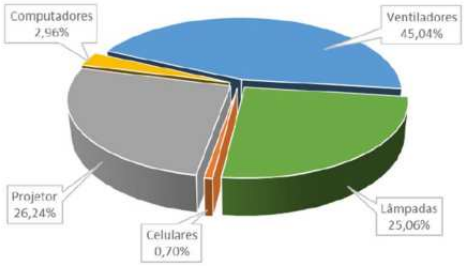
Fonte: Autor (2024)

Figura 10: Consumo de energia por uso (1012)



Fonte: Autor (2024)

Figura 11: Consumo de energia por uso (1023)



Fonte: Autor (2024)

Na sala 1023, conforme a Figura 11, os ventiladores representaram o maior percentual de consumo de energia elétrica, totalizando aproximadamente 45,04%. Esse resultado está relacionado à quantidade superior de equipamentos desse tipo em comparação às demais salas analisadas. O consumo associado aos computadores pessoais foi reduzido, atingindo apenas 2,96%, uma vez que os discentes não fizeram uso desses dispositivos durante as aulas. A iluminação, por sua vez, respondeu por 25,06% do consumo total da sala. Esse valor decorre da prática recorrente de desligamento parcial do sistema de iluminação durante aulas teóricas com uso de projeção, bem como da menor quantidade de lâmpadas instaladas nesse ambiente.

Nas salas 1006 e 1012, a iluminação foi responsável por aproximadamente 50% do consumo de energia. Nas três salas de aula o consumo com celulares foi baixo representando entre 0,11% a 0,7% do consumo total. Assim, pode-se resumir o consumo de energia com equipamentos e iluminação em um indicador de consumo/m^2 mostrado na Tabela 04. O indicador foi calculado

por aula, 50 minutos, por dia, por semana e por mês. Contabilizou-se 8 aulas por dia, cinco dias por semana, que é o uso habitual do CTU.

Tabela 04: Consumo de energia por equipamentos e iluminação

	Aula	Dia	Semana	Mês
Média consumo aula prática (1006)	18 Wh/m²	140 Wh/m²	730 Wh/m²	2940 Wh/m²
Média consumo aula mista (1012)	11 Wh/m²	88 Wh/m²	440 Wh/m²	1760 Wh/m²
Média de consumo aula teórica (1023)	10 Wh/m²	80 Wh/m²	400 Wh/m²	1600 Wh/m²

Fonte: Autores, 2025

5 Conclusão

Esta pesquisa teve como objetivo quantificar o uso de energia elétrica em salas de aula universitárias, considerando diferentes tipos de utilização, como aulas práticas com computadores pessoais e aulas teóricas com uso de projetores. Verificou-se que o consumo foi 40% maior nas aulas práticas.

O carregamento de celulares representou consumo mínimo, já que ocorre de forma esporádica e por curtos períodos. Por outro lado, a maioria dos estudantes utiliza os computadores conectados à rede elétrica durante todo o tempo em sala. O consumo, ao final de um mês, foi expressivamente maior na sala com mais computadores portáteis.

A iluminação correspondeu a quase 50% do consumo em duas salas e a cerca de 25% nas salas teóricas, onde parte do sistema era desligado durante projeções. Os ventiladores, acionados continuamente devido ao clima quente e seco, responderam por 25% a 45% do consumo, conforme a quantidade de aparelhos por sala.

Portanto, conclui-se que entender e quantificar os padrões reais de consumo é essencial para tornar os estudos de eficiência energética mais precisos e aderentes à realidade. Esta pesquisa focou alunos de cursos tecnológicos em período integral; para maior abrangência, recomenda-se investigar outros cursos, turnos e tipos de uso das salas. Sugere-se, ainda, que futuros estudos monitorem todas as tomadas para aumentar a precisão dos dados.

Referências

Bäcklund, K.; Molinari, M.; Lundqvist, P.; Palm, B. Building Occupants, Their Behavior and the Resulting Impact on Energy Use in Campus Buildings: A Literature Review with Focus on Smart Building Systems. **Energies**, 16, 6104, 2023. https://doi.org/10.3390/en16176104.

Capellin, F; Schenatto, F J A; Fernandes, M L; Ribeiro, M H D M. Impactos do uso de dispositivos móveis pessoais no consumo de energia elétrica em instituição de ensino superior. **VII Congreso Internacional de Conocimiento e Innovación**. Guadalajara, 24 -25 sept., 2018.

Ciappina, J. C. P.; Urbano, M. R.; Giglio, T. G. F. Determinação de padrões comportamentais na operação dos sistemas de iluminação e climatização em edifícios comerciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, jan/mar, p. 71-94, 2022.

Gul, M S; Patidar, S. Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building. **Energy and Buildings,** 87, 155–165, 2015.

Hong, T. et al. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 116, p. 694-702, mar. 2016.

Markovic, R. et al. Window opening model using deep learning methods. **Building and Environment,** v. 145, p. 319-329, nov. 2018.

Munaro, M. R; John, V. M. V. **Energy Efficiency in the Higher Education Institutions: A Review of Actions and Their Contribution to Sustainable Development**. In: Ungureanu et al. (Eds.): CESARE 2024, LNCE 489, pp. 207–217, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_19.

O'brien, W. et al. A preliminary study of representing the interoccupant diversity in occupant modelling. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 10, p. 509-526, 2017.

Quevedo, T.C; Geraldi, M.S; Melo, A.P; Lamberts, R. Benchmarking energy consumption in universities: A review. **Journal of Building Engineering**, Volume 82, 1 April 2024.

Vecchi, R. de et al. Thermal comfort in office buildings: findings from a field study in mixed-mode and fully-air conditioning environments under humid subtropical conditions. **Energy and Buildings**, v. 123, p. 672-683, oct. 2017.

Wang, J. C. Understanding the energy consumption of information and communications equipment: A case study of schools in Taiwan. **Energy**. Volume 249, 15 June 2022.

Zhang, Y. et al. Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: a review. **Energy and Buildings**, v. 172, p. 279-294, aug. 2018.