# CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE *CAMPI* UNIVERSITÁRIOS COM EDIFÍCIOS DE DIFERENTES USOS

**Marina da Silva Garcia (1); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (2); Ilka Afonso Reis (3)**
(1) Doutora, Arquiteta, marinagarcia.arq@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura da UFMG, Sala 124 - Rua Paraíba, 697, +55 (31) 34098825
(2) Doutora, Arquiteta, robertavgs@ufmg.br, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura da UFMG, Sala 124 - Rua Paraíba, 697, +55 (31) 34098825
(3) Doutora, Estatística, ilka@est.ufmg.br, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Estatística, +55 (31) 3409-5900

## RESUMO
O *benchmarking* é uma das ferramentas utilizadas para analisar o consumo relativo de energia de um edifício em relação a outros edifícios similares. No Brasil, uma das dificuldades para o desenvolvimento de sistemas de *benchmarking* baseado em dados medidos é a indisponibilidade das informações, pois não há base de dados públicas em relação ao consumo de energia elétrica dos edifícios. Este artigo tem por objetivo, então, apresentar parte da base de dados referente ao consumo de energia elétrica de edifícios de dois *campi* universitários da Universidade Federal de Minas Gerais. A metodologia utilizada foi o levantamento e organização de dados com a consideração do consumo de energia elétrica no período de cinco anos, de 2015 a 2019. Foi calculado o EUI médio de 61 edificações com usos distintos, como laboratórios, restaurante universitários e unidades acadêmicas. Os respectivos EUI foram agrupados por tipos de uso dos edifícios. Os EUI médios foram comparados aos EUI de outras tipologias e de outras universidades do mundo. Os resultados mostram que os EUI médios dos edifícios da universidade estudada são de aproximadamente duas a dez vezes inferiores aos de universidades em outros países. Entende-se que as discrepâncias percebidas têm grande influência do tipo de condicionamento dos prédios. Espera-se que o presente trabalho contribua para o entendimento acerca de dados medidos de EUI de universidade pública brasileira com complexidade de usos em seu conjunto de edifícios. Os resultados obtidos podem servir como referência para estudos futuros sobre consumo de energia em edifícios universitários e contribuir para o desenvolvimento e amadurecimento de métodos de *benchmarking* energético de edifícios no país.

Palavras-chave: *benchmarking* energético, campus universitário, dados medidos.

## ABSTRACT
*Benchmarking* is one of the tools used to analyze the relative energy consumption of a building in relation to other similar buildings. In Brazil, one of the difficulties for the development of *benchmarking* systems based on measured data is the unavailability of information since there is no public database regarding the electricity consumption of buildings. This article aims, then, to present part of the database referring to the consumption of electric energy of buildings of two university campuses of the Federal University of Minas Gerais. The methodology used was the collection and organization of data with the consideration of electricity consumption in the period of five years, from 2015 to 2019. The average EUI of 61 buildings with different uses, such as laboratories, university restaurants and academic units, was calculated. The respective EUI were grouped by types of building uses. The average EUI were compared to the EUI of other universities in the world. The results show that the average EUI of the buildings of the studied university are approximately two to ten times lower than those of universities in other countries. It is understood that the perceived discrepancies have a great influence on the type of conditioning of the buildings. It is expected that the present work will contribute to the understanding of measured data from the EUI of a Brazilian public university with complexity of uses in its set of buildings. The results obtained can serve as a reference for future studies on energy consumption in university buildings and contribute to the development and maturation of energy *benchmarking* methods of buildings in the country.
Keywords: energy benchmarking, university campus, measured data.

## 1. INTRODUÇÃO

A geração de energia é reconhecida como uma das atividades antropogênicas mais impactantes para o meio ambiente. No Brasil, em 2021, ano em que a matriz elétrica do país apresentou maior participação de fontes termelétricas por conta da escassez hídrica, o consumo final de energia elétrica aumentou 4,2% em relação ao ano de 2020, que havia decrescido 1% em relação a 2019 por conta da pandemia (EPE, 2021a; EPE, 2022). Os edifícios são responsáveis por 51% do consumo total de energia elétrica no Brasil, sendo que o setor público (incluindo prédios de instituições de ensino públicas) representa 8% desse consumo (EPE, 2021b). Assim, são necessárias medidas imediatas para controlar e reduzir a demanda de energia. Portanto, a investigação de processos e tecnologias em prol da eficiência energética na arquitetura e na construção civil pode contribuir para a mitigação dos impactos gerados por este setor (CAO; DAI; LIU, 2016).

Uma das ferramentas utilizadas para avaliar o consumo relativo de um edifício é o *benchmarking* que, segundo Khoshbakht, Gou e Dupre (2018), indica um ponto de referência e um limite para avaliar o desempenho do edifício em relação a uma métrica, ou seja, um indicador de desempenho. Segundo os autores, o *benchmarking* de edifícios energeticamente eficientes pode ser considerado um caminho inicial para a promoção do uso eficiente de energia, a partir da avaliação do desempenho dos edifícios existentes. Os indicadores, como o *Energy Use Intensity* (EUI) (em português, Intensidade de Uso de Energia) em kWh/m²/ano, fornecem informações que tornam os usuários, proprietários, equipe de gerenciamento ou os responsáveis pelo pagamento das contas de serviços públicos cientes do desempenho no uso de energia. Os resultados de um *benchmark* podem ser utilizados para encorajar os responsáveis por edifícios com baixa performance a adotar medidas de otimização, auxiliando no gerenciamento do uso de energia (CHUNG, 2011 e KHOSHBAKHT; GOU; DUPRE, 2018). Chung (2011) delimita dois tipos de sistemas de *benchmarking:* os públicos e os internos, a depender se o sistema resultante poderá ser utilizado publicamente ou não.

Em relação às tipologias de edificações, considera-se que os edifícios dos *campi* universitários são espaços com significativo potencial de contribuição em prol do desenvolvimento sustentável, devido à função social das universidades de capacitar os futuros tomadores de decisão da sociedade (MOHAMMADALIZADEHKORDE; WEAVER, 2018). Quando se aborda o consumo de energia em edificações universitárias, tem-se que a partir da implementação de mudanças na envoltória, no comportamento do usuário e nas definições de temperatura interna (*set-points*), Chung e Rhee (2014) identificaram potencial de economia de energia de 6% a 30% em edifícios universitários existentes da China. Com a adoção de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, Delvaeye *et al*. (2016) constataram economia de energia anual entre 18% e 46% em três salas de aula existentes na Bélgica, enquanto Kaminska e Ozadowicz (2018) verificaram a redução de consumo de iluminação artificial de 28% em edifícios de escritórios e 24% em edifícios educacionais existentes na Polônia. Estes estudos demonstram que estas edificações possuem significativo potencial de melhoria em eficiência energética.

No Brasil, reforça-se a importância de estudos acerca da eficiência energética em edifícios educacionais por conta da necessidade de redução dos custos de operação, desafio presente no gerenciamento das universidades, principalmente no âmbito público, por ocasiões comuns de contingenciamento orçamentário (DOU, 2019; PODER360, 2022). Os custos com energia assumem uma das maiores parcelas na operação e manutenção das instalações ao longo da vida útil dos edifícios (LEE; AUGENBROE, 2007). Assim, o entendimento das características de uso de energia e o desenvolvimento de um sistema de *benchmarking* podem contribuir para as questões financeiras relacionadas aos custos de manutenção e operação destes espaços.

No Brasil, o primeiro movimento no sentido de estudos em escala nacional referentes ao consumo energético de edifícios em uso e suas características deu-se com o projeto "Desempenho Operacional Energético em Edificações" do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), lançado em 2013 e desenvolvido em 2014. O estudo piloto advindo deste projeto referiu-se ao *benchmarking* de agências bancárias (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). Em 2015, foi desenvolvido o *benchmarking* de edifícios corporativos com base em uma parceria entre a Embaixada Britânica e o programa Procel. No ano seguinte, o projeto foi estendido para cobrir edifícios administrativos públicos em escala federal e municipal, a partir do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Em 2018, com o projeto META, administrado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), foi desenvolvida uma base de dados referente a características como densidades de instalação de iluminação e equipamentos de prédios de quinze tipologias. Em 2019, a partir da parceria entre a Eletrobrás e o comitê de energia do CBCS, foram incluídas informações do consumo de energia para as quinze tipologias (VEIGA *et al*., 2021) incluindo edifícios universitários. Os *benchmarks* do projeto podem ser acessados por meio da plataforma online https://plataformadeo.cbcs.org.br/ que podem ser acessados mediante cadastro junto ao CBCS.

Em evento *online*, foi apresentada a metodologia adotada pelo projeto de *benchmarking* energético do CBCS supracitado. Foram desenvolvidos arquétipos com base na avaliação do banco de dados da EPE e do CBCS. Foram realizadas simulações paramétricas e o desenvolvimento de equações de *benchmarking* com base em regressão multilinear. Bases de dados de parceiros e auditorias energéticas de alguns prédios foram utilizadas para a validação das equações desenvolvidas[1] (CBCS; ELETROBRÁS; PROCEL, 2021).

Paralelamente aos projetos do CBCS, pesquisadores têm desenvolvido trabalhos recentes referentes ao tema. Alves *et al.* (2017) apresentaram metodologia para o desenvolvimento de arquétipos para estimar *baselines* (valores de referência) de EUI de um estoque de edifícios de escritórios em escala municipal de Belo Horizonte, a partir da análise de parâmetros urbanísticos e visitas *in loco.* EUIs de 90 e 83 kWh/m²/ano foram estimados para prédios construídos entre 1940-1970 e 1980-1990, respectivamente. Prédios construídos após anos 2000 tiveram previsão de 93 kWh/m²/ano para prédios condicionados de modo misto e 142 kWh/m²/ano para queles com ar-condicionado central. Veloso, Souza e Santos (2020) desenvolveram *benchmarking* energético de torres de edifícios de escritórios de Belo Horizonte baseado em dados medidos de 127 edifícios, a partir da análise das contas de energia e das características dos edifícios. Foi verificado significativa diferença entre torres totalmente condicionadas artificialmente e aquelas com condicionamento misto ou natural, com EUI médio de 127 kWh/m²/ano e 57 kWh/m²/ano, respectivamente.

Veiga *et al.* (2021) afirmam que o Brasil ainda se encontra atrás de países como Estados Unidos e Índia no que se refere a políticas públicas para o incentivo de práticas sustentáveis em edifícios. O país ainda não possui uma política de abertura de dados de consumo energético do estoque de edificações. Assim, a obtenção de dados é considerada a principal dificuldade para o desenvolvimento de sistemas de *benchmarking* no contexto brasileiro (VEIGA *et al.,* 2021; VELOSO; SOUZA; SANTOS, 2020). Gnecco *et al*. (2022) afirmam que o investimento em *benchmarking* energético no país ainda é inicial e carece de maiores aportes. Portanto, entende-se que o Brasil tem obtido avanços recentes quanto ao *benchmarking* energético de edifícios e que a obtenção de dados medidos de edifícios reais se configura como um dos principais desafios para a o maior desenvolvimento e aperfeiçoamento dos métodos de *benchmarking* no país.

## 1.1. Eficiência energética e *benchmarking* energético de edifícios de ensino superior em outros países

Segundo Khoshbakht, Gou e Dupre (2018), os edifícios de instituições de ensino superior exercem importante papel para a criação de um futuro sustentável, por isso percebe-se crescente interesse no desenvolvimento de medidas em prol da sustentabilidade destes espaços, o que inclui sua eficiência energética. “De fato, as universidades podem servir como modelos e estudos de caso para programas e práticas que poderiam ser escalonados ao nível de um assentamento urbano inteiro, como um bairro (...) ou até mesmo um município” (MOHAMMADALIZADEHKORDE; WEAVER, 2018, p. 4, tradução nossa). Internacionalmente, muitas universidades têm trabalhado em temas relacionados ao desenvolvimento sustentável, o que inclui a avaliação de seu consumo de energia (MA; LU; WENG, 2015).

Wong *et al.* (2019) em estudo relativos a edificações de ensino, afirmam que, por conta da vasta quantidade do estoque de edifícios com diferentes níveis de complexidade, estes edifícios devem ser agrupados de acordo com diferentes categorias. Os estudos a apresentados a seguir mostram os tipos de categorias encontrados para a separação destes edifícios. Wang (2016) mostrou que o consumo de energia de edificações universitárias era de 3 a 4,9 vezes maior do que o de escolas de Taiwan, por conta de maiores períodos de utilização e maior carga instalada de equipamentos. Allab *et al*. (2017), reforçam que as análises de consumo de energia para edifícios educacionais devem ser feitas de forma separada para cada nível de formação.

Chung e Rhee (2014) analisaram o consumo de energia de onze edifícios de uma universidade em Seul, Coréia do Sul, de clima Dwa[2] de acordo com a classificação de Köppen e Geiger. Os prédios analisados eram condicionados artificialmente e foram construídos entre 1961 e 2011, com área total entre 3,5 a 40 mil m². Foi identificado EUI médio de 223 kWh/m²/ano considerando todo o *campus*. O menor EUI observado foi de 106 kWh/m²/ano, referente a um ginásio com escritórios, enquanto o maior foi 399 kWh/m²/ano, referente a um centro de TI. Considerando prédios de salas de aula, o EUI médio foi de 151 kWh/m²/ano. Estes abrigavam ensinos gerais e ciências sociais. Nos prédios onde indicou-se atividades de pesquisa e salas de aula, o EUI médio foi de 273 kWh/m²/ano. Estes abrigavam cursos das engenharias e saúde.

Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) apresentaram revisão de literatura sobre o consumo energético de edifícios de IES. Observou-se variação de 79 a 739 kWh/m²/ano entre os edifícios analisados, todos de climas

[1] O presente trabalho contribuiu com dados de consumo energético dos prédios da UFMG.

[2] Clima continental úmido de verão quente influenciado pelas monções.

subtropicais úmidos nos EUA, Coreia do Sul, China, Taiwan, Japão e Austrália. Não foi informado o tipo de condicionamento de ar dos edifícios. O maior consumo de energia foi de uma universidade norte-americana e o menor foi de Taiwan. O período considerado para as análises variou de 1 a 4 anos. A análise de 80 prédios do *campus* de uma universidade da Austrália em clima Cfa[3] revelou EUI médio de 170 kWh/m²/ano considerando todo o *campus*. O EUI médio considerando apenas os prédios de ensino foi de 145 kWh/m²/ano, enquanto para prédios de pesquisa, foi de 379 kWh/m²/ano (KHOSHBAKHT; GOU; DUPRE, 2018).

O Quadro 1 traz um resumo de trabalhos internacionais referentes ao consumo de energia em universidades e os valores de EUI médios encontrados. Os EUI médios variaram de 72 a 389 kWh/m²/ano. É possível observar que os trabalhos que apontam maior consumo se referem a locais de climas frios e países desenvolvidos economicamente. Os menores EUI foram encontrados em Taiwan, China e Malásia, países em desenvolvimento, em locais de clima mais quente. O tamanho da amostra de prédios analisados variou de 11 a 80 prédios.

Quadro 1 - Artigos internacionais sobre consumo de energia em edifícios universitários

| **Fonte** | **País** | **Clima Köppen (KOTTEK *et al*., 2006)** | **Cond. de ar** | **Amostra** | **EUI médio (kWh/m²/ano)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Wang (2016) | Taiwan | Cwa, Cfa, Cwb, Am e Aw (tropicais e temperados) | CA | 51 | 72 |
| Sekki, Airaksinen e Saari (2015) | Finlândia | Dfb (continental úmido com verão fresco) | CA | 13 | 229 |
| Li e Chen (2021) | Canada | Dfc (subártico sem estação seca) | CA | 24 | 389 |
| Ding *et al*. (2018) | China | Cfa (subtropical úmido) | CA | 18 | 91 |
| Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) | Australia | Cfa (subtropical úmido) | CA | 80 | 170 |
| Shukri, Jailani e Hauashdh (2022) | Malásia | Af (equatorial) | N/A | 13 | 108 |
| Chung e Rhee (2014) | Coréia do Sul | Dwa (continental úmido com verão quente) | CA | 11 | 223 |

CA: Condicionamento artificial (aquecimento ou refrigeração), N/A: Não informado.
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Em 2020, o programa americano *Energy Star* lançou o *Energy Star Higher Education Benchmarking Initiative,* com o objetivo de promover a eficiência energética e do uso água nos edifícios de instituições de ensino superior, de modo que as universidades pudessem entender seu desempenho nos consumos e compará-lo ao de outras instituições (ENERGY STAR, 2023a). Houve, até o momento, duas rodadas de coleta de dados, uma em 2020 e outra em 2022. O resumo do quadro de pontuações da rodada de 2022 aponta o cadastro de aproximadamente 88 *campi*, representando 51 instituições dos Estados Unidos e Canadá, de oito zonas climáticas conforme o *International Energy Conservation Code* (IECC) (ENERGU STAR, 2023b). Os dados referem-se a atividade do ano de 2021. A Tabela 1 mostra os dados de EUI médios indicados no relatório de acordo com a classificação climática. Os dados foram convertidos de kBTU/ft² para kWh/m².

Tabela 1 – EUI mediano de universidades conforme *Energy Star Higher Education Benchmarking Initiative*, ano base 2021.

| **Zona climática IECC** | **Amostra (excluindo *outliers*)** | **EUI (kWh/m²/ano) Percentil 50 (mediana)** |
|---|---|---|
| 1: Very Hot & 2: Hot | 26 | 192 |
| 3: Warm | 18 | 252 |
| 4: Mixed | 5 | 290 |
| 4: Mixed Marine | 19 | 319 |
| 5: Cool | 15 | 410 |
| 6: Cold | 6 | 303 |
| 7: Very Cold & 8: Subarctic | 1 | Não se aplica |

Fonte: Energy Star, 2023b.

Considerando todos os climas, observa-se EUI mediano médio de 294 kWh/m²/ano.

[3] Clima subtropical úmido, com verão quente.

## 2. OBJETIVO

Tendo em vista os desafios referentes à obtenção de dados medidos de edifícios existentes no cenário nacional, o presente artigo tem como objetivo apresentar parte da base de dados referente ao consumo de energia elétrica de edifícios existentes de *campi* da Universidade Federal de Minas Gerais. As intensidades de uso de energia elétrica (EUI) de 61 edifícios de diferentes tipos de uso dentro dos *campi* foram calculadas e comparadas aos EUI de outras universidades do mundo, a partir de informações da revisão de literatura.

O desenvolvimento da base de dados fez parte da criação de um método de *benchmarking* para *campi* universitário que integra consumo de energia e conforto térmico, que configurou pesquisa de doutorado desenvolvida na instituição (GARCIA, 2022).

## 3. MÉTODO

### 3.1. Levantamento de dados primários

O levantamento de dados primários envolveu a coleta de informações referentes ao consumo de energia elétrica dos prédios dos *campi* da UFMG em Belo Horizonte e sua organização, assim como o levantamento das áreas dos edifícios. A métrica considerada para o tratamento dos dados primários foi EUI (kWh/m²/ano), tendo em vista sua ampla utilização na literatura internacional. Para a contabilização de prédios, foram desconsideradas guaritas, casas de máquina e prédios cujos a UFMG não é responsável pelo pagamento das contas de energia elétrica, como os Hospitais do *campus* Saúde.

A obtenção dos consumos anuais de energia elétrica deu-se a partir das contas da companhia distribuidora (CEMIG) junto à Pró-Reitoria de Administração (PRA/UFMG) e ao Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI/UFMG). As contas de cinco anos (2015 a 2019) foram coletadas para a determinação de um consumo anual médio, para que o impacto de eventuais greves e paralizações fosse minimizado nas análises desenvolvidas. Os dados de 2020 e 2021 não foram considerados por conta da pandemia de COVID-19, que afetou o funcionamento de todos os edifícios da universidade.

Um dos prédios foi inaugurado em 2018 (CAD3), então seu consumo foi considerado apenas em 2019. Dois outros prédios passaram por retrofit do sistema de iluminação artificial a partir de editais da CEMIG (Medicina – 2017 e ICB -2018), com a troca de lâmpadas fluorescentes por LEDs em todo o prédio. Portanto, seus consumos foram considerados apenas no período após as intervenções. As áreas dos edifícios da UFMG foram obtidas por meio dos projetos arquitetônicos, cedidos pelo Departamento de Planejamento e Projetos (DPP/ UFMG).

Em um segundo momento, a contabilização e compatibilização das unidades consumidoras e dos seus respectivos edifícios foi feita, para que se pudesse posteriormente calcular o EUI de cada edifício. Tal etapa foi necessária pois, em alguns casos, houve prédios com mais de uma unidade consumidora e, em outros, unidades consumidoras que contabilizavam o consumo de mais de um prédio. Esta identificação foi realizada com o auxílio de funcionários do DEMAI/UFMG. Em um terceiro momento, realizou-se o cálculo do EUI para os edifícios da amostra, nas quais foram considerados o consumo de energia anual médio e a área construída total obtida pelos projetos arquitetônicos.

Por fim, os dados levantados foram analisados estatisticamente e agrupados em subconjuntos. Foi feita a divisão de prédios por tipo de atividade e análise de sua representatividade dentro do consumo do conjunto de edificações da UFMG em Belo Horizonte. Considerando que a Universidade comporta em seus espaços grande variedade de atividades, cada prédio foi classificado por tipo de atividade. Unidades Acadêmicas referem-se aos prédios onde há atividade de ensino e aprendizagem tradicional (salas de aula com carteiras e quadro), Laboratórios referem-se aos prédios cuja atividade é a de laboratórios de pesquisa, Administrativos referem-se aos prédios cuja atividade é a administrativa e Serviços/Outros referem-se aos prédios cujas funções sejam diferentes das opções anteriores, como restaurantes universitários. Buscou-se agrupar usos que apresentariam consumo de energia similares entre si. A amostra final de EUI contou com a totalidade dos edifícios dos usos Administrativo, Unidades Acadêmicas e Laboratórios. No caso dos edifícios de Serviço/Outros, não foram contemplados os edifícios das Moradias estudantis, o Espaço do Conhecimento, Centro Cultural e o Museu de História Natural.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. *Benchmark* energético simples dos edifícios da UFMG baseado na intensidade de consumo de energia

Em análise preliminar, o maior EUI observado foi de 445 kWh/m²/ano (referente a um Laboratório) e o menor de 1,32 kWh/m²/ano (referente à Biblioteca do *campus* Saúde, onde houve instalação de sistema de geração de energia fotovoltaica). Esta edificação foi, portanto, retirada das análises. Também foi retirado da amostra o EUI da praça de serviços, pois identificou-se que os dados de consumo se referiram apenas às áreas comuns, já que não é a UFMG que paga as contas das lojas existentes na referida praça. Então, a amostra estudada resultante foi de 61 edifícios. As Figuras 2 e 3 mostram o EUI (kWh/m²/ano) médio dos edifícios estudados dos *campi*, considerando a série temporal de 2015 a 2019.

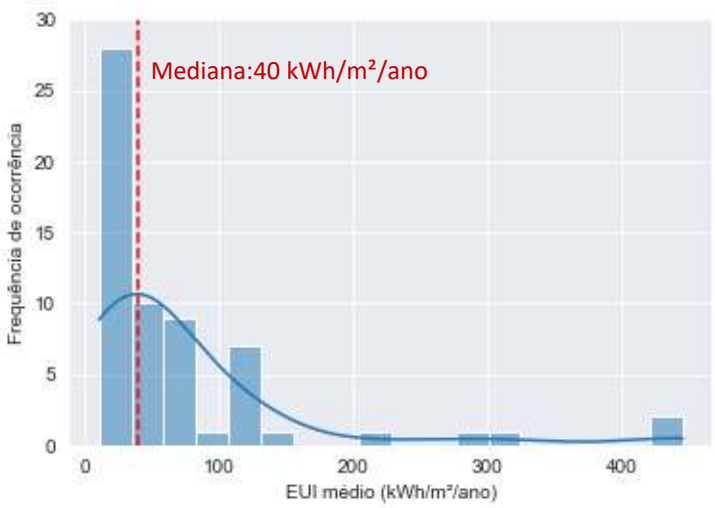



Figura 2 - Frequência de ocorrência de EUI médio (kWh/m²/ano) da amostra de edifícios da UFMG em Belo Horizonte (série temporal de 2015 a 2019)

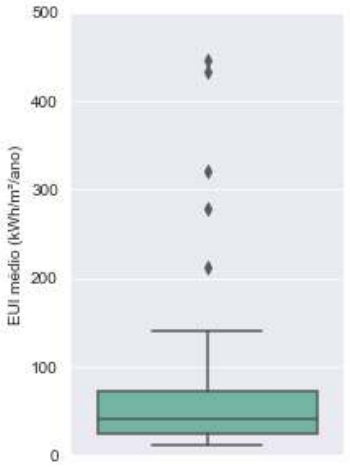



Figura 3 - EUI médio (kWh/m²/ano) campi UFMG em Belo Horizonte (série temporal de 2015 a 2019)

Assim, a média de EUI do conjunto de prédios foi de 74 kWh/m²/ano e a mediana 40 kWh/m²/ano. Como visto na literatura, o EUI mediano pode ser considerado como *benchmark* de consumo dos *campi* como um todo. No entanto, percebe-se que a distribuição de frequências de EUI médio é assimétrica com cauda à direita – existe maior concentração de prédios com EUI menores do que 100 kWh/m²/ano. A Universidade comporta diversos tipos de atividades que apresentam diferentes intensidades do uso de energia. Por isso, o EUI dos edifícios analisados foi agrupado de acordo com as atividades exercidas nos mesmos (Figura 4).

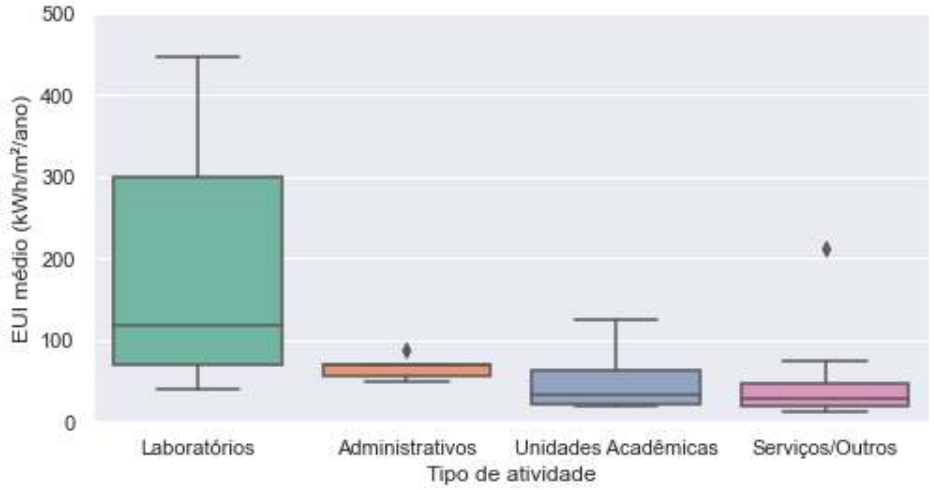



Figura 3 - EUI médio (kWh/m²/ano) por tipo de atividade.

A partir da Figura 3, pode-se observar, em relação à variabilidade de EUI, que a tipologia com maior uniformidade é a dos prédios Administrativos. Nota-se, como esperado, que a tipologia de

Laboratórios possui a maior variabilidade e maiores EUI devido à existência de equipamentos de elevada carga elétrica nestes espaços. A variabilidade indica que existem diferentes tipos de laboratórios nos quais são exercidas atividades com diferentes demandas energéticas. De forma complementar, a Tabela 2 apresenta os valores totais de área construída e de consumo de energia elétrica anual médio de cada tipologia estabelecida. Os valores de EUI estabelecidos na Tabela 2 também podem ser considerados como *benchmarks* simples por tipo de uso, assim como observado na literatura.

Tabela 2 - Área construída total e consumo anual total de energia elétrica das edificações da UFMG em Belo Horizonte

| Tipos | Qt. | Área Construída (m²) | Prop. em relação à área total (%) | Consumo anual total médio (kWh/ano) | Prop. em relação ao consumo total (%) | EUI (kWh/m²/ano) mediano (*benchmarks*) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Unidades Acadêmicas | 27 | 398.740 | 75% | 24.388.979 | 73% | **33** |
| Laboratórios | 11 | 21.072 | 4% | 3.243.586 | 10% | **119** |
| Administrativos | 5 | 29.512 | 6% | 2.070.012 | 6% | **68** |
| Serviços/Outros | 18 | 85.334 | 16% | 3.484.236 | 10% | **28** |
| Total | 61 | 534.659 | 100% | 33.186.813 | 100% | **40** |

Percebe-se que, em relação ao EUI (kWh/m²/ano), os Laboratórios consomem, em média, de 2 a 5 vezes mais do que as demais tipologias (aproximadamente 4 vezes mais do que as Unidades Acadêmicas). No entanto, representam apenas 4% da área 168 total construída e 10% do consumo energético dos prédios analisados. Já as Unidades Acadêmicas apresentam 75% da área construída e 73% do consumo anual de energia elétrica.

### 4.3. Análise comparativa do EUI médio das edificações da UFMG com edifícios universitários de outros países

Em relação à elaboração da base de dados, pode-se considerar que as amostras utilizadas de 61 prédios para os *campi* como um todo e de 27 prédios para as Unidades Acadêmicas têm tamanhos similares e, em vezes, superiores aos utilizados por trabalhos anteriores, como os de Li e Chen (2021), Wang (2016) e Chung e Rhee (2014), que utilizaram 24, 51 e 11 prédios, respectivamente. A escala da área construída dos edifícios analisados da UFMG (aproximadamente 2 mil a 40 mil m²) também foi similar à utilizada por Chung e Rhee (2014), que analisaram prédios de 3,5 a 40 mil m². A revisão de literatura de Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) mostrou que os estudos de *benchmarking* em edifícios educacionais consideraram a média de consumos anuais de 1 a 4 anos. De maneira similar, o presente estudo utilizou o consumo médio de 5 anos. A Tabela 3 mostra os EUI médios da UFMG em Belo Horizonte junto a outros indicados na literatura.

Em ralação a edifícios de mesmo tipo de uso, o EUI médio mediano total dos *campi* da UFMG em Belo Horizonte é aproximadamente 10 vezes inferior aos dos Estados Unidos, considerando o clima "*Cool*" e 6 vezes inferior considerando o clima "*Warm*". Ainda, é 4 vezes inferior comparado ao EUI do *campus* na Austrália e 2 vezes inferior aos EUI de *campus* em Taiwan e China (KHOSHBAKHT; GOU; DUPRE, 2018, WANG, 2016 e DING *et al*., 2018). Em relação aos tipos de uso dos prédios, as Unidades Acadêmicas da UFMG apresentaram EUI médio aproximadamente 4 vezes inferior às do estudo de Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) na Austrália e 4,5 vezes inferior às indicadas por Chung e Rhee (2014) na Coréia do Sul. Percebe-se como principal diferença, além do clima, o tipo de condicionamento dos edifícios. Enquanto nos estudos internacionais os *campi* são condicionados de forma artificial, na UFMG a maior parte dos edifícios é ventilada naturalmente. Em relação a todos os estudos elencados, o EUI médio total da UFMG foi mais próximo ao do estudo em Taiwan, onde havia prédios em cidade com a mesma classificação climática de Belo Horizonte. Notou-se grande diferença em relação ao EUI das universidades Norte Americanas, ainda que, no ano de 2021, 82% das universidades tenham indicado ter sofrido impacto da pandemia de COVID-19 na operação de seus edifícios (ENERGY STAR, 2023b). Ou seja, em períodos sem adversidades, certamente as discrepâncias seriam ainda maiores.

No estudo de Khoshbakht, Gou e Dupre (2018), os prédios de laboratórios apresentaram EUI médio aproximadamente 2,5 vezes maior do que os prédios de unidades acadêmicas. No caso da UFMG, esta proporção foi de 3,6 vezes. Sartor *et al.* (2000) indicaram que prédios de laboratórios podem consumir de 4 a

100 vezes mais por área do que outros edifícios. Portanto, a diferença percebida no presente estudo está congruente com trabalhos anteriores da literatura.

Tabela 3 – Valores de EUI médios medianos calculados para a UFMG, os valores de EUI relatados por pesquisas anteriores, seus climas e amostras consideradas

| **Fonte** | **País** | **Clima Köppen (KOTTEK *et al*., 2006)** | **Cond. de ar** | **Qt.** | **EUI médio mediano (kWh/m²/ano)** |
|---|---|---|---|---|---|
| UFMG | Brasil | Cwa | | | |
| TOTAL | | | CA, VN e M | 61 | 40 |
| UNID. ACADÊMICAS | | | VN e M | 27 | 33 |
| LABORATÓRIOS | | | - | 11 | 119 |
| ADMINISTRATIVOS | | | - | 5 | 68 |
| SERVIÇS/OUTROS | | | - | 19 | 24 |
| Wang (2016) | Taiwan | Cwa, Cfa, Cwb, Am e Aw | CA | 51 | 72 |
| Sekki, Airaksinen e Saari (2015) | Finlândia | Dfb | CA | 13 | 229 |
| Li e Chen (2021) | Canada | Dfc | CA | 24 | 389 |
| Ding *et al*. (2018) | China | Cfa | CA | 18 | 91 |
| Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) | Australia | Cfa | - | - | - |
| TOTAL | | | CA | 80 | 170 |
| UNID. ACADÊMICAS | | | CA | - | 145 |
| LABORATÓRIOS | | | CA | - | 379 |
| Shukri, Jailani e Hauashdh (2022) | Malásia | Af | CA | 13 | 108 |
| Chung e Rhee (2014) | Coréia do Sul | Dwa | - | - | - |
| TOTAL | | | CA | 11 | 223 |
| UNID. ACADÊMICAS | | | CA | - | 151 |
| UNID. ACADÊMICAS COM LABS. | | | CA | - | 273 |
| Energy Star (2023b) | EUA, Canadá | | - | - | - |
| IECC *Warm* | | Variado | - | 18 | 252 |
| IECC *Mixed* | | Variado | - | 5 | 290 |
| IECC *Cool* | | Variado | - | 15 | 410 |

CA: Condicionamento artificial (aquecimento ou refrigeração), VN: Ventilação Natural, M: Misto e N/A: Não informado.
Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Em relação aos edifícios de uso administrativo localizados nos *campi* estudados, é possível traçar um comparativo com os estudos de *benchmarking* desenvolvidos por Veloso, Souza e Santos (2020) em torres de prédios de escritórios em Belo Horizonte. Os autores calcularam EUI médio de 57 kWh/m²/ano para prédios ventilados de modo natural ou misto. Nessa perspectiva, os prédios administrativos da UFMG, com EUI médio mediano de 68 kWh/m²/ano, possuem consumo de energia próximo ao das torres de escritórios da cidade de Belo Horizonte.

## 5. CONCLUSÕES

O *benchmarking* é uma das ferramentas utilizadas para analisar o consumo relativo de energia de um edifício em relação a outros edifícios similares. No Brasil, uma das dificuldades para o desenvolvimento de sistemas de *benchmarking* baseado em dados medidos é a indisponibilidade das informações, pois não há base de dados públicas em relação ao consumo de energia elétrica dos edifícios. O objetivo deste artigo foi apresentar parte da base de dados referente ao consumo de energia elétrica de edifícios de *campi* universitários existentes, de

uma instituição pública brasileira. Os dados de EUI de cinco anos foram analisados em termos gerais e agrupados por tipos de uso dos edifícios.

Os resultados mostraram que, comparativamente a outras instituições de ensino superior no mundo, o EUI dos edifícios analisados pode ser considerado baixo, variando de 10 a 2 vezes inferior aos EUI médios de países como Estados Unidos e Taiwan. Assim como na literatura, os edifícios de laboratórios apresentaram maior intensidade de consumo de energia, com EUI 3,6 vezes maior do que o dos edifícios de unidades acadêmicas Entende-se que as discrepâncias percebidas entre os EUI das universidades internacionais com os da UFMG têm influência do clima, do tipo de condicionamento dos prédios, além do nível de desenvolvimento dos países. Assim, nota-se a importância de estudos sobre os modos de condicionamento de ar dos edifícios universitários brasileiros, assim como estudos referentes ao conforto térmico nesses espaços, pois há a possibilidade de haver edifícios ventilados naturalmente com baixa intensidade de consumo de energia, porém com altos níveis de desconforto térmico pelos usuários. Estes aspectos fazem parte do escopo da pesquisa de doutoramento da qual o presente artigo fez parte, e os resultados podem ser encontrados em Garcia (2022).

Espera-se que o presente trabalho contribua para o entendimento acerca de dados medidos de EUI de universidade pública brasileira com complexidade de usos em seu conjunto de edifícios. Os resultados obtidos podem servir como referência para estudos futuros sobre consumo de energia em edifícios universitários e contribuir para o desenvolvimento e amadurecimento de métodos de *benchmarking* energético de edifícios no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


SOBRENOME, Nome C. Formato ABNT, no estilo “ENCAC Referências”.

ALLAB, Y.; PELLEGRINO, M.; GUO, X.; NEFZAOUI, E.; KINDINIS, A. Energy and comfort assessment in educational building: Case study in a French university campus. **Energy and Buildings**, v. 143, p. 202–219, 2017.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82–91, 2014.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS); PROCEL; ELETROBRAS. **Ficha técnica**: Equações de benchmark – Tipologia Universidade e Instituição de Ensino Técnico. 2021a. Disponível em: <https://plataformadeo.cbcs.org.br/universidade-e-instituicao-de-ensino-tecnico-geral/>. Acesso em: jun 2022.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.

CHUNG, W. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. **Applied Energy**, v. 88, n. 5, p. 1470–1479, 2011.

CHUNG, M.H.; RHEE, E.K. Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university campus: A field survey in Korea, **Energy Build**., v. 78, p. 176–182, 2014.

DELVAEYE, R.; RYCKAERT, W.; STROOBANT, L.; HANSELAER, P.; KLEIN, R.; BREESCH, H. Analysis of energy savings of three daylight control systems in a school building by means of monitoring. **Energy and Buildings**, v. 127, n. June, p. 969–979, 2016.

DING, Y.; ZHANG, Z.; ZHANG, Q.; et al. Benchmark analysis of electricity consumption for complex campus buildings in China. **Applied Thermal Engineering**, v. 131, p. 428–436, 2018.

DOU - DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, Publicado em: 29/03/2019 | Edição: 61-A | Seção: 1 - Extra | Página: 1, Órgão: Atos do Poder Executivo. **Decreto nº 9.741, de 29 de março de 2019**.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. 2021a. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **BEN Relatório síntese 2021**: ano base 2020. 2021b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>. Acesso em: jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **BEN Relatório síntese 2022**: ano base 2021. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: jul. 2022.

ENERGY STAR. The ENERGY STAR Higher Education Benchmarking Initiative. 2023a. Disponível em: <https://www.energystar.gov/buildings/resources_audience/colleges_universities/hebi>. Acesso em: abr. 2023.

ENERGY STAR. Higher Education Benchmarking Initiative (HEBI) Summary Scorecard Round 2. 2023b. Disponível em: < https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy_star_higher_education_benchmarking_initiative_round_2_summary_scorecard>. Acesso em: abr. 2023.

GARCIA, M. S. **Consumo de energia e conforto térmico em campus universitário: uma proposta de benchmarking**. 2022. 295f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

GNECCO, V. M.; GERALDI, M. S.; FOSSATI, M.; TRIANA, M. A. Comparison between national and local benchmarking models: The case of public nursery schools in Southern Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 78, n. December 2021, p. 103639, 2022.

KAMINSKA, A.; OZADOWICZ, A. Lighting control including daylight and energy efficiency improvements analysis. **Energies,** v. 11, n. 8, 2018.

KHOSHBAKHT, M.; GOU, Z.; DUPRE, K. Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings. **Energy and Buildings**, v. 164, p. 61–76, 2018.

LI, S.; CHEN, Y. Internal benchmarking of higher education buildings using the floor-area percentages of different space usages. **Energy & Buildings,** v. 231, p. 1–9, 2021.

LEE, S.H.; AUGENBROE, G. Energy Performance Evaluation of Campus Facilities. In: COBRA 2007, Londres. **Anais…** Londres: RICS, 2007. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/01c9/3c94fb74b7d5ef5dd18572a37e07ee079455.pdf>. Acesso em: mar. 2019.

MOHAMMADALIZADEHKORDE, M.; WEAVER, R. Universities as Models of Sustainable Energy-Consuming Communities? Review of Selected Literature. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 9, p. 1–17, 2018.

PODER360. **Governo Bolsonaro corta R$ 3,2 bilhões do MEC**. 2022. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/economia/governo-bolsonaro-corta-r-32-bilhoes-do-mec/>. Acesso em: jul. 2022.

SEKKI T.; AIRAKSINEN M.; SAARI A. Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city. **Energy Build**, v. 87, p. 105–115, 2015.

SHUKRI, M. A. M.; JAILANI, J.; HAUASHDH, A. Benchmarking the Energy Efficiency of Higher Educational Buildings: A Case Study Approach. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 12, n. 2, p. 491–496, 2022.

VEIGA, R. K.; VELOSO, A. C.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Application of machine learning to estimate building energy use intensities. **Energy and Buildings**, v. 249, p. 111219, 2021.

VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G; SANTOS, F. N. Energy benchmarking for office building towers in mild temperate climate. **Energy and Buildings**, v. 222, p. 12–14, 2020.

WANG, J. C. A study on the energy performance of school buildings in Taiwan. **Energy & Buildings**, v. 133, p. 810–822, 2016.

WONG, I. L.; KRÜGER, E.; LOPER, A. C. M.; MORI, F. K. Classification and energy analysis of bank building stock: A case study in Curitiba, Brazil. **Journal of Building Engineering**, v. 23, n. February, p. 259–269, 2019.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do CNPq. Agradecemos à Universidade Federal de Minas Gerais pela concessão dos dados e ao Projeto OASIS UFMG.