



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARIANA ROLIM GUERRA

***BENCHMARKING* ENERGÉTICO PARA EDIFICAÇÕES
HOTELEIRAS DA CIDADE DE LONDRINA-PR**

Londrina
2022

MARIANA ROLIM GUERRA

***BENCHMARKING* ENERGÉTICO PARA EDIFICAÇÕES
HOTELEIRAS DA CIDADE DE LONDRINA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Thalita Gorban Ferreira Giglio

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Guerra, Mariana Rolim.

Benchmarking energético para edificações hoteleiras da cidade de Londrina-PR / Mariana Rolim Guerra. - Londrina, 2022.
91 f. : il.

Orientador: Thalita Gorban Ferreira Giglio.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Hotéis - Tese. 2. *Benchmark* - Tese. 3. Indicadores de desempenho - Tese. 4. Desempenho energético em uso - Tese. I. Giglio, Thalita Gorban Ferreira. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 69

MARIANA ROLIM GUERRA

***BENCHMARKING* ENERGÉTICO PARA EDIFICAÇÕES
HOTELEIRAS DA CIDADE DE LONDRINA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^ª. Dra. Thalita Gorban Ferreira
Giglio
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof^ª. Dra. Camila Gregório Atem
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof^ª. Dra. Michele Fossati
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

Londrina, 24 de agosto de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao marido Reinaldo, à mãe Silvana e ao irmão Álvaro por acreditarem em mim até quando eu mesma deixo de acreditar.

Ao sobrinho Raul e à afilhada Manuela por terem sido meu arco-íris durante o período sem cor da pandemia.

À família e aos amigos que foram rede de apoio, em especial ao querido Wilson.

À orientadora Thalita por todo conhecimento técnico compartilhado e pelo ótimo exemplo profissional.

À Universidade Estadual de Londrina por mais uma oportunidade de aprimoramento.

R. GUERRA, Mariana. **Benchmarking energético para edificações hoteleiras da cidade de Londrina-PR**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina.

RESUMO

As edificações hoteleiras possuem a ocupação dos apartamentos como sua principal variável de consumo, a qual se apresenta de forma aleatória, implicando em demandas flutuantes de energia e dificultando a busca por um modelo preciso de consumo energético. Esta pesquisa propôs modelos de *benchmarking* energético locais para edifícios hoteleiros, tendo como estudo de caso cinco edificações hoteleiras da cidade de Londrina-PR. Para isso, foi realizada a coleta de informações para caracterização das edificações da amostra por meio de questionários, entrevistas com os gestores, visitas no local e análise de projetos. Foram elaborados indicadores de intensidade de consumo de energia em operação com base em área construída (EUI), quantidade de diárias (EUI_D), área média dos apartamentos (EUI_{AM}) e número de apartamentos (EUI_{APTO}) para identificar aquele que mais se aproxima do desempenho real dos hotéis da amostra. Foi utilizada regressão linear múltipla como ferramenta matemática para obtenção de equações de *benchmark*, as quais foram elaboradas tendo como variáveis respostas o consumo energético anual e os indicadores EUI, EUI_{AM} e EUI_{APTO}. Esses modelos apresentaram, respectivamente, os valores de coeficiente de determinação de 0,97; 0,91; 0,92 e 0,81, valores que embasaram a escolha das melhores equações. A escala do *benchmarking* local adotada dividiu a amostra em três níveis de desempenho energético operacional sendo eficiente, típico e ineficiente. Das cinco edificações hoteleiras, duas foram classificadas como ineficiente em todos os modelos de *benchmarking* analisados, indicando potencial de melhoria por meio de medidas de eficiência energética. Outras duas como típicas em todos os modelos. E a última alternou sua classificação entre ineficiente e típica. Por fim, os resultados obtidos em um dos modelos de *benchmarking* gerados foram comparados com os obtidos pelo método nacional exposto pela Plataforma de Desempenho Energético Operacional – DEO e as diferenças entre eles expuseram a necessidade de realização do *benchmarking* local para essa amostra com o objetivo de se obter resultados mais precisos de desempenho.

Palavras-chave: hotéis; *benchmarking* energético; indicadores energéticos; desempenho energético em uso.

R. GUERRA, Mariana. **Energy benchmarking for hotel buildings in the city of Londrina-PR**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina.

ABSTRACT

Hotel buildings have the occupancy of apartments as their main consumption variable, which is presented randomly, implying fluctuating energy demands and making it difficult to search for an accurate model of energy consumption. This research proposed local energy benchmarking models for hotel buildings, having as a case study five hotel buildings in the city of Londrina-PR. For this, information was collected to characterize the buildings in the sample through questionnaires, interviews with managers, site visits and project analysis. Indicators of energy consumption intensity in operation were prepared based on built area (EUI), number of daily rates (EUID), average area of apartments (EUIAM) and number of apartments (EUIAPTO) to identify the one that most closely matches the performance. sample hotels. Multiple linear regression was used as a mathematical tool to obtain benchmark equations, which were prepared having as response variables the annual energy consumption and the EUI, EUIAM and EUIAPTO indicators. These models presented, respectively, the values of coefficient of determination of 0.97; 0.91; 0.92 and 0.81, values that supported the choice of the best equations. The adopted local benchmarking scale divided the sample into three levels of operational energy performance being efficient, typical and inefficient. Of the five hotel buildings, two showed an inefficient level in all benchmarking models analyzed, indicating potential for improvement through energy efficiency measures. Another two were classified as typical in all models. And the last one alternated its classification between inefficient and typical. Finally, the results obtained in one of the generated benchmarking models were compared with those obtained by the national method exposed by the Operational Energy Performance Platform - DEO and the differences between them exposed the need to carry out local benchmarking for this sample with the objective of to obtain more accurate performance results.

Keywords: hotels; energy benchmarking; energy indicators; energy performance in use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método de pesquisa.	42
Figura 2 – Localização na cidade de Londrina das 5 edificações hoteleiras da amostra.	46
Figura 3 – Escala de desempenho energético <i>benchmarking</i> local.	54
Figura 4 – Escala de desempenho energético <i>benchmarking</i> nacional (Projeto DEO).	56
Figura 5 – Escala de desempenho energético para o Modelo 2 do <i>benchmarking</i> local.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico de EUI em edificações hoteleiras.	28
Tabela 2 – Comparação entre a média mensal de consumo por setor no ano de 2020 e o consumo no mês de março de 2022 na cidade de Londrina.	57
Tabela 3 – Consumo do setor de alojamentos em março de 2022.	59
Tabela 4 – Resumo de dados das edificações hoteleiras da amostra para o ano de 2019.	60
Tabela 5 – Modelos de <i>benchmarkings</i> locais.	70
Tabela 6 – Resumo das informações de H01 e H02 para aplicação da metodologia nacional.	74
Tabela 7 – Valores de EUI (kWh/m ²) nos diferentes cenários do estudo para o ano de 2019.	75
Tabela 8 – Valores de EUI (kWh/m ²) calculado e limites do intervalo “Típico” para a metodologia nacional.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados levantados para o <i>benchmark</i> local.	48
Quadro 2 – Indicadores de intensidade de uso energético a serem analisados no estudo.	49
Quadro 3 – Escala de valores para coeficiente de correlação.	51
Quadro 4 – Classificação das edificações no ano de 2019.....	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição de consumo de energia elétrica nos setores Comercial e Público em 2030.	22
Gráfico 2 – Distribuição de despesas operacionais em hotéis.	22
Gráfico 3 – Distribuição de energia por uso final em um hotel na Itália (A) e em um hotel em Portugal (B).	23
Gráfico 4 – Distribuição de energia por uso final em três hotéis da cidade de São Paulo.....	24
Gráfico 5 – variação de EUI médio de hotéis	31
Gráfico 6 – Distribuição de consumo de energia elétrica por setor na média mensal do ano de 2020 (A) e em março de 2022 (B).	59
Gráfico 7 – Distribuição dos tipos de estabelecimentos de alojamento (A) e do consumo por tipo (B) na cidade de Londrina em março de 2022.	60
Gráfico 8 – Relação entre EUI e a taxa de ocupação.....	63
Gráfico 9 – Distribuição de consumo mensal de energia elétrica das edificações da amostra.	64
Gráfico 10 –Análise de correlação entre os consumos das unidades da amostra.	65
Gráfico 11 –Variação dos indicadores EUI (A), EUI _D (B), EUI _{AM} (C) e EUI _{APTOS} (D) nos anos de 2019, 2020 e 2021.....	67
Gráfico 12 –Valores de EUI para edificações hoteleiras verificados na literatura em azul e valores de EUI das edificações da amostra para 2019 em laranja.	69
Gráfico 13 – Comparação entre os valores observados e os calculados pela equação do Modelo 1 (A), do Modelo 2 em (B), do Modelo 3 em (C) e do Modelo 4 em (D).....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANN:	Artificial Neural Network
BEM:	Building Energy Model
CAAE:	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CB3E:	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CBCS:	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CONEP:	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
DEA:	Data Envelopment Analysis
DEO:	Desempenho Operacional de Edificações
DMU:	Decision-Making Units
ENCE:	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE:	Empresa de Pesquisa Energética
EUI:	Energy Use Intensity
GDA:	Graus-Dia de Aquecimento
GHR:	Graus-Hora de Resfriamento
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INI-C:	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INI-R:	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
INMETRO:	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MLR:	Multiple Linear Regression
PBE:	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIB:	Produto Interno Bruto
RNA:	Redes Neurais Artificiais
PROCEL:	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C:	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R:	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SFA:	Stochastic Frontier Analysis
SSF:	Systematic Search Flow
TCLE:	Termo de Conhecimento Livre Esclarecido

WTTC: World Travel & Tourism Council

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVOS GERAIS	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	CONSUMO DE ENERGIA PELO SETOR HOTELEIRO	21
3.2	<i>BENCHMARKINGS</i> ENERGÉTICOS	24
3.2.1	Indicadores de Desempenho Energético de Edificações	26
3.2.2	Métodos de <i>Benchmarking</i> energético	32
3.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	40
4	METODOLOGIA	42
4.1	COLETA DE DADOS	43
4.1.1	Questionários	44
4.1.2	Levantamento de Dados para a Aplicação da Metodologia Nacional	46
4.1.3	Consolidação dos Dados Finais	47
4.2	DESENVOLVIMENTO DO <i>BENCHMARKING</i> ENERGÉTICO LOCAL	49
4.2.1	Cálculo dos Indicadores de Uso de Energia	49
4.2.2	<i>Benchmarks</i> Energéticos	50
4.3	APLICAÇÃO DOS DADOS NO MÉTODO NACIONAL	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DAS EDIFICAÇÕES DE HOSPEDAGEM DE LONDRINA	57
5.1.1	Indicadores de Uso de Energia	66
5.1.2	<i>Benchmarks</i> Energéticos	69
5.1.3	Aplicação da Metodologia Nacional	74
6	CONCLUSÕES	77

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE A – Carta Ofício à AMEH-PR.....	90
APÊNDICE B – Carta Ofício aos gestores hoteleiros	88
APÊNDICE C – Termo de Consentimento Livre Esclarecido aos gestores hoteleiros	89

1 INTRODUÇÃO

O acelerado desenvolvimento do turismo nos últimos anos exerce contundente influência nos setores ambiental e energético de um país. A busca por conforto em instalações hoteleiras demanda alto consumo energético e consequente aumento dos níveis de emissões de dióxido de carbono. Se a curto prazo esses níveis parecem não ser significativos, a longo prazo são uma expressiva fonte de poluição (KATIRCIOGLU et al., 2020).

Em contrapartida ao oneroso consumo de recursos naturais, a procura por hotéis ambientalmente responsáveis é cada vez maior. Assim sendo, os “rótulos verdes” (sejam certificados ecológicos ou certificados de eficiência energética) se tornam também uma estratégia de marketing fundamental no competitivo mercado do turismo (CINGOSKI; PETREVSKA, 2018).

Além dos danos ao ecossistema, Alzboun *et al.* (2017) lembram que o alto custo de energia se encontra entre os principais fatores causadores de prejuízos financeiros para empreendimentos hoteleiros e sugere a busca por eficiência energética e a utilização de energia renovável como medidas mitigadoras.

A necessidade energética de cada empreendimento hoteleiro depende diretamente de fatores como localização geográfica, modo de uso, categoria, taxa de ocupação e serviços oferecidos (CUNHA; OLIVEIRA, 2020). Dessa forma, a investigação energética em hotéis é um desafio e necessária para a implementação de medidas de eficiência energética no setor.

O Brasil possui instruções normativas, aprimoradas nos últimos anos, com metodologias para obtenção da classe de eficiência energética de edificações nas fases de projeto e de edifício construído, sendo a Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INMETRO, 2021) e a Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2022). Porém, é fundamental a avaliação do desempenho energético operacional do edifício, visto que mesmo sendo construídos com enfoque em baixo consumo energético, alguns edifícios não atingem o desempenho previsto devido à má gestão e operação (CBCS, 2021a).

Atualmente, o Centro Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) estuda a elaboração de etiquetas para edificações brasileiras em uso, por meio de *benchmarks* energéticos, os quais definem um nível típico de consumo, permitem a identificação de potencial de melhoria. Esses são comumente utilizados como ferramenta base para a composição das etiquetas de operação de edifícios (CBCS, 2013).

No que se refere aos empreendimentos hoteleiros, muitos desafios existem acerca da análise de seu desempenho energético em uso. Em grande parcela dos empreendimentos comerciais são observados horários fixos de funcionamento, facilitando a identificação de padrões de dispêndio de energia. Contudo, esse padrão regular de uso não ocorre em hotéis, visto que a ocupação dos apartamentos, sua principal variável de consumo, se apresenta de forma aleatória e implica em demandas flutuantes de energia dificultando-se a busca por um modelo preciso de consumo energético (YUAN et al., 2020).

Nas edificações comerciais que possuem consumo de energia pré-determinados, resultado de um funcionamento uniforme de equipamentos e de atividades humanas organizadas, pode-se considerar que o gasto é muito afetado por fatores exógenos (condições meteorológicas, tempo de deslocamento, quantidade de dias úteis), enquanto os fatores endógenos (condições de operação) são relativamente fixos. Nesse caso, é mais simples de se estabelecer padrões, visto que existe relação aproximadamente linear entre o consumo e as variáveis independentes. Os hotéis não se encaixam nesse arquétipo pois suas sequências de demanda de energia flutuam com alta frequência. No caso das hospedagens, a eletricidade consumida ainda sofre influência de parâmetros exógenos, mas são os endógenos, como as condições aleatórias de operação dos quartos, os principais responsáveis pela demanda elétrica flutuante. Devido aos efeitos aditivos de parâmetros exógenos e endógenos, existe uma relação não linear entre o consumo final de energia e as variáveis independentes devendo-se considerar suas características particulares (CHEN; TAN; BERARDI, 2017).

Levando-se em conta a complexidade de se estabelecer um padrão de consumo em hotéis e a competitividade de um mercado que destaca os empreendimentos que promovem o alto desempenho ambiental e energético, é fundamental se pensar em modelos de *benchmarkings* de energia como ferramenta de gestão energética de

edificações hoteleiras. Assim, essa pesquisa propõe modelos de *benchmarking* energético locais para hotéis da cidade de Londrina-PR, visando avaliar o desempenho energético operacional desses e identificar oportunidades de economia de energia e melhoria de classe eficiência.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Propor modelos de *benchmarking* energético local para edifícios hoteleiros da cidade de Londrina-PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o consumo energético do setor hoteleiro de Londrina;
- Investigar diferentes tipos de indicadores de intensidade de uso de energia para hotéis;
- Classificar e comparar o desempenho energético da amostra de hotéis segundo a metodologia nacional (DEO) e o modelo local.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos e o estado da arte da demanda energética e de *benchmarks* energéticos de edificações hoteleiras. Para isso, realizou-se busca de forma sistemática seguindo o método Systematic Search Flow - SSF (FERENHOF; FERNANDES, 2016) e complementou-se a investigação por meio da revisão exploratória.

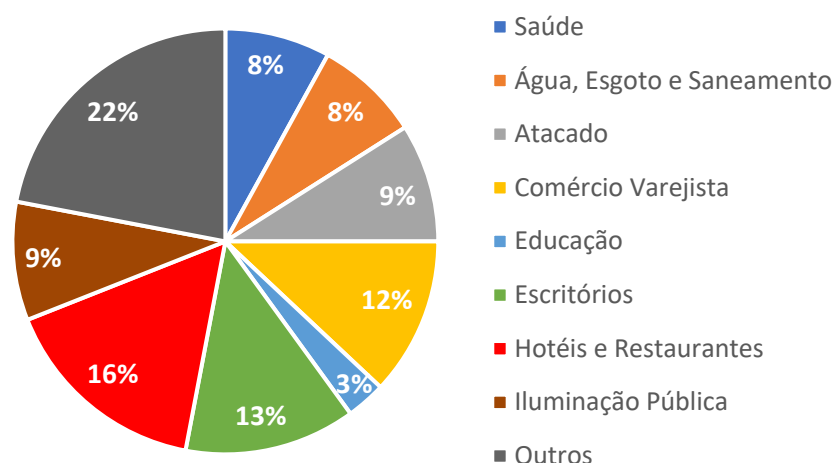
Inicialmente, buscou-se a contextualização do consumo de energia pelo setor hoteleiro, visando entender as demandas de energias desse. Posteriormente, visando auxiliar os procedimentos metodológicos aplicados, foi dado enfoque aos conceitos e métodos de *benchmarking*.

3.1 CONSUMO DE ENERGIA PELO SETOR HOTELEIRO

O plano Decenal de Expansão de Energia 2030, mesmo considerando a atipicidade do ano de 2020, antecipa que o consumo total de energia no país terá uma alta anual média de 3,7% entre 2020 e 2030. Entretanto, prevê uma economia de 32 mil GWh em energia elétrica por meio de busca por eficiência. Esse ganho corresponde à eletricidade gerada por uma usina hidrelétrica com potência instalada de cerca de 7 GW, equivalendo quase a potência da parcela brasileira da Usina Hidrelétrica de Itaipu (EPE, 2020e).

Estima-se que no setor comercial, no qual se inclui os empreendimentos hoteleiros, o consumo energético cresça em média 4,1% por ano até 2030. Ao se analisar os setores comercial e público em conjunto, a previsão de distribuição de consumo final de energia para 2030 é exposta no Gráfico 1 (EPE, 2020c). Nessa análise, a fonte predominante é a eletricidade, a qual concentra mais de 92% da energia total consumida (EPE, 2020c). No contexto desse estudo, destacam-se os hotéis e restaurantes como responsáveis por 16% do consumo.

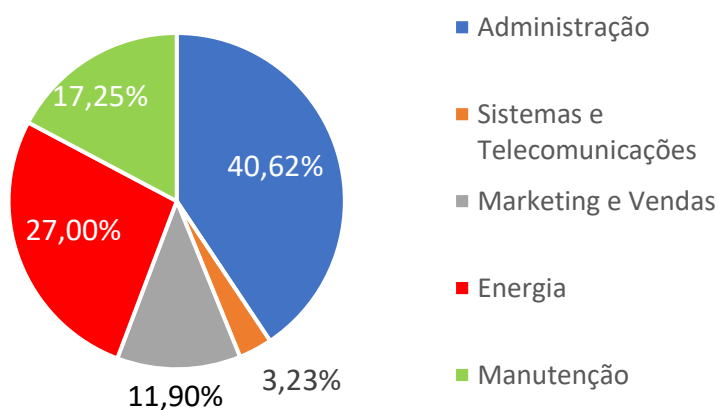
Gráfico 1 - Distribuição de consumo de energia elétrica nos setores Comercial e Público em 2030.



Fonte: (EPE, 2020a)

Por meio de pesquisa em 500 hotéis, resorts e flats brasileiros, JLL (2019) pôde discriminar e distribuir as despesas operacionais desses empreendimentos, conforme Gráfico 2. Nota-se que os gastos administrativos e energéticos foram os mais importantes com 40,62% e 27,00%, respectivamente. Como a parcela de despesa com energia é alta, pode-se considerar o aumento da eficiência energética como uma boa oportunidade de economia.

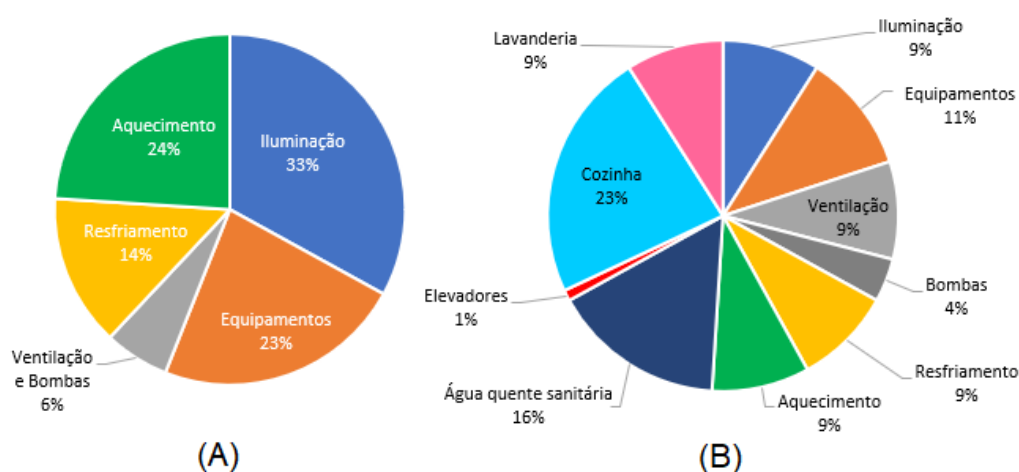
Gráfico 2 - Distribuição de despesas operacionais em hotéis.



Fonte: Adaptado de (JLL, 2019).

Como visto, as edificações hoteleiras, em nível nacional estão entre as maiores consumidoras de energia do setor comercial. De acordo com Salem et al (2020), as atividades que consomem energia em edificações hoteleiras podem ser divididas em duas categorias principais: aquelas que acontecem em ambientes como os apartamentos, recepção, bar e restaurante, que têm o envolvimento direto do hóspede e contribuem para seu conforto; e aquelas que se realizam em ambientes como cozinha e lavanderia, que não envolvem os hóspedes. Se por um lado existe grande potencial de economia, por outro, a identificação de padrões de uso é dificultada pois são edificações que operam 24 horas diárias e oferecem diversas opções de serviços.

Gráfico 3 – Distribuição de energia por uso final em um hotel na Itália (A) e em um hotel em Portugal (B).



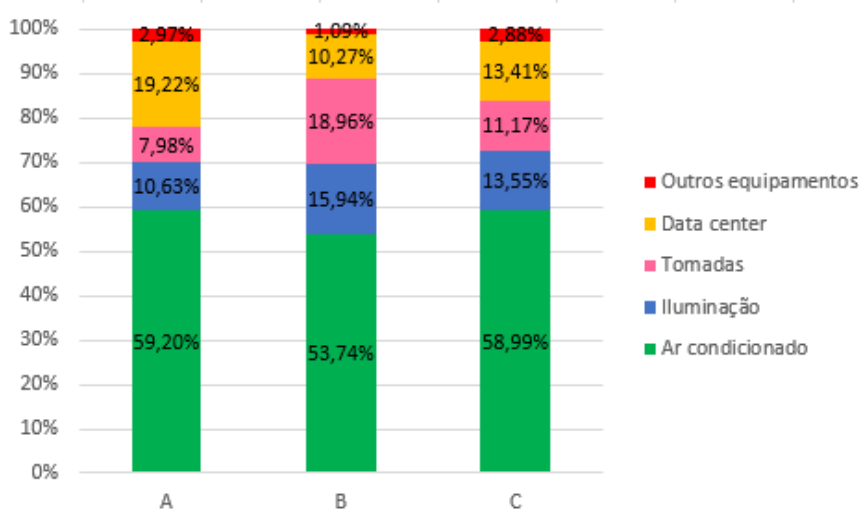
Fonte: Adaptado de (BUSO; CORGNATI, 2017) e (CUNHA; OLIVEIRA, 2020), respectivamente.

Conhecer o consumo por uso final é fundamental para se identificar oportunidades de economia. Buso e Corgnati (2017), ao avaliarem um hotel de médio porte na Itália, obtiveram uma distribuição conforme Gráfico 3(A), que aponta a iluminação como maior consumidora de energia, sendo responsável por 33% do total, e o aquecimento em segundo lugar, com 24%. Cunha e Oliveira (2020) também realizaram essa análise em um hotel de 4 estrelas em Portugal e alcançaram os resultados verificados no Gráfico 3(B) nos quais se vê a importância das atividades da cozinha e do aquecimento de água, visto que consomem 23% e 16% de energia final. Nesse mesmo estudo, destaca-se a importância do condicionamento de ar, pois

a soma do consumo com resfriamento e com aquecimento atingiu 16%. No Brasil, CBCS (2022b), em auditorias energéticas realizadas em três edificações hoteleiras na cidade de São Paulo, depararam-se com as proporções de consumo finais dispostas no Gráfico 4. Nesse estudo, percebe-se o sistema de condicionamento de ar como a parcela mais expressiva de consumo, representando mais da metade do total em todas as unidades estudadas.

Chen, Tan e Berardi (2017) indicam que as diferenças observadas no consumo por uso final não são explicadas apenas por distinções de localização geográfica e variáveis meteorológicas, mas também pelas condições aleatórias de operação específicas para cada edificação estudada.

Gráfico 4 – Distribuição de energia por uso final em três hotéis da cidade de São Paulo.



Fonte: (CBCS, 2020a)

3.2 BENCHMARKINGS ENERGÉTICOS

Viu-se que as edificações têm grande potencial de economia de energia. As etiquetas para classificação de desempenho energético são uma das principais ferramentas a serem utilizadas nessa busca por eficiência. Existem três tipos de etiquetas de classe de eficiência energética para edificações: a de projeto, a de edifício construído e a de consumo em uso. No Brasil, as duas primeiras podem ser obtidas

por meio de metodologias definidas no Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica). Prevê-se o desenvolvimento da terceira com base nos modelos de *benchmarkings* elaborados pelo CBCS (CBCS, 2013).

Analisando-se o cenário internacional, nota-se que, em muitos casos, edifícios construídos com enfoque em eficiência não atingem o desempenho previsto se não contarem com uma correta gestão e operação. O desconhecimento do desempenho energético real de edificações em uso e a falta de bases que permitam a comparação dificultam a identificação dos edifícios eficientes e daqueles com grande potencial para melhoria (CBCS, 2013). No estudo energético de edificações, frequentemente se faz uso de *benchmarkings* para avaliação energética e melhoria de eficiência (VELOSO; SOUZA; SANTOS, 2020).

Enfatiza-se as diferenças entre as terminologias “*benchmark*” e “*benchmarking*”. *Benchmark* é uma linha de base utilizada para avaliação do desempenho por meio da comparação de coisas do mesmo tipo. Os *benchmarks* energéticos definem um nível típico de consumo de um conjunto, permitindo a confrontação dos resultados, a rápida percepção de desempenho e a identificação de potencial para melhoria (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). Em paralelo, *benchmarking* é a forma de avaliação do estoque de edificações por meio da comparação entre o desempenho operacional anual desta com o desempenho de referência representativo do estoque de edificações, ou seja, com um *benchmark*. Essa prática pode ser utilizada como ferramenta de gestão energética em edificações visto que promove o uso eficiente de energia, e funciona como um critério público de desempenho de uso de energia em edifícios (CHUNG, 2011). Portanto, pode-se dizer que *benchmarking* é a forma de comparação e *benchmarks* são os valores característicos comparados.

Assim, *benchmarks* energéticos são comumente utilizados como ferramenta base para a implementação de etiquetas prediais de consumo em uso. Nelas se tem o registro do consumo normalizado do edifício, que ao ser comparado com um indicador apropriado, permite a mensuração da eficiência da edificação (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014)

Por meio da análise de dados históricos de consumo de energia, fatores climáticos (tidos como aleatórios), características físicas (ano de construção, número de andares, tipo de estrutura, área construída, etc...), rotina de gerenciamento e modo

de utilização dos dispositivos de uso final pode-se estabelecer um modelo de previsão de consumo. O desempenho energético real final das edificações de referência é obtido por meio da normalização de todos esses parâmetros (CHUNG, 2011).

Desta forma, modelos energéticos são fundamentais para auxiliar a implementação de políticas de redução de emissões e aumento de eficiência energética em edificações, uma vez que possibilitam a antecipação do consumo (BUSO; CORGNATI, 2017; SHAO et al., 2020). Como exemplos populares de aplicação de *benchmarks* para esse fim se tem a classificação Energy Star nos Estados Unidos, a normativa VDI 3807 na Alemanha, a ferramenta Energy Smart em Cingapura e a diretriz nomeada “Padrão para Consumo de Energia de Edifícios” na China.

3.2.1 Indicadores de Desempenho Energético de Edificações

Como visto, a aplicação de *benchmarks* energéticos em edificações em uso permite a comparação do consumo energético de uma edificação a um índice normalizado que representa o consumo de um conjunto de edificações da mesma tipologia de forma a aferir sua eficiência energética.

A literatura demonstra que o indicador mais utilizado para essa função é a Intensidade de Uso de Energia (*Energy Use Intensity – EUI*) (NGUYEN; ROCKWOOD, 2019a). Como visto, trata-se de uma unidade de medida que representa o desempenho energético de um edifício em uso e é geralmente definida pela razão entre o consumo anual de energia e a área total construída (kWh/m^2) (DENG; BURNETT, 2000).

Sua popularidade é garantida devido à facilidade de implementação e baixo custo. No entanto, esse índice sugere, de forma errônea, que o consumo de eletricidade de um edifício é proporcional à sua área. Além disso, é incapaz de normalizar fatores como o sistema HVAC, ano de construção, número de andares e condições climáticas incomuns (ROTH; RAJAGOPAL, 2018). Logo, a relação entre as características físicas do edifício e o EUI pode variar de cidade para cidade. A fim de se ultrapassar essas limitações, alguns autores têm proposto a utilização de um EUI normalizado usando-se o método de graus-dia, o qual, mesmo se mostrando uma

alternativa válida, depende da suposição da existência de correlação linear entre o consumo de energia do edifício e os graus-dia de aquecimento e resfriamento (DING; LIU, 2020).

A maneira como o EUI é medido e expresso e os tipos de dados coletados dependem da tipologia a qual se estuda. Para o desenvolvimento de um *benchmark* energético de 8 shoppings centers na região de Dubai, Juaidi *et al.* (2016) coletaram os dados de consumo de energia de 12 meses consecutivos, ano da construção e a área construída dos espaços condicionados. Basearam sua comparação em um EUI normalizado com kWh/m².ano como unidade de medida.

Ao avaliarem edificações pertencentes à campi universitários na China, Ding *et al.* (2017) também optaram pela exposição do consumo por unidade de área construída, visto que a representação estatística do número de pessoas estava dificultada devido à classificação de parte das salas analisadas como laboratórios de pesquisa. Para essa investigação, os autores examinaram os seguintes fatores: temperatura de bulbo seco externo, radiação solar, velocidade do vento, ocupação, densidade de potência de iluminação e dos equipamentos, taxa de ocupação, anos de uso, área bruta de piso, altura, número de andares, materiais da estrutura, materiais dos elementos de vedação, aberturas e ar condicionado.

Para a avaliação energética de escolas brasileiras em operação, Jota, de Souza e da Silva (2017) utilizaram como fatores de análise de variação de consumo a área útil, quantidade de dias letivos, número de alunos, números de turno em que as aulas ocorrem, número de salas de aulas e número de turmas. Para as autoras, no caso de escolas públicas, as diferenças climáticas não afetam o consumo energético, visto que não utilizam energia para resfriamento ou aquecimento. Dessa forma, utilizaram na pesquisa quatro tipos de índices: consumo anual de energia por aluno, com kWh/aluno.ano como unidade de medida; consumo anual de energia por turno, com kWh/turno.ano como unidade de medida; consumo anual de sala de aula, com kWh/sala-de-aula.ano como unidade de medida; e consumo anual de energia por classe, com kWh/classe.ano como unidade de medida.

Geraldi e Ghisi (2020) também estudaram escolas públicas brasileiras e, após analisar 5.321 edificações escolares com base no consumo de energia, na área da planta baixa e no número de alunos, concluíram que a obtenção do EUI em função do

número de alunos foi a mais adequada e permitiu uma análise confiável do desempenho energético dessa tipologia. Os autores também aplicaram questionários, os quais tinham o diretor da escola como público alvo, para coletar informações como características das instalações, área e idade das edificações com o objetivo de qualificar o uso de energia, a satisfação do meio ambiente e as melhorias necessárias na edificação.

No caso de edificações hoteleiras, observa-se não somente a utilização do índice EUI como consumo de energia por unidade de área construída (kWh/m^2), mas também as relações de consumo de energia por hóspede e o consumo de energia por apartamento (DING; LIU, 2020). Porém, após análise de estudos sobre *benchmark* energético de edificações hoteleiras pôde-se observar que a forma mais comum de apresentação da intensidade do uso de energia se dá pelo consumo por unidade de área. As informações coletadas em 22 artigos analisados foram organizadas conforme se apresenta na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Histórico de EUI em edificações hoteleiras.

AUTOR	LOCAL	TAMANHO DA AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO	EUI
				$\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$
(DENG; BURNETT, 2000)	Canadá	16	3, 4 e 5 estrelas	563,0
(DENG, 2003)	China	36	-	542,0
(TRUNG; KUMAR, 2005)	Vietnã	50	4 estrelas	141,0
			3 estrelas	143,0
			2 estrelas	101,0
			resorts	78,0
(ÖNÜT; SONER, 2006)	Turquia	32	5 estrelas	388,8
(BOHDANOWICZ; MARTINAC, 2007)	Europa	184	luxo	364,3
			médio mercado	285,0
(ROSSELLÓ-BATLE et al., 2010)	Espanha	20	3 estrelas	179,6
		11	4 estrelas	199,8
(XUCHAO; PRIYADARSINI; EANG, 2010)	Cingapura	29	3, 4 e 5 estrelas	427,0
(BOEMI et al., 2011)	Grécia	1	2 estrelas	203,0
		1	4 estrelas	222,0

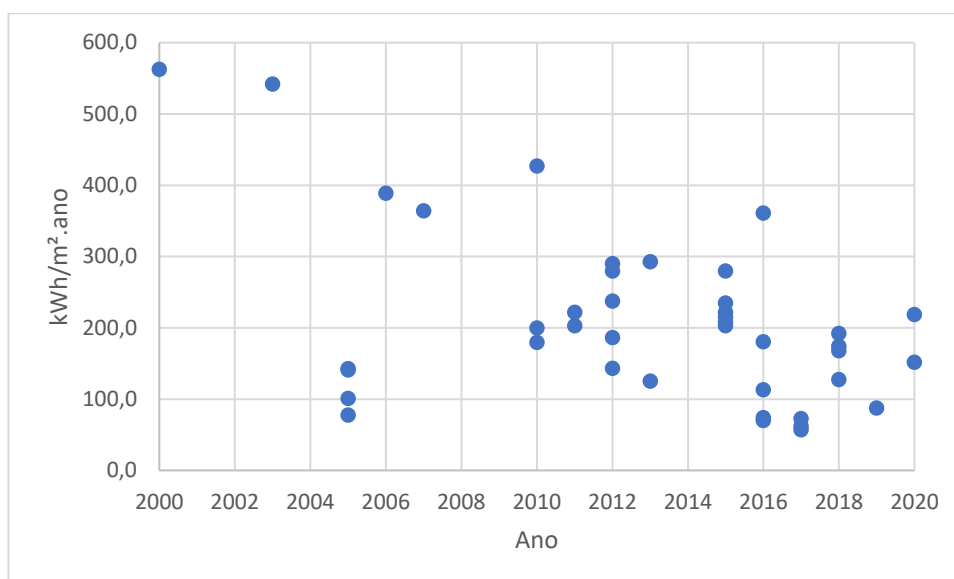
AUTOR	LOCAL	TAMANHO DA AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO	EUI
				kWh/m ² .ano
(FARROU; KOLOKOTRONI; SANTAMOURIS, 2012)	Grécia	49	-	290,0
(WANG, 2012)	China	200	internacional	280,1
			Standard	237,7
			Enterprises	186,3
			Cama e café	143,6
(TULSYAN et al., 2013)	Índia	1	5 estrelas	293,0
(LU et al., 2013)	China	27	luxo	125,3
(CHEDWAL et al., 2015)	Índia	79	0 ou 1 estrela	203,0
			2 ou 3 estrelas	208,0
			4 ou 5 estrelas	222,0
(YAO; ZHUANG; GU, 2015)	China	45	3 estrelas	215,7
			4 estrelas	234,8
			5 estrelas	279,8
(TANG et al., 2016)	China	9	4 estrelas	180,8
		4	3 estrelas	113,3
		6	2 estrelas	74,2
		5	1 estrela	70,2
(ALFARIS; ABU-HIJLEH; ABDUL-AMEER, 2016)	Dubai	19	4 e 5 estrelas de luxo	361,3
(TENG; WU; XU, 2017)	China	1	econômico em Pequim	57,2
		1	econômico em Dalian	61,2
		1	Econômico em Shijiazhuang	72,9
(CHEN; TAN; BERARDI, 2018)	China	58	3 e 5 estrelas	168,3
(SHENG et al., 2018)	China	295	clima frio	100-155
			verão quente/inverno frio	140-245
			verão quente/inverno ameno	136-213
(NGUYEN; ROCKWOOD, 2019)	Vietnã	50	1, 2, 3, 4 e 5 estrelas	87,6

AUTOR	LOCAL	TAMANHO DA AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO	EUI
				kWh/m ² .ano
(DING; LIU, 2020)	China	45	4 e 5 estrelas	151,9
(CUNHA; OLIVEIRA, 2020)	Portugal	1	4 estrelas	219,0

FONTE: a autora (2021)

Verifica-se que as amostras variaram entre 1 e 295 edificações hoteleiras. Essa grande amplitude demonstra a versatilidade da ferramenta de *benchmarking* energético, e pode ser explicada pelos vários tipos de metodologias de aplicação. Os dados também demonstram que a China é o país mais avançado em termos de modelos de consumo energético de hotéis, visto que sediou 40,9% dos estudos analisados.

Com base nas informações da Tabela 1 realizou-se a dispersão dos valores médios de EUI, como exposto no Gráfico 5. Na representação gráfica do estudo de Sheng *et al.* (2018) foram utilizadas as médias de cada um dos intervalos de valores. Nota-se tendência de redução dos valores ao longo do tempo. Amanda e Senjei (2019) efetuaram investigação semelhante para *benchmarks* desenvolvidos entre os anos de 1991 e 2016. Para os autores, a diminuição dos índices pode ser justificada pela melhora gradual da conservação de energia e aumento da eficiência energética das edificações impostos pelas conseqüentes crises de energia e pelo aquecimento global. Ressalta-se que as amostras de hotéis estudadas são de realidades distintas, mas essa análise demonstra de forma simplificada o atual cenário de pesquisas na área.

Gráfico 5 - variação de EUI médio de hotéis

FONTE: adaptado de (AMANDA; SANJEI, 2019)

Apesar de todas as pesquisas analisadas na Tabela 1 representarem EUI de edificações de hotéis pela unidade kWh/m².ano, algumas delas também expõem a intensidade do uso de energia com base no número de apartamentos e de hóspedes por noite. Bohdanowicz e Martinac (2007), ao avaliarem energeticamente 184 hotéis europeus concluíram que o desempenho energético de edificações de luxo e de médio padrão podem ser representados, respectivamente, por: 364,30 e 285,00 kWh/m².ano, por 28,10 e 14,20 MWh/apartamento.ano ou 89,50 e 47,80 kWh/hóspede-noite.ano. Wang (2012) classifica o desempenho energético de 45 edificações hoteleiras em Taiwan da seguinte forma: para a classe Internacional foram delegados os valores de 280,10 kWh/m².ano e 26,70 MWh/apartamento.ano; para a classe Standard os valores 237,70 kWh/m².ano e 25,00 MWh/apartamento.ano; para a classe Enterprises os valores 186,30 kWh/m².ano e 14,60 MWh/apartamento.ano e para a classe Cama e Café os valores 143,60 kWh/m².ano e 9,40 MWh/apartamento.ano. Lu, S. *et al.* (2013), obtiveram 125,27 kWh/m².ano, 16,74 MWh/apartamento.ano e 30,19 kWh/hóspede-noite.ano o índice EUI de 27 hotéis de luxo na China. Por fim, Ding e Liu (2020) estimaram em 151,90 kWh/m².ano e 24,50 MWh/apartamento.ano o desempenho energético médio de 45 empreendimentos hoteleiros de 4 e 5 estrelas em Portugal.

Em comum, todos esses estudos demonstram a alta correlação entre o número de hóspedes e de apartamentos com o consumo energético final.

Ainda com base nos artigos expostos na Tabela 1, constata-se que no caso de *benchmarks* energéticos de edificações hoteleiras as principais variáveis de análise, em ordem decrescente de ocorrência são: área (área bruta de piso, área bruta média, área condicionada, área do apartamento padrão); número de apartamentos; idade da edificação; taxa de ocupação; número de pavimentos; número de hóspedes; número de funcionários; localização geográfica; serviços oferecidos; materiais construtivos e tarifa.

Em PPEC (2021) pode-se ter acesso à um caso prático de aplicação de *benchmarking* energético de edificações hoteleiras em Portugal. Por meio do programa “Por um Turismo Sustentável” realizou-se o diagnóstico energético de 20 hotéis de 3 estrelas ou mais de forma a relacionar as atividades desenvolvidas e o consumo de energia. Com base nesses empreendimentos modelos, outras entidades do setor podem consultar as melhores práticas de eficiência energética e detectar oportunidades de melhorias de gestão energética. Diferente dos demais artigos analisados, os indicadores de desempenho não foram apresentados com base na área construída da edificação, mas o valor médio apresentado para comparação se dá por: 37,8 kWh/hóspede.ano e 64,4kWh/apartamento.ano. Sendo este, portanto, um exemplo de sucesso de aplicação de um modelo de *benchmarking* energético na gestão energética de hotéis.

3.2.2 Métodos de *Benchmarking* energético

A literatura apresenta vários métodos de *benchmarking* para tratamento dos dados e determinação de *benchmarks* energéticos. Chung (2011) aponta como os mais utilizados o da Simulação Computacional, das Redes Neurais Artificiais (RNA) e os matemáticos categorizados da seguinte forma: Normalização Simples, Regressão Simples, Análise Estocástica de Fronteira (*Stochastic Frontier Analysis - SFA*) e Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*).

A Simulação Computacional é um método baseado em modelo físico que utiliza ferramentas de simulação computacional para estabelecer um modelo de

benchmarking com parâmetros de entrada conhecidos. Dessa forma, pode-se comparar o desempenho de energia real com os resultados do modelo. Os valores médios dos parâmetros do conjunto de dados são utilizados na simulação a fim de tornar os parâmetros de entrada mais significativos (SHENG et al., 2018).

Se por um lado esse método permite a análise da influência individual de cada parâmetro no consumo energético final, por outro sabe-se que existe uma lacuna entre o desempenho energético real e o simulado devido às incertezas significativas das entradas do modelo, além de exigir grande dispêndio de tempo e esforço (YAN et al., 2015).

Como forma de transpor essa fragilidade, a literatura indica que esse é comumente utilizado em conjunto com outros métodos estatísticos para que as imprecisões entre o desempenho real e o simulado sejam minoradas. Nguyen e Rockwood (2019), por exemplo, com base na análise dos dados reais do estoque de 50 hotéis na cidade de Danang no Vietnã, elaboraram um edifício de referência energética (*reference building energy model – BEM*) que possibilitou, por meio da simulação, a realização de um modelo *benchmarking* energético para outras regiões climáticas do país. No Brasil, Borgstein e Lamberts (2014) utilizaram-se de dados estatísticos e dados de auditoria energética para comparar o consumo de energia em agências bancárias. Após se obter um modelo de *benchmarking*, por meio de regressão linear simples dos dados de 1890 agências, a simulação foi utilizada para validação dos dados e caracterização do uso final de energia nos diferentes climas brasileiros.

Alves *et al.* (2018), ao proporem o parque de edifícios comerciais da cidade de Belo Horizonte-MG como estudo de caso de análise do potencial de economia de energia, desenvolveram uma metodologia com base nas seguintes etapas: definição de edifícios de referência, simulação de um modelo representativo do arquétipo, estimativa de linha de base de consumo de energia, estratégias de retrofit energético, análise de custos, e desenvolvimento dos cenários propostos. Com projeções para os próximos 20 anos, os autores enxergam a possibilidade de economia de até 24% no estoque de edificações avaliado.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) se inspiram em estruturas neurais de organismos inteligentes para a criação de modelos, portanto são compostas de

múltiplas camadas de neurônios e funções matemáticas que os conectam. Desde que a RNA tenha sido programada com uma quantidade adequada de conjunto de dados, pode ser usada para prever os resultados de saída com uma boa precisão, mesmo desconhecendo-se efetivamente as relações entrada-saída (LI; HAN; XU, 2014).

Yalcintas e Ozturk (2006), com base em um grande banco de dados de edifícios de escritório, utilizaram RNA para obtenção do consumo anual de energia por área construída. Os autores concluíram que ao agrupar os dados de acordo com as diferentes zonas climáticas das edificações, este modelo de *benchmarking* forneceu previsões precisas. Ainda, da Silva (2022), obteve sucesso ao utilizar a mesma técnica no desenvolvimento de um *benchmark* de centros de saúde. Na ocasião, os modelos preditivos propostos pelo autor apresentaram menores erros para o consumo energético total em comparação com a equação desenvolvida no estudo nacional exposto pela Plataforma DEO (CBCS, 2013).

A Normalização Simples é uma abordagem que geralmente depende de indicadores de desempenho energéticos relativos (CHUNG, 2011). Nessa perspectiva, esses indicadores são obtidos a partir da normalização do uso de energia com base na área útil ou, em alguns casos, horas de operação. Se a informação de graus-dia estiver disponível, é possível realizar o ajuste climático dos dados (CHUNG, 2011). Apesar do método se mostrar de baixo custo e de fácil implementação, possui muitas limitações, visto que não pode considerar fatores aleatórios, sistema de ar condicionado e modo de operação, por exemplo (CHUNG, 2011).

Alfaris, Abu-Hijleh e Abdul Ameer (2016) utilizaram a Normalização Simples para medir, avaliar e aumentar a eficiência energética de 19 hotéis de 4 e 5 estrelas nos Emirados Árabes. Após normalizar os valores de EUI, os pesquisadores conseguiram identificar os hotéis de melhores, medianas e piores práticas energéticas, com uma variação de EUI entre 241,5 kW/m²/ano para os hotéis de melhor gestão energética e 361,3 kWh/m²/ano para os hotéis de pior gestão energética. Além disso, essa pesquisa indicou uma tendência em aumento do valor de EUI nas edificações construídas antes de 2003.

Outro tipo exposto por Chung (2011) é a Regressões Simples por meio da aplicação do método dos Mínimos Quadrados Ordinários. Com essa ferramenta pode-se obter um modelo de regressão linear simples, ou seja, torna-se possível estimar a

linha de regressão que representa um nível médio de eficiência energética. Assim, a análise é clara e simples visto que as edificações com classificação acima da média podem ser consideradas ineficientes e as com classificação abaixo da média podem ser consideradas eficientes. A classificação energética baseada nos resíduos dos dados da amostra também possibilita a verificação de seu desempenho. Nesse caso, o residual é a diferença entre o EUI real e o previsto. Se o residual for negativo, significa que o edifício é eficiente e usa menos energia do que os seus semelhantes. Este método é muito acessível, visto que precisa de ferramentas estatísticas simples, porém como discorre apenas sobre os dados de uma mesma amostra, não fornece informações e fronteiras externas de comparação.

Além da Regressão Simples, se observa a frequente utilização de Regressão Múltipla (*Multiple Linear Regression – MLR*) como ferramenta de avaliação de desempenho energético de edifícios ao estabelecer um modelo de regressão linear utilizando-se o EUI e uma ampla gama de variáveis explicativas (DING; LIU, 2020). Por meio dela, Bohdanowicz e Martinac (2007) puderam realizar uma análise mais detalhada de uma série de fatores físicos e operacionais que têm potencial de influência no uso de energia e água de 184 hotéis europeus. Com isso, puderam comprovar que, na ausência da variação nos dados climáticos, o padrão, a área total, os números de diárias e de refeições vendidas afetam diretamente o consumo nesta tipo de edificação. A mesma técnica foi utilizada por Lu *et al.* (2013) para análise de 27 hotéis na província Chinesa de Hainan. Dezoito fatores independentes em potencial foram selecionados para o exame do comportamento de indicadores de uso de energia. Os resultados apontaram que a porcentagem de uso de eletricidade e o número de apartamentos são os principais fatores a serem levados em consideração na busca por eficiência energética de hotéis.

Os modelos fundamentados pela Análise Envoltória de Dados utilizam técnicas de programação linear que avaliam a eficiência de unidades produtivas (*decision-making units – DMU*) as quais empregam processos tecnológicos semelhantes. As fronteiras não paramétricas possuem eficiência ótima comparadas ao conjunto de dados e podem, portanto, além de avaliar a eficiência relativa dos planos de operação executados servir de referências para o estabelecimento de metas de eficiência para as unidades produtivas (LEE; LEE, 2009).

Silva, Sant Ana e Lourenço (2018) identificaram um grande potencial de economia de energia ao analisarem 92 edifícios de escolas profissionalizantes do estado de São Paulo. Para prever o consumo utilizaram Máquinas de Vetores de Suporte e para a validação da metodologia e elaboração da escala de eficiência foi utilizada a Análise Envoltória de Dados.

Ao se basearem nessa mesma técnica de DMU para estudar a eficiência energética de 47 edifícios de escritórios em Taiwan, Lee e Lee (2009) conseguiram avaliar separadamente fatores de consumo de escala (área do piso e número de ocupantes) e fatores de gerenciamento, e dessa forma puderam focar a análise no segundo tipo.

Para Ding e Liu (2020), assim como o método anterior, a Análise de Fronteira Estocástica também é uma estratégia de fronteira capaz de separar os componentes do erro dos componentes da ineficiência, levando em conta que os erros são independentemente distribuídos. Ou seja, reconhece-se a presença de erros de medição e outras fontes de ruído estatístico, permitindo a separação da ineficiência e do ruído de dados, contribuindo dessa forma para uma estimativa mais precisa de eficiência. Os autores, ao avaliar 45 edifícios de hotéis na cidade de Chingqing na China, observaram que este método possui resultados consistentes e se mostrou consolidado, principalmente, na análise de graus de eficiência energética.

A utilização de qualquer uma dessas ferramentas apresentadas, no caso da elaboração de modelos de *benchmarkings* de energia, visa o desenvolvimento de um indicador de avaliação do desempenho energético de edificações em uso. No entanto, se por um lado observa-se em grande escala a proposição de novos métodos na literatura atual, por outro há escassez de validação destes por meio de comparação com os pré-existentes. Por menores que sejam as diferenças entre os métodos, não se pode definir o mais preciso, visto que os resultados oferecidos por esses não devem ser interpretados como verdades fundamentais (DING; LIU, 2020).

Veloso, Souza e Santos (2020), utilizando-se de edificações comerciais de Belo Horizonte - MG como estudo de caso, propuseram uma metodologia de obtenção de classe de eficiência em uso com 81% de grau de confiabilidade, que segundo eles, se trata da primeira tentativa brasileira de elaboração de *benchmarkings* com base em dados medidos de consumo de edificações. As anteriores se utilizaram de simulações

paramétricas para isso. Eles estruturam o estudo da seguinte maneira: estabelecimento de um banco de dados e de metodologia para o tratamento destes; proposta de metodologia para a construção de escala de *benchmarking* a partir dos dados coletados; análise das classificações de eficiência energética e proposta de sistema de classificação em escala logarítmica.

Borgstein, Lamberts e Hensen (2016), realizaram uma revisão dos métodos disponíveis para *benchmarking* e classificação do desempenho energético de edifícios não comerciais. Na ocasião, agruparam as metodologias existentes em cinco categorias distintas: cálculos de engenharia, simulação computacional, métodos estatísticos, aprendizado de máquinas e outros. Os autores indicam que ainda falta compreensão sobre as diferenças entre o desempenho energético previsto e o em operação e que a degradação da edificação a longo prazo precisa ser considerada. Outra lacuna da literatura nacional a ser preenchida seria aquela que relaciona a avaliação de desempenho energético à qualidade ambiental observada e à satisfação do usuário.

3.2.2.1 Metodologias nacionais de *benchmarking*

Considerando que além de se obter a classe de eficiência na etapa de edifício construído também é fundamental entender seu consumo em operação, o CBCS, a partir de 2013, criou o Projeto DEO (Desempenho Operacional de Edificações), que visa desenvolver conhecimento, indicadores e técnicas para a avaliação e melhoria de desempenho energético de edificações em fase de operação, o qual teve início com a proposta de metodologia de *benchmarking* para agências bancárias, edifícios de escritórios corporativos e edifícios públicos administrativos (CBCS, 2020b)

Em 2018, o CBCS firmou um convênio de cooperação com a Eletrobras que tem total aderência com as atividades do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. Assim, o acordo visa o avanço no desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações em operação que esteja em conformidade com o atualmente existente para novas construções. Esse processo ocorrerá por meio da composição de base de dados de consumo energético e de

modelos de *benchmarks* para 15 tipologias de edificações em uso e operação, privadas e públicas (CBCS, 2020b)

Os dados iniciais para caracterização de grande parte das tipologias foram obtidos por meio do projeto META (Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia Mineral) e da Empresa de Pesquisa em Energia Elétrica (EPE), os quais foram somados aos coletados por auditorias e bancos de dados pré-existentes. Com isso, se fez possível a construção de arquétipos e a realização de simulações para cada tipologia. Com os dados derivados dessas, compôs-se as equações de *benchmark* (CBCS, 2020b).

Nesse contexto, o DEO foi um estímulo para o avanço das pesquisas na área. Apesar disso, para Veloso, Souza e Santos (2020), os estudos nacionais ainda são dificultados, visto que as informações de consumo de energia elétrica e das documentações arquitetônicas de edificações são consideradas privadas no Brasil.

Para o projeto DEO foram realizadas simulações dos arquétipos de cada tipologia desenvolvidos por meio das informações de caracterização da base de dados da EPE e do CBCS. Utilizando-se de regressão linear múltipla como ferramenta estatística e os dados obtidos das simulações, foram elaboradas equações de *benchmark* escolhidas pelo coeficiente de determinação (R^2). Quanto mais próximo esse estiver de 1,0 maior é a capacidade do modelo em prever valores próximos ao real. Ainda, no processo foram realizadas auditorias em algumas edificações da amostra com o objetivo de enriquecer a caracterização das tipologias e testar as equações finais.

Uma das tipologias que abrange o projeto DEO é a hoteleira. A de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte contempla edifícios de múltiplos andares cuja função é hotelaria, com mais de 40 quartos e mais de 1.500m² de área construída. O método de *benchmarking* compreende duas equações: uma para cidades com valores de graus-hora de resfriamento (GHR) acima de 54.000 e outra para cidades que apresentam valores menores do que esse (CBCS, 2020b)

O projeto DEO se iniciou com o desenvolvimento de um *benchmark* energético de agências bancárias no Brasil com Borgsteins e Lamberts (2014). Na ocasião, utilizaram apenas dados de consumo de energia e de área útil para a primeira etapa da pesquisa relacionada à análise estatística. A pequena quantidade de fatores

escolhidos foi respaldada pela definição clara do tipo de edificação estudado, seu alto nível de padronização e pela grande quantidade de elementos da amostra, visto que após a limpeza dos dados, foram avaliados os registros de 8.049 agências. O estudo teve kWh/m²/ano como unidade de medida para o EUI.

Recentemente, outros pesquisadores aplicaram a metodologia exposta em CBCS (2020) visando sua comparação com *benchmarkings* locais.

Em seu trabalho sobre escolas públicas de ensino infantil de Florianópolis-SC, Gnecco (2021) construiu um modelo de *benchmark* em quatro etapas: coleta de dados fornecidos pela prefeitura municipal e auditorias energéticas, construção de arquétipo, simulações energéticas e regressão linear múltipla. Além de discutir os usos finais das edificações, a autora também pôde comparar seu modelo local com o modelo que representa o estoque nacional de edificações, obtido por meio do CBCS. No caso, a respeito das classificações obtidas, não foram identificadas diferenças significativas entre os dois modelos.

Quevedo (2021), também estudou instituições de ensino de Florianópolis, mas com enfoque nas de ensino superior. Adotando o mesmo arquétipo elaborado pelo CBCS, ao variar as características da envoltória, de ocupação e de padrão de uso em simulações computacionais o autor criou um banco de dados. Elaborou 2 metamodelos com base em técnicas de Máquinas de Vetores de Suporte e Redes Neurais Artificiais. Assim, 34% das edificações foram classificadas como eficientes, 34% como típicas e 31% como ineficientes.

Benchmarks energéticos de centros de saúde foram elaborados por Da Silva (2022). Nesse caso, o autor utilizou-se de arquétipo baseado em projeto padrão da tipologia e definiu parâmetros de entrada para aplicação em simulações. O autor também se utilizou de Máquinas de Vetor de Suporte e Redes Neurais Artificiais para estabelecer modelos preditivos. Nesse caso, os modelos que utilizaram RNA como ferramenta de *benchmark* apresentaram menores erros para o consumo energético total se comparado com o desenvolvido pelo CBCS.

3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Observou-se que apesar de sua importância para economia global, o setor do turismo foi muito afetado pela pandemia. Para que a recuperação seja sólida, essa deve ser pautada por preceitos sustentáveis. E, por consequência, a gestão energética das edificações hoteleiras precisa ser reorganizada.

Pôde-se observar que grande parte das despesas operacionais dessa dos hotéis estão relacionadas ao consumo energético. Portanto, a busca pela eficiência energética, além de diminuir a necessidade de utilização de recursos naturais, também garante a economia de recursos financeiros, sendo esse o principal atrativo para os gestores dos empreendimentos.

Ficou claro que conhecer o consumo de energia final é fundamental para se detectar oportunidades de economia. No entanto, a identificação de padrões de uso de hotéis é dificultada visto que operam 24 horas por dia, oferecem opções variadas de serviço e possuem condições aleatórias de operação específicas para cada edificação estudada. Essa última pode justificar o baixo desempenho energético em uso de edificações construídas com enfoque em eficiência.

Para driblar essa inconsistência e avaliar o desempenho energético operacional das edificações hoteleiras tem-se como estratégia o emprego de métodos de *benchmarking* energético, o qual define um nível típico de consumo de um conjunto, permitindo melhor percepção de desempenho e de potencial de economia.

Apesar da razão entre o consumo de energia e a área construída ser o indicador mais comum para a comparação do desempenho energético entre edificações, pode-se utilizar índices específicos para cada tipologia. Nos hotéis, essa investigação também se faz importante, objetivando modelos de consumo cada vez mais reais. A literatura aponta bons resultados para as edificações hoteleiras na utilização de indicadores que relacionem consumo energético com fatores associados à taxa ocupação.

Ainda, enfatiza-se que existem variadas metodologias para aplicação de *benchmarks* energéticos, e a escolha deve ser feita conforme o tipo de amostra e a variedade de dados disponíveis.

Por fim, no Brasil, as pesquisas sobre o tema avançaram bastante nos últimos anos pautadas, principalmente, pelos esforços do CBCS, mas ainda se notam lacunas

científicas a serem preenchidas. Por isso se faz fundamental o estudo energético de diferentes tipologias de forma particularizada com o objetivo de se obter modelos de consumo cada vez mais próximos aos reais para as edificações nacionais.

4 METODOLOGIA

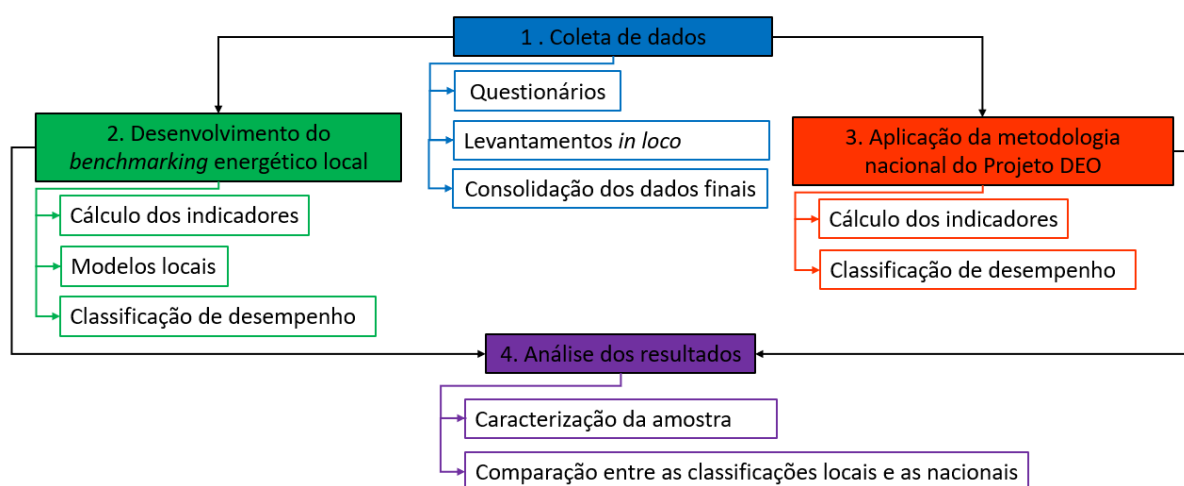
Nesta pesquisa buscou-se estabelecer modelos de *benchmarkings* energéticos com base em diferentes indicadores de intensidade de uso de energia visando identificar o mais representativo para os hotéis de Londrina-PR. Em complementação ao estudo, a metodologia proposta pelo Projeto DEO (CBCS, 2021b), a qual toma como indicador de desempenho a razão entre o consumo e a área construída, foi testada em dois hotéis da amostra e as classificações obtidas foram comparadas às classificações do respectivo modelo local.

Para isso, o trabalho se dividiu nas etapas:

- Coleta de dados.
- Desenvolvimento dos modelos de *benchmarkings* energéticos locais.
- Aplicação da metodologia nacional do Projeto DEO.
- Análise dos resultados.

Todos os procedimentos de pesquisa estão representados no fluxograma da Figura 1 e são descritos a seguir.

Figura 1 – Método de pesquisa.



Fonte: elaboração própria (2022).

4.1 COLETA DE DADOS

Na composição da amostra optou-se pelas edificações hoteleiras de médio e grande porte do município de Londrina, tendo em vista que, em uma análise em conjunto das pesquisas de Bohdanowicz e Martinac (2007), Rosselló-Batle *et al.* (2010), Boemi *et al.* (2011), Wang (2012), Chedwal *et al.* (2015), Yao, Zhuang e Gu (2015) e Tang *et al.* (2016), notou-se que os empreendimentos de maior padrão de qualidade são também os maiores consumidores de energia.

De acordo com CBCS (2021), hotéis de médio e grande porte são aqueles que, em edifícios independentes, contam com múltiplos andares, cuja função principal seja hotelaria, que possuam mais de 40 apartamentos e possuam mais de 1.500m² de área construída. Houve consonância entre os hotéis de médio e grande porte e os de maior padrão de qualidade na cidade.

Buscando-se restringir a análise a esse padrão, foi utilizada como universo amostral a lista correspondente à essa categoria disponibilizada pela organização Convention & Visitors Bureau de Londrina dos 28 empreendimentos hoteleiros associados. Ainda, mediante Convention Bureau (2022) pôde-se ter acesso às quantidades de leitos de cada hotel.

Por meio de contato telefônico com a recepção desses hotéis conheceu-se a quantidade de apartamentos de cada um dos estabelecimentos, e com a Certidão Narrativa de Lançamento de IPTU disponível no site da Prefeitura do Município de Londrina (PREFEITURA DE LONDRINA, 2022) conheceram-se as respectivas áreas construídas das edificações.

Partindo dessas informações, os gerentes de 20 hotéis com mais de 40 apartamentos e mais de 1.500m² de área construída foram convidados a participar da pesquisa por um novo contato telefônico.

Após alguns meses de contato com os responsáveis pelos empreendimentos hoteleiros, seis deles aceitaram ao convite e compuseram a amostra inicial de edificações do estudo.

4.1.1 Questionários

Durante a revisão bibliográfica, verificou-se que o indicador de intensidade de uso de energia mais comum no estudo de edificações hoteleiras se dá pela razão entre consumo energético anual e a área construída da edificação. Ainda, alguns trabalhos indicaram também a ocupação como fator com grande potencial de análise para hotéis. Assim, buscou-se a utilização dessas variáveis como base de investigação da amostra.

Em consulta aos gerentes hoteleiros londrinenses, notou-se que a principal informação que eles dispõem sobre ocupação se dá pela quantidade de diárias vendidas. E buscando facilitar o fornecimento de dados para os participantes da pesquisa, este trabalho optou também por essa como variável representativa da ocupação.

Se fez necessária a utilização de um questionário como ferramenta de levantamento de dados, que foi respondido pelos gestores dos empreendimentos e era composto da seguinte maneira:

1. Nome do empreendimento hoteleiro.
2. Qual foi a quantidade total de diárias vendidas em 2019?
3. Qual foi a quantidade total de diárias vendidas em 2020?
4. Qual foi a quantidade total de diárias vendidas em 2021?
5. Sua preferência é que os dados mensais de consumo de energia dos anos de 2019, 2020 e 2021 sejam enviados:
() diretamente por e-mail;
() agendamento de visita para coleta *in loco*.

Os três períodos propostos (2019, 2020 e 2021) foram escolhidos com o objetivo de que as análises fossem efetivas apesar da pandemia de COVID-19 no ano de 2020.

Devido à emergência sanitária e às orientações quanto a manutenção do isolamento social, buscou-se realizar a coleta de informações, preferencialmente, de forma remota, respeitando as orientações indicadas na Carta Circular da CONEP de 24 de fevereiro de 2021, a qual norteia os procedimentos em pesquisas com qualquer etapa em ambiente virtual.

Antes do início das entrevistas, foi enviada uma Carta Ofício à Associação de Meios de Hospedagem de Londrina (AMEH) disponível no Apêndice A com o intuito

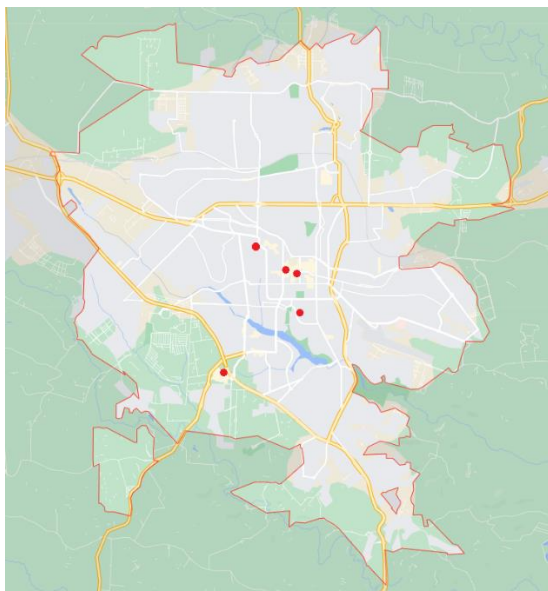
de expor os objetivos de pesquisa, indicar os benefícios que essa poderá trazer ao setor hoteleiro e buscar apoio para incentivo à adesão ao estudo. Outra Carta Ofício foi enviada aos gerentes e administradores dos empreendimentos hoteleiros e pode ser consultada no Apêndice B.

Assim, o questionário foi elaborado digitalmente no aplicativo gratuito de gerenciamento de pesquisas *Google Forms* e enviado aos gerentes dos empreendimentos hoteleiros por e-mail. Como visto na última pergunta, o gestor pôde escolher o modo como enviaria o histórico de consumo de energia. Mesmo contando com o auxílio dessa ferramenta digital, por preferência dos participantes, a coleta de dados de duas edificações ocorreu de forma presencial. Nessa etapa ocorreu também a assinatura do Termo de Consentimento Livre Esclarecido disponível no Apêndice C, uma vez que o presente estudo está cadastrado no Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) de número 46152021.6.0000.5231.

Um dos gestores apresentou dados de custo mensal de energia elétrica e número de hóspedes. Esse hotel foi descartado visto a não uniformidade com as unidades de medidas das informações dos demais hotéis, dos quais se tinham valores de consumo mensal e quantidade de diárias. Sendo assim, o estudo compreendeu uma amostra total de 5 hotéis nomeados como H01, H02, H03, H04 e H05 e que estão localizados na cidade de Londrina conforme Figura 2.

Os projetos disponíveis na Prefeitura de Londrina dessas cinco edificações foram consultados e pesquisas virtuais com o Google Street View e Google Earth foram feitas a fim de se obter informações de área total dos apartamentos, área média dos apartamentos, número de pavimentos, fator de forma, materiais da fachada, orientação solar, tipo de ar condicionado, ano de aprovação do projeto, formato e cor predominante de fachada.

Figura 2 – Localização na cidade de Londrina das 5 edificações hoteleiras da amostra.



Fonte: (EARTH, 2022)

4.1.2 Levantamento de Dados para a Aplicação da Metodologia Nacional

Para a aplicação da metodologia nacional exposta pelo DEO, foram realizadas visitas técnicas em duas das cinco edificações hoteleiras que compõem a amostra. Salienta-se que esta etapa se limitou a análise de apenas dois hotéis devido à baixa disponibilidade dos gerentes em dar continuidade ao estudo. Assim, foram realizadas visitas aos dois empreendimentos, em companhia dos responsáveis, para o levantamento complementar das seguintes informações:

- Potência de iluminação (W) de todos os ambientes iluminados, ou seja, do hotel de forma completa;
- Tipo do sistema de condicionamento de ar;
- Condições de sombreamento pelo entorno;
- Tipo de sistema de aquecimento de água para banho.

Tais informações compuseram os dados de entrada necessárias para a alimentação da Equação 4, exposta no item 4.3 adiante.

As visitas ocorreram nos hotéis nomeados como H01 e H02 em 23 de fevereiro e 16 de março de 2022, respectivamente. Essas possibilitaram não somente o

levantamento das informações para aplicação da metodologia DEO, mas também permitiram compreender as especificidades dessas edificações e enriquecer a caracterização do estoque, assim como objetivou CBCS (2022a).

Os projetos das duas edificações foram novamente estudados com o objetivo de que houvesse planejamento das atividades que seriam realizadas no momento do levantamento de dados, tendo em vista sua grande área construída.

Os arquivos de H01 datam do ano de 1988 e os de H02 do ano de 1986, e ressalta-se que os dois empreendimentos foram modificados e modernizados desde então. Dessa forma se fez necessária a atualização dos projetos e a verificação do *as built*, visando uma coleta de dados efetiva e correspondente ao real. Esse processo foi importante, principalmente, para o levantamento do sistema de iluminação artificial, a variável com a maior quantidade de informações desta etapa.

Assim, todas as áreas foram visitadas e, além de se verificar os tipos de condicionamento de ar existentes, foram anotadas as quantidade e potências de todos os modelos de lâmpadas observados, resultando em uma potência total. Ainda, buscou-se identificar o método de acionamento de iluminação em cada ambiente, podendo ser ativada por sensores de presença, de forma manual pelos usuários ou mantida permanentemente acessa.

4.1.3 Consolidação dos Dados Finais

Com base na Lei Geral de Proteção de Dados (BRASIL, 2018) e tendo em vista que as edificações estudadas são de propriedade particular, a operadora de energia elétrica não compartilhou as informações de consumo energético mensal individuais das unidades consumidoras analisadas. Assim, os dados de consumo foram obtidos após aplicação dos questionários exclusivamente com os gerentes dos hotéis.

Em contrapartida, foi cedido pela operadora de energia elétrica o consumo energético municipal de março de 2022 distribuído em classes (residencial, industrial, comercial, rural e outros) e o consumo energético do setor de alojamento de Londrina no mesmo mês distribuído entre hotéis, apart-hotéis, motéis, campings, pensões e outros alojamentos não especificados. Essas informações foram comparadas com a média mensal de consumo no ano de 2022 obtida com base nos dados disponíveis

em IPARDES (2022), a fim de se entender a demanda de energia do setor na cidade e verificar se o aumento da demanda condiz com o previsto em EPE (2020).

Deste modo, ao fim da etapa de levantamento de dados, obteve-se o conjunto de dados expostos no **Quadro 1** – Dados levantados para o *benchmark* local. Quadro 1, sendo os destacados com asterisco os coletados em apenas duas unidades da amostra.

Quadro 1 – Dados levantados para o *benchmark* local.

Variável	Unidade	Forma de levantamento
Área construída	m ²	Item 4.1
Quantidade de apartamentos	unidade	
Quantidade de leitos	unidade	
Consumo mensal no ano de 2019	kWh/mês	Item 4.1.1
Consumo mensal no ano de 2020	kWh/mês	
Consumo mensal no ano de 2021	kWh/mês	
Quantidade de diárias em 2019	unidade	
Quantidade de diárias em 2020	unidade	
Quantidade de diárias em 2021	unidade	
Área total dos apartamentos	m ²	
Área média dos apartamentos	m ²	
Número de pavimentos	unidade	
Fator de forma	-	
Fachada	-	
Orientação solar	-	
Tipo de ar condicionado	-	
Ano de aprovação do projeto	-	
Formato	-	
Cor predominante de fachada	-	
Potência de iluminação*	W/m ²	Item 4.1.3
Tipo de sistema de ar condicionado*	-	
Condições de sombreamento pelo entorno*	-	
Tipo de sistema de aquecimento de água para banho*	-	
Áreas internas do hotel	m ²	Item 4.1.4
Consumo energético por setor	MWh	
Consumo energético do setor de alojamento	MWh	

Quadro 1 – Dados levantados para o *benchmark* local.

Variável	Unidade	Forma de levantamento
* dados coletados apenas em H01 e H02		

Fonte: autoria própria (2022).

4.2 DESENVOLVIMENTO DO *BENCHMARKING* ENERGÉTICO LOCAL

4.2.1 Cálculo dos Indicadores de Uso de Energia

Como visto na etapa de revisão bibliográfica, o indicador de uso de energia mais utilizado para avaliação de desempenho energético operacional de edificações hoteleiras se dá pela razão entre o consumo e a área, com uma unidade de medida de kWh/m².ano. Porém, também se observou a possibilidade de emprego de outros tipos de indicadores específicos para hotéis que melhor explicassem seu modo de consumo, assim como feito por Wang (2012), Lu *et al.* (2013), Ding e Liu (2020) e PPEC (2020). Levando em conta esses estudos e o de Bohdanowicz e Martinac (2007), no qual os autores normalizaram o consumo de energia para área útil da unidade hoteleira, número de apartamentos e diárias vendidas e ainda considerando a disponibilidade das variáveis, foram calculados os indicadores apresentados no Quadro 2 de forma a buscar as melhores possibilidades de representação de consumo para essas edificações.

Quadro 2 – Indicadores de intensidade de uso energético a serem analisados no estudo.

Sigla	Razão	Unidade
EUI	consumo ÷ área construída	kWh/m ²
EUI _{AM}	consumo ÷ área média dos apartamentos	kWh/m ²
EUI _D	consumo ÷ diárias	kWh/diárias
EUI _{APTOS}	consumo ÷ número de apartamentos	kWh/número de apartamentos

Fonte: autoria própria (2022).

4.2.2 Benchmarks Energéticos

A determinação dos *benchmarks* energéticos teve como ferramenta matemática base a regressão linear múltipla, que segue o modelo genérico apresentado pela Equação 1.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n \quad (1)$$

Onde:

Y = variável resposta.

a = coeficiente linear do modelo de regressão;

b = coeficiente angular das variáveis independentes;

X = variáveis independentes do modelo de regressão.

Para esse estudo, foram testados modelos de *benchmarkings* que usassem o consumo energético e os indicadores EUI, EUI_{AM}, EUI_D e EUI_{APTOS} como variáveis respostas. Foi necessário selecionar, dentre todas as informações coletadas e expostas no Quadro 1, aquelas que seriam utilizadas como variáveis independentes (X₁, X₂, X₃,... X_n) e essa escolha partiu das análises de correlação de Pearson, assim como feito por Ding e Liu (2020).

Por meio dessa correlação, buscou-se identificar os fatores que mais impactam o consumo energético e os indicadores de desempenho EUI, EUI_{AM}, EUI_D e EUI_{APTOS}. E essa análise foi o ponto de partida para a escolha das variáveis independentes dos modelos.

Segundo Barbetta, Reis e Bornia (2010), Pearson descreve a correlação linear entre dados de duas variáveis aleatórias. Para eles, o valor do coeficiente não deve depender da unidade de medida, com isso os dados foram considerados em termos de quantidade de desvio padrão que se afastam da média. Essa padronização foi feita de acordo com as seguintes equações (Equação 2):

$$x_i' = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \quad y_i' = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad (2)$$

Onde:

\bar{x} : média de x_1, x_2, \dots, x_n

s_x : desvio padrão de x_1, x_2, \dots, x_n

\bar{y} : média de y_1, y_2, \dots, y_n

s_y : desvio padrão de y_1, y_2, \dots, y_n

Com isso, pôde-se obter o coeficiente de correlação linear de Pearson, r , definido pela Equação 3:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i' y_i')}{n-1} \quad (3)$$

Os valores de r estarão no intervalo entre -1 e 1, e serão mais próximos desses limites quanto mais forte for a correlação entre os dados observados. R estará próximo de zero quando não houver correlação entre eles. E para Gori (2017), a intensidade da correlação varia conforme o Quadro 3.

Assim, foram aplicados os coeficientes de Pearson para avaliar as correlações lineares existentes entre as variáveis dependentes (consumo, EUI, EUI_D, EUI_{AM} e EUI_{APTO}) e as variáveis independentes (área construída, quantidade de apartamentos, quantidade de leitos, quantidades de diárias, área total dos apartamentos, área média dos apartamentos, número de pavimentos e fator de forma). Com o objetivo de não induzir boas correlações, evitou-se relacionar variáveis que utilizassem a mesma base de dados, como por exemplo, EUI como Y e área construída como X da equação. Além disso, no caso de quantidades de diárias, tendo em vista que existia um valor diferente para cada ano, as correlações foram verificadas apenas para o respectivo ano, como por exemplo, EUI de 2019 com a quantidade de diárias de 2019.

Quadro 3 – Escala de valores para coeficiente de correlação.

	Limite inferior	Limite superior	Classificação
Correlação negativa	-1	-0,9	fortíssima
	-0,9	-0,6	forte
	-0,6	-0,3	média
	-0,3	0	fraca
Correlação positiva	0	0,3	fraca

Quadro 3 – Escala de valores para coeficiente de correlação.

	Limite inferior	Limite superior	Classificação
	0,3	0,6	média
	0,6	0,9	forte
	0,9	1	fortíssima

Fonte: (GORI, 2017).

As correlações identificadas como forte ou fortíssimas foram utilizadas como ponto de partida para os testes de modelos de *benchmarking*, os quais, assim como no estudo de Bohdanowicz e Martinac (2007), inicialmente incluíam uma ampla gama de parâmetros e no processo de refinamento dos modelos, as variáveis identificadas como insignificantes foram excluídas. Algumas variáveis foram adicionadas para ensaio, mesmo não pontuando bem no teste de Pearson, como feito também pelos mesmos autores.

Tendo em vista que apenas cinco edificações hoteleiras forneceram informações de consumo, foi preciso utilizar dados de 2019, 2020 e 2021 de cada um dos hotéis na composição dos modelos de forma a aumentar a quantidade de observações utilizadas e os graus de liberdade, garantindo-se assim a validade estatística das regressões. Com isso, foram dispostas 15 informações diferentes de consumo, de diárias e de todos os indicadores calculados por derivação dessas duas informações, ou seja, uma de cada ano para cada uma das 5 unidades da amostra. Para as demais variáveis também foram considerados 15 dados, mas que eram equivalentes nos três anos para cada um dos empreendimentos.

O indicador EUI_D , como apontado anteriormente, foi obtido pela razão entre o consumo e a diária. Visto que essas são as únicas duas variáveis do conjunto de dados que apresentam valores diferentes nos três períodos, qualquer modelo que considerasse EUI_D como variável resposta precisaria utilizar valores equivalentes nos três anos para as variáveis dependentes. Sendo assim, alimentando-se o modelo com informações fixas, esse responderia com um mesmo valor de EUI_D em qualquer ano. Em razão disso, foi inviável considerar esse indicador como uma representação real de consumo energético e como consequência, o modelo de *benchmarking* com EUI_D como variável resposta foi descartado neste estudo. Ainda, por essas considerações,

todos os melhores modelos com base nos demais indicadores utilizaram a quantidade de diárias como uma de suas variáveis independentes.

Nesse processo, havia a possibilidade de utilização das variáveis em diferentes formas lineares. Por exemplo no caso de EUI, poderia se optar pela utilização de EUI, $\ln(\text{EUI})$ ou $1/\text{EUI}$. Com o auxílio do software estatístico R, as diferentes variáveis em diferentes formas lineares foram testadas, e a seleção da melhor equação para cada modelo foi feita com base no coeficiente de determinação R^2 . Segundo Barbetta, Reis e Bornia (2010), esse parâmetro é uma medida descritiva que expõe a proporção da variação de Y que pode ser explicada por variações em X, segundo um modelo especificado. O fator pode ser representado em números decimais, variando de zero a um, ou em porcentagem. E quanto maior o valor de R^2 , melhor é o ajuste estatístico do modelo.

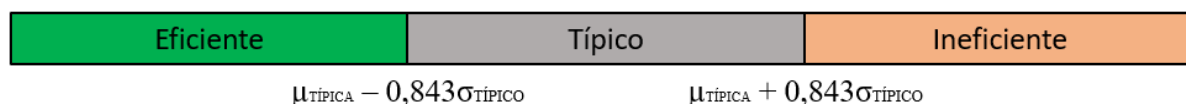
Como consequência da baixa quantidade de unidades da amostra, obteve-se um alto desvio padrão. Por esse motivo a utilização da escala proposta por Gnecco (2021) foi impossibilitada, visto que, tendo esse como fator base para cálculo dos limites dos níveis de desempenho, todas as unidades hoteleiras obtiveram a mesma classificação final.

A baixa quantidade amostral também impossibilitou a construção de um gráfico de distribuição de probabilidades, impedindo a aplicação integral das escalas de classificação de Ding e Lui (2020) e de Veloso *et al.* (2020), as quais têm por base as distribuições gama e normal, respectivamente.

Dessa forma, evidenciou-se a dificuldade em se aplicar as escalas disponíveis na literatura em amostras diminutas. Assim, foi utilizada uma escala adaptada de Veloso *et al.* (2020), mas que buscou consonância de nomenclatura com o modelo nacional do CBCS (2021), tendo como resultados os intervalos “Eficiente”, “Típico” e “Ineficiente”. As edificações foram tidas como “Eficientes” no caso do valor real do indicador ser menor que a subtração entre o valor da média e 0,843 do desvio padrão calculados pelas resultados das equações; “Ineficiente” quando o valor real do indicador era maior que a soma entre a média e 0,843 do desvio padrão dos valores calculados; e “Típico” no caso de indicadores entre esses dois limites, como expresso na Figura 3. O valor de 0,843 do desvio padrão foi adotado conforme o estudo de Veloso *et al.* (2020), que na ocasião classificavam os edifícios com EUI menores que

a diferença entre a média e 0,843 do desvio padrão com a melhor classe de eficiência disponível e aqueles com EUI maiores do que a soma entre a média e 0,843 do desvio padrão com o pior desempenho.

Figura 3 – Escala de desempenho energético *benchmarking* local.



Fonte: adaptado de Veloso *et al.* (2020).

4.3 APLICAÇÃO DOS DADOS NO MÉTODO NACIONAL

A plataforma DEO contempla duas equações para hotéis de médio e grande porte que variam em função do valor de graus-hora de resfriamento (GHR) das cidades de análise (CBCS, 2021b). A cidade de Londrina possui valor equivalente a 34.995,91 e o valor de graus-dia de aquecimento (GDA) de 139,4 (VERSAGE; BORGSTEIN; LAMBERTS, 2022). Desta forma, foi empregada a Equação 4, adaptada da Ficha Técnica: Equações de *benchmark* – Hotel Vertical de Médio e Grande Porte pelo Projeto DEO (CBCS, 2021b), destinada a hotéis verticais de médio e grande porte e específica para localidades com GHR abaixo de 54.000.

$$\text{Consumo} = \frac{(A \times B) + C}{\text{área dos quartos} + \text{demais áreas}} + \frac{D}{\text{área dos quartos} + \text{demais áreas}} \quad (4)$$

Em que,

A = 24,42 + 7,268log GHR - 3,626log GDA + 7,661AVAC + 1,9096ILUM + 2,851ENTO;

B = n° de quartos x área média dos quartos x taxa de ocupação;

C = (-0,42 + 3,843log GHR - 1,691log GDA + 3,3214AVAC + 6,2306ILUM) x demais áreas;

D = (494,1 x n° de quartos x taxa de ocupação x SAQ);

Fonte: adaptado de (CBCS, 2021b).

Sendo,

ILUM: densidade de potência de iluminação instalada [W/m²];

AVAC: tipo de sistema de condicionamento de ar (sendo 1 para Central VRF; 2 para Split Individual; e 3 para Chiller a ar);

ENTO: condição de entorno (com relação ao sombreamento: sendo 0 com sombreamento de edifícios de mesma altura; e 1 sem sombreamento);

SAQ: tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 para gás, solar e outro; e 1 para chuveiro elétrico);

Demais áreas: somatória de todas as áreas internas do hotel, exceto as áreas de quartos [m²];

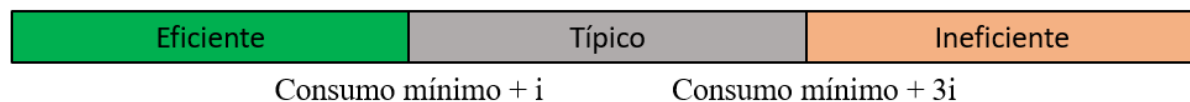
O valor de ILUM foi calculado a partir da razão entre a potência total do sistema de iluminação artificial e a área total construída. Ainda, levando-se em conta que as duas edificações estudadas possuem splits individuais para o condicionamento de ar, foi considerado o valor de 2 para a variável AVAC em ambas, conforme instrui o modelo nacional.

CBCS (2021) orienta para a variável ENTO o valor zero nos casos em que a edificação possua sombreamento por edifícios de mesma altura e o valor um para hotéis sem sombreamento pelo entorno. Para utilizar valores entre esses dois limites, considerou-se que o sombreamento em cada direção seria responsável por um quarto da variação total possível. Ou seja, esse estudo estimou o valor de 0,75 para a variável ENTO de H01, visto que possui apenas uma de suas faces sombreadas, e 0,25 para H02, pois nesse observa-se apenas uma direção livre de sombreamento.

Por fim, a taxa de ocupação foi obtida pela razão entre a quantidade de diárias anual disponibilizada pelos gestores e a capacidade total de diárias possíveis em cada hotel. Essa última foi calculada pela multiplicação entre o número de apartamentos e os 365 dias de um ano.

A escala de desempenho energético, assim como indica a Figura 4, também busca classificar as edificações em ineficientes, típicas ou eficientes no modelo nacional. CBCS (2021) descreve que a faixa de consumo típico tem como limite inferior o consumo mínimo acrescido do coeficiente “i” e como limite superior o consumo mínimo acrescido de três vezes o fator “i”, o qual é descrito pela Equação 5.

Figura 4 – Escala de desempenho energético *benchmarking* nacional (Projeto DEO).



Fonte: (CBCS, 2021b).

$$i = \frac{\text{consumo máximo da edificação} - \text{consumo mínimo da edificação}}{5} \quad (5)$$

Onde,

Consumo mínimo da edificação: aplicação da equação de *benchmark* com os seguintes valores fixados: ILUM = 8,34; AVAC = 1; e ENTO = 0;

Consumo máximo da edificação: aplicação da equação de *benchmark* com os seguintes valores fixados: ILUM = 12,72; AVAC = 3; e ENTO = 1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da aplicação do método apresentado, foram obtidos os resultados e as discussões que se seguem.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DAS EDIFICAÇÕES DE HOSPEDAGEM DE LONDRINA

A cidade de Londrina está localizada na latitude sul de 23°18'44", longitude oeste 50°09'46" e 604 m acima do nível do mar (CADERNO ESTATÍSTICO MUNICÍPIO DE LONDRINA, 2022). O município se encontra na Zona Bioclimática 3 (ABNT, 2005), assim como as cidades de Campinas e Foz do Iguaçu. Possui clima subtropical com verões quentes (BARROS et al., 2011) e médias de temperatura que variam entre 19,7° e 29,8° no mês mais quente e entre 11,7° e 23,6° no mês mais frio (IDR, 2021). As condições climáticas da cidade influenciam, portanto, nos resultados obtidos nesta pesquisa, que poderão ser extrapolados para cidades de mesmas características.

Antes de caracterizar o consumo energético das edificações hoteleiras da cidade e da amostra analisada, fez-se o levantamento do consumo energético das edificações da cidade. A Tabela 2 discrimina os dados de consumo por setor. A primeira coluna representa a média mensal em 2020, a qual foi coletada pelo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES) por meio da operadora de energia local e disponibilizada no Caderno Estatístico do Município de Londrina (IPARDES, 2022) e a segunda coluna corresponde ao consumo em março de 2022, coletado diretamente com a operadora de energia local ao longo desta pesquisa.

Tabela 2 – Comparação entre a média mensal de consumo por setor no ano de 2020 e o consumo no mês de março de 2022 na cidade de Londrina.

Setor	Média mensal de consumo em 2020 (MWh)	Consumo em março de 2022 (MWh)	Aumento
Residencial	39.954	46.930	17,46%
Indústria	5.900	6.372	8,00%

Comercial	25.207	30.551	21,20%
Rural	1.947	1.983	1,71%
Outras classes	14.322	15.387	7,44%
Consumo livre	26.509	28.896	9,01%
TOTAL	113.838	130.119	14,30%

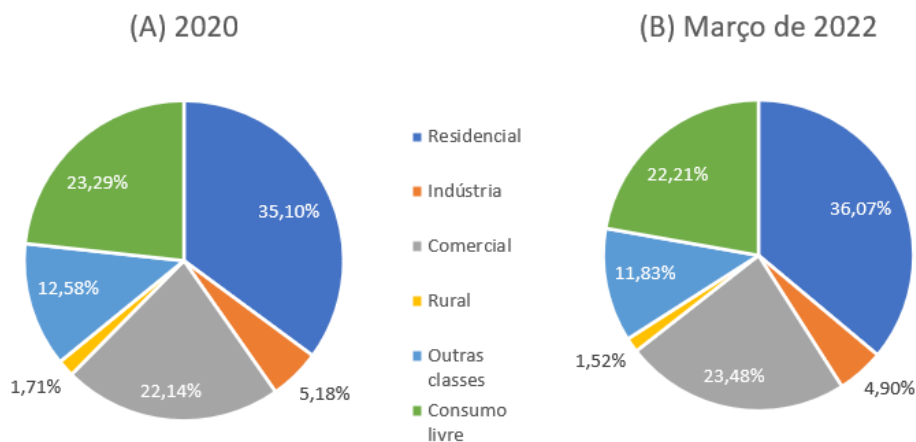
Fonte: a autora, 2022.

Ainda sobre a Tabela 2, se observa que em março de 2022, o consumo total no município foi ampliado para 130.119 MWh, ou seja, um acréscimo de 14,30% no consumo médio mensal de 113.838 MWh de 2020. Destaca-se o setor comercial com 21,20% de aumento no período, valor consideravelmente maior do que a previsão de 4,10% de crescimento anual apresentada pela Empresa de Pesquisa Energética (2020a). Ainda assim, a distribuição de consumo entre os setores não apresentou variações significativas, como demonstra o Gráfico 6.

A cidade de Londrina consumiu o total de 130.119 MWh em março de 2022, sendo 43.820 MWh referentes ao setor comercial. Os empreendimentos de alojamento, no mesmo período, foram responsáveis pelo consumo de 673.379 kWh, representando 1,54% do setor comercial e 0,52% do total municipal.

Em análise às informações fornecidas pela operadora de energia, o número de estabelecimentos de alojamento consumidores de energia foi de 288 unidades em março de 2022, distribuídos entre hotéis, apart-hotéis, motéis, campings, pensões e outros, conforme indica o Tabela 3. O conjunto dos hotéis é o maior consumidor, tendo consumido 500.358 kWh no mês. E em uma análise de consumo per capita, são as edificações com o segundo maior consumo, tendo em vista que, cada uma das 59 unidades hoteleiras foi responsável por 8.480,64 kWh no mês em média. Destaca-se que 59 é a quantidade total de empreendimentos hoteleiros da cidade, portanto, esse valor abrange hotéis de todos os níveis de qualidade, diferindo das 28 unidades previstas no item 4.1 da metodologia, a qual contabilizou apenas empreendimentos de médio e alto padrão.

Gráfico 6 - Distribuição de consumo de energia elétrica por setor na média mensal do ano de 2020 (A) e em março de 2022 (B).



Fonte: a autora, 2022.

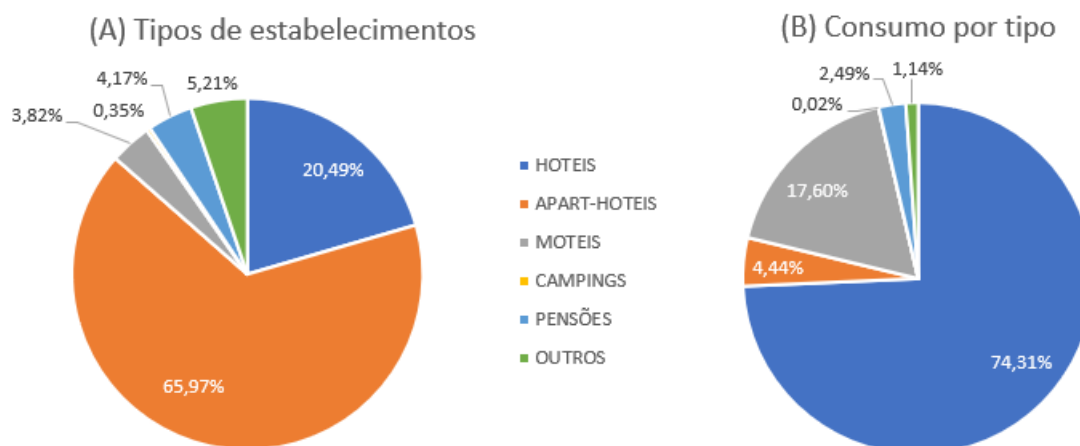
Tabela 3 – Consumo do setor de alojamentos em março de 2022.

	Quantidade de unidades consumidoras	Consumo (kWh)	Consumo/unidade (kWh)
Hotéis	59	500.358	8.480,64
Apart-hotéis	190	29.907	157,41
Motéis	11	118.538	10.776,18
Campings	1	146	146,00
Pensões	12	16.775	1.397,92
Outros	15	7.655	510,33
TOTAL	288	673.379	2.338,12

Fonte: a autora, 2022.

O Gráfico 7 demonstra a distribuição dos tipos de estabelecimentos por quantidade em (A) e por consumo energético em (B). Assim observa-se que os 20,49% de empreendimentos classificados como hotéis na cidade, são responsáveis por 74,31% do consumo do setor, explicitando a importância da investigação energética de hotéis.

Gráfico 7 - Distribuição dos tipos de estabelecimentos de alojamento (A) e do consumo por tipo (B) na cidade de Londrina em março de 2022.



Fonte: a autora, 2022.

Nesse contexto estão inseridas as cinco edificações hoteleiras que compuseram a amostra e que têm seus dados resumidos na Tabela 4. Ressalta-se a dificuldade em encontrar gestores dispostos a participar da pesquisa. A importância do estudo e suas possíveis contribuições ao setor foram repetidamente expostas, porém, notou-se muita resistência ao compartilhamento de dados privados dessas empresas.

Tabela 4 – Resumo de dados das edificações hoteleiras da amostra para o ano de 2019.

	H01	H02	H03	H04	H05	Média
Área total construída [m²]	4.553,88	6.561,57	5.750,83	6.391,82	4.905,90	5.632,80
Número total de pavimentos	17	7	12	6	4	9,2
Número de pavimentos tipos	12	3	10	4	1	6,0
Número de subsolos	2	1	-	-	1	0,8
Número de elevadores	2	2	3	3	-	2,0
Número de apartamentos	82	95	88	122	130	103

Tabela 4 – Resumo de dados das edificações hoteleiras da amostra para o ano de 2019.

	H01	H02	H03	H04	H05	Média
Pé direito do pavimento tipo [m]	2,70	2,70	2,85	2,60	2,40	2,65
Área média dos apartamentos [m²]	20,11	30,30	24,61	28,44	17,06	24,11
Número de leitos	164	142	191	165	208	174
Fator de Forma	0,32	0,19	0,24	0,25	0,33	0,27
Fachada	Revestimento argamassado	Vidro	Revestimento argamassado e pastilhas cerâmicas	Revestimento argamassado	Revestimento argamassado	-
Orientação solar	Leste	Nordeste	Sul	Sudoeste	Nordeste	-
Tipo de sistema de ar condicionado	split	split	split	central	split	-
Ano de aprovação do projeto	1.987	1.986	2.001	2.001	1.995	-
Formato	Quadrado	Quadrilátero não regular	Quadrilátero não regular	Retangular	Cruz	-
Cor predominante de fachada	Cinza claro	-	Azul escuro	Verde escuro	Bege claro	
Consumo [kWh/ano]	212.664	521.669	299.728	642.307	279.734	391.220,40
EUI [kWh/m².ano]	46,70	79,50	52,12	100,49	57,02	67,17
EUI_{AM} [kWh/área média dos apartamentos.ano]	10,58	17,21	12,18	22,58	16,39	15,79
EUI_D [kWh/diária.ano]	15,03	21,99	15,82	22,85	11,84	17,51
EUI_{APTOS} [kWh/número de]	2,59	5,49	3,41	5,26	2,15	3,78

Tabela 4 – Resumo de dados das edificações hoteleiras da amostra para o ano de 2019.

	H01	H02	H03	H04	H05	Média
apartamentos.a no]						
Número de diárias [diárias/ano]	14.152	23.722	18.946	28.104	23.634	21.711,6 0
Taxa de ocupação	0,47	0,68	0,59	0,63	0,50	0,58

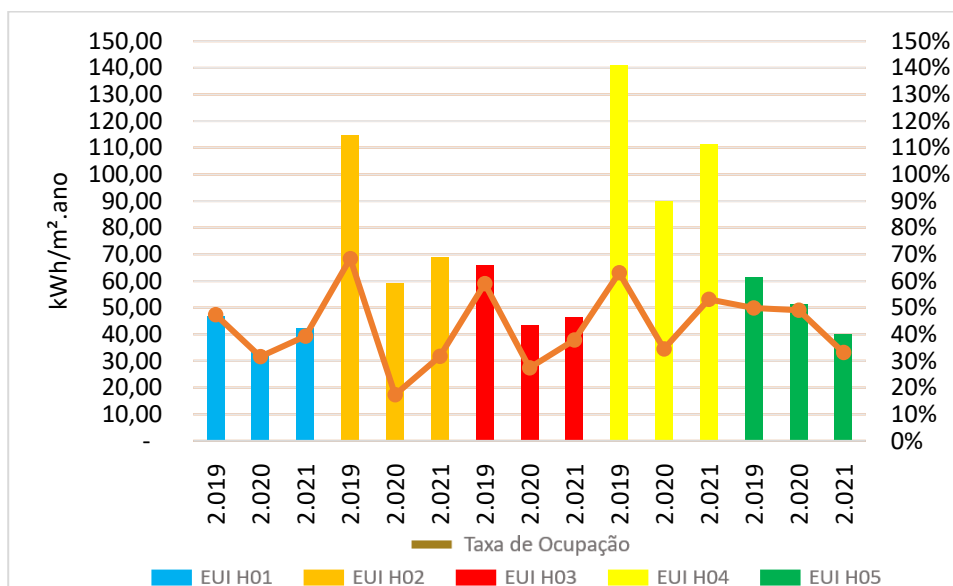
Fonte: a autora, 2022.

Mesmo sendo a edificação mais alta, com 17 pavimentos, H01 é a unidade com menor área construída, tendo 4.553,88m². O valor máximo levantado foi de 6.561,57m² para H02. Destaca-se que, apesar de ter o valor máximo observado de número de apartamentos, H05 não possui elevadores, fator de alto impacto no consumo de energia.

Os dados de consumo, de ocupação e os indicadores de desempenho energéticos dispostos na Tabela 4 equivalem ao período de 2019. Os consumos totais no respectivo ano variaram entre 212.664 kWh para H01 e 642.307 kWh para H04. Pôde-se observar que H04, apesar de corresponder ao segundo hotel de maior área e segundo também em quantidade de apartamentos, é o primeiro em consumo, sendo esse um indicativo de possíveis oportunidades de economia. Ressalta-se que a utilização de sistema central de condicionamento de ar pode ser fator determinante no consumo energético.

Os maiores valores de EUI, EUI_{AM} e EUI_D pertencem à H04, mas foi de H02 o máximo valor de EUI_{APTOS}. Os valores mínimos de consumo, EUI e EUI_{AM} são de H01, sendo esse um forte indicativo de seu bom desempenho energético operacional. O mínimo valor de EUI_D se dá por 11,84 de H05, explicado por se tratar da divisão entre o segundo menor consumo e a terceira maior quantidade de diárias.

Destaca-se que os hotéis com maior taxa de ocupação foram também os que apresentaram maior consumo energético. Dessa forma, o Gráfico 8 buscou expressar a associação entre a ocupação e o indicador EUI. Nele observou-se que existe relação real entre essas variáveis, visto que os valores de EUI variam de forma proporcional às variações da taxa de ocupação, assim como previsto na revisão bibliográfica.

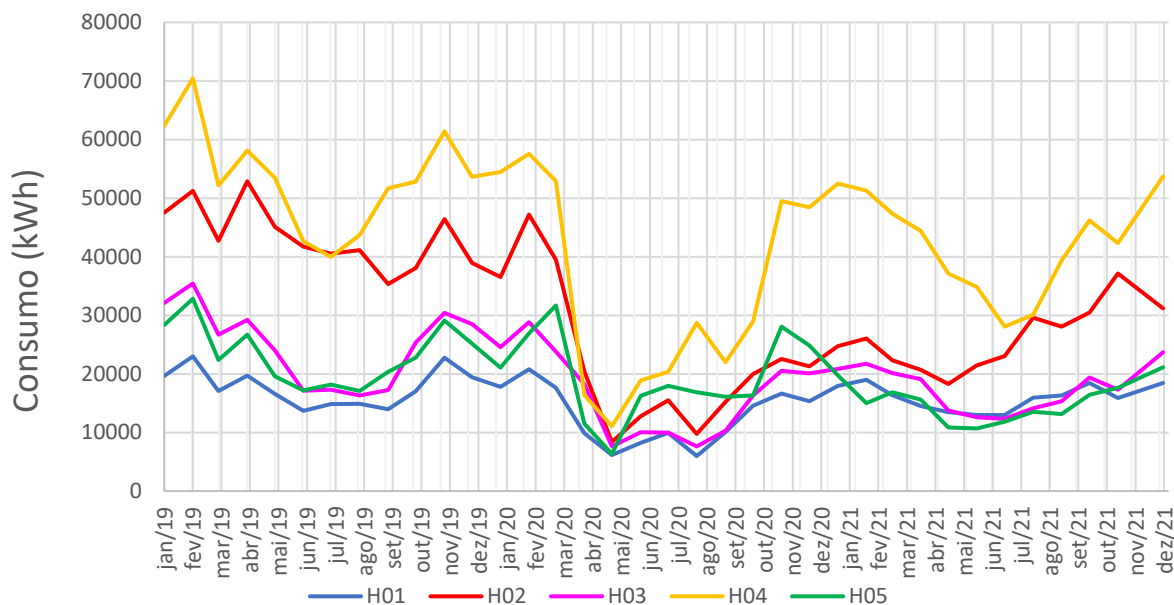
Gráfico 8 – Relação entre EUI e a taxa de ocupação.

Fonte: Fonte: a autora, 2022.

Impactado pelas paralisações no setor em decorrência da pandemia de COVID-19, houve queda de 35,42% no consumo total entre os anos de 2019 e 2020. E para uma melhor análise, no Gráfico 9 tem-se a distribuição mensal do consumo, entre os anos de 2019 e 2021. Apesar da notável recuperação, os níveis de consumo em 2021 não atingiram os anteriores à crise sanitária.

O Gráfico 9 também explicita queda de consumo energético nos meses de inverno dos períodos de 2019 e 2021, sendo justificada pela diminuição da necessidade de resfriamento do ar e sugerindo que o condicionamento de ar é responsável por parcela expressiva do consumo final, como indica os trabalhos de Buso e Corgnati (2017), Cunha e Oliveira (2020) e CBCS (2020a). Tendo em vista que quanto maior a quantidade de diárias vendidas, maior será a quantidade de hóspedes controlando o sistema de climatização de seus apartamentos, esse é mais um indicativo da interligação direta entre a taxa de ocupação e o consumo energético final das edificações hoteleiras da amostra.

Gráfico 9 – Distribuição de consumo mensal de energia elétrica das edificações da amostra.

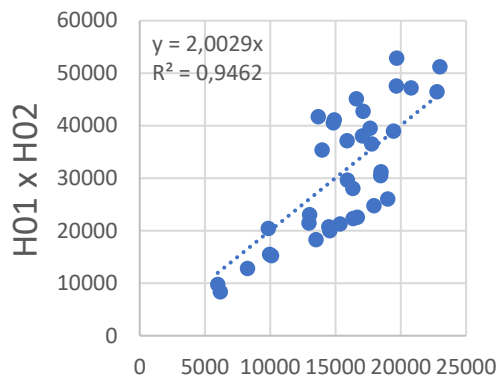


Fonte: a autora, 2022.

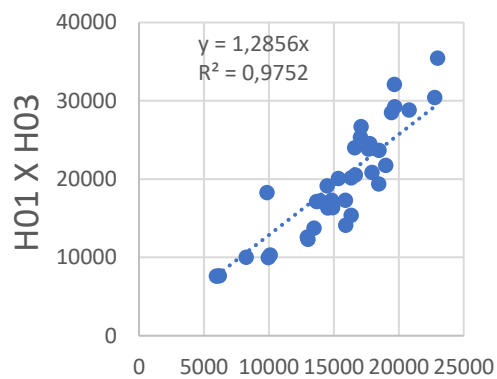
Os consumos individuais dos hotéis foram comparados por meio de dispersões, assim como é apresentado no Gráfico 10. Utilizando-se linhas de tendência com intersecções definidas, buscou-se verificar como esses consumos se correlacionavam entre si por meio dos coeficientes de determinação R^2 .

No Gráfico 10, o menor valor de R^2 verificado equivale a 0,9236 e foi obtido na dispersão (G) que correlaciona os consumos de H02 e H05. Apesar de ser o menor, ainda indica uma correlação fortíssima, visto que pode se dizer que 92,36% da variação do consumo de H02 pode ser explicada por variações no consumo de H05 e vice-versa. Apesar da grande flutuação de demanda energética das edificações hoteleiras causadas pelas condições aleatórias de operação dos apartamentos, como exposto por Chen, Tan e Berardi (2017), os altos valores de R^2 obtidos nas dispersões realizadas apontam que as unidades da amostra têm os mesmos fatores como base de variação de consumo energético.

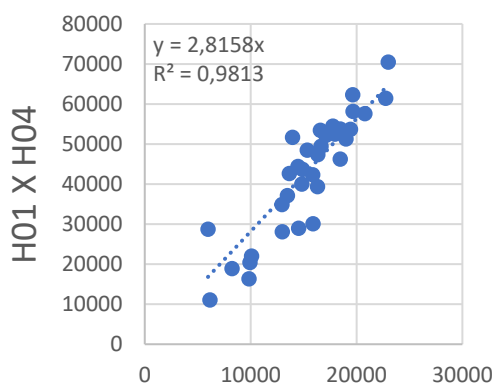
Gráfico 10 – Análise de correlação entre os consumos das unidades da amostra.



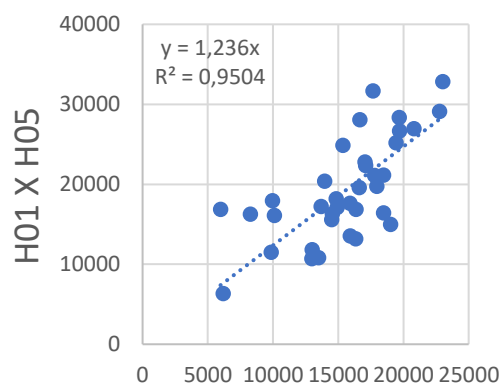
(A)



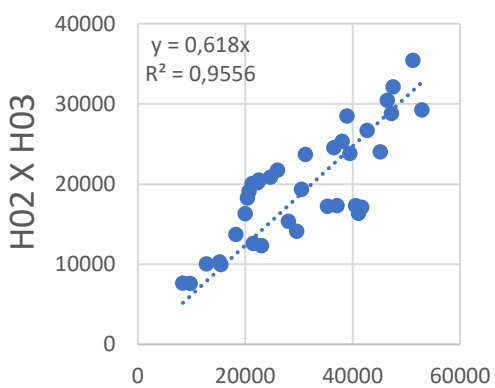
(B)



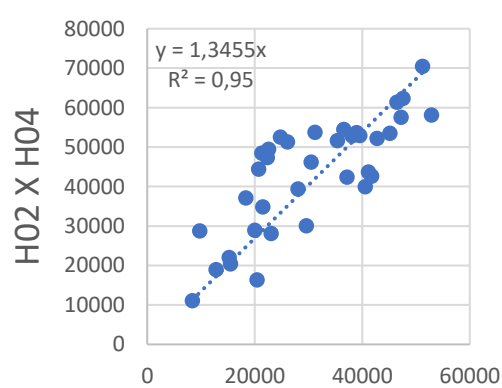
(B)



(D)

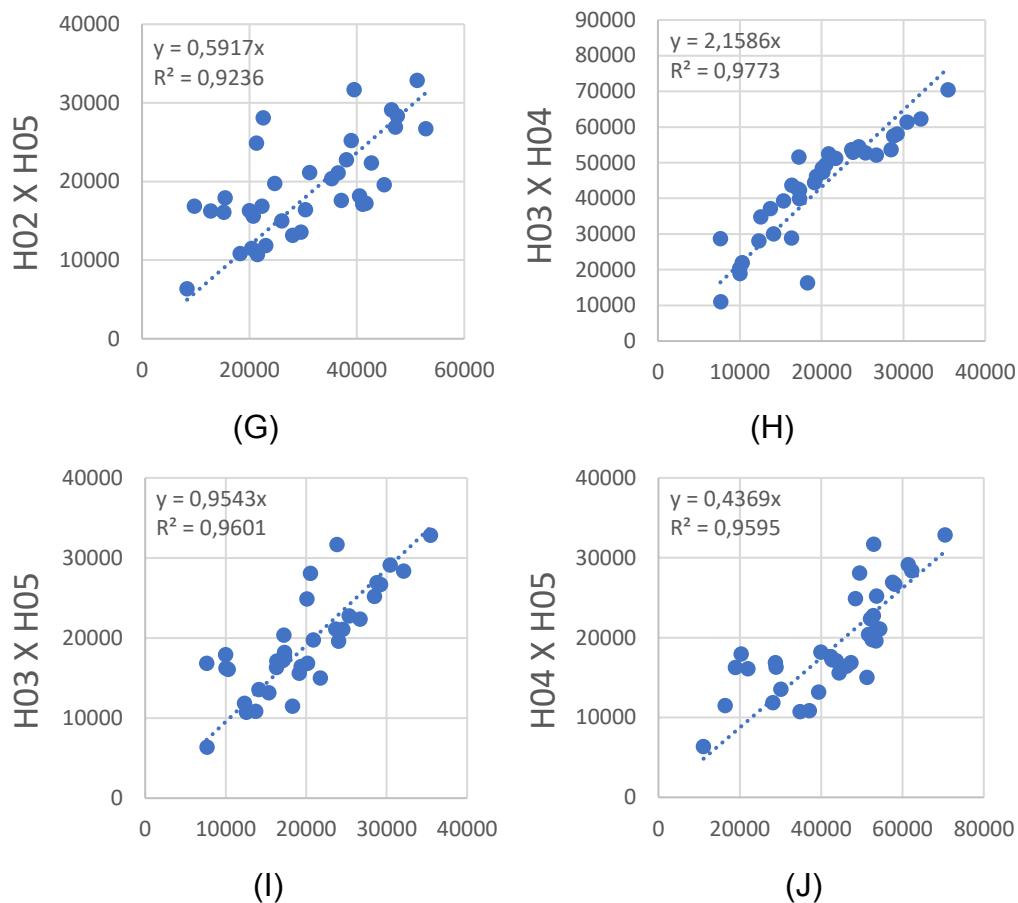


(E)



(F)

Gráfico 10 – Análise de correlação entre os consumos das unidades da amostra.

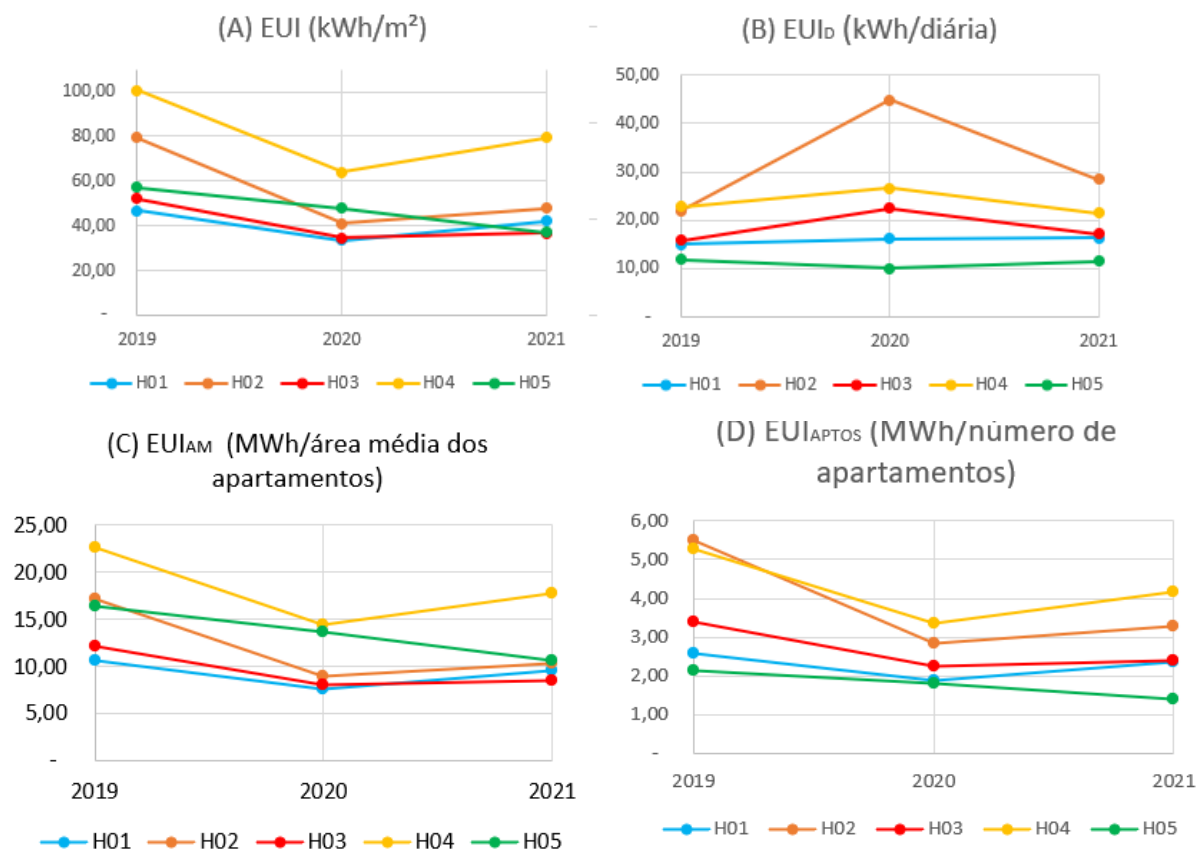


Fonte: a autora, 2022.

5.1.1 Indicadores de Uso de Energia

Os indicadores de desempenho energético de cada unidade hoteleira da amostra foram calculados para os anos de 2019, 2020 e 2021 com o objetivo de se avaliar o comportamento desses em situações atípicas de consumo, como ocorrido em 2020. São apresentadas no Gráfico 11 as variações de EUI em (A), EUI_D em (B), EUI_{AM} em (C) e EUI_{APTOS} em (D) ao longo dos três períodos.

Gráfico 11 – Variação dos indicadores EUI (A), EUI_D (B), EUI_{AM} (C) e EUI_{APTOS} (D) nos anos de 2019, 2020 e 2021.



Fonte: a autora, 2022.

Tendo em vista que em (A), (C) e (D) as variáveis área, área média dos apartamentos e quantidade de apartamentos permanecem fixas para cada hotel nos três anos, os indicadores variaram de forma diretamente proporcional à variação do consumo. Em (B), tem-se a relação entre consumo e quantidades de diárias, os quais apresentam valores diferentes em cada um dos períodos. Nessa análise, com exceção de H02, os indicadores mantiveram seus valores em um mesmo patamar ao longo dos anos. Esse é um indício que EUI_D pode ser considerado uma boa ferramenta de verificação de desempenho energético, visto que as razões permanecem apesar da grande variação de consumo observada em 2020.

Ainda, considera-se a existência do consumo energético mínimo em hotéis que não se relaciona com a taxa de ocupação e que inclui, por exemplo, o condicionamento de ar, iluminação artificial e equipamentos das áreas comuns e setor

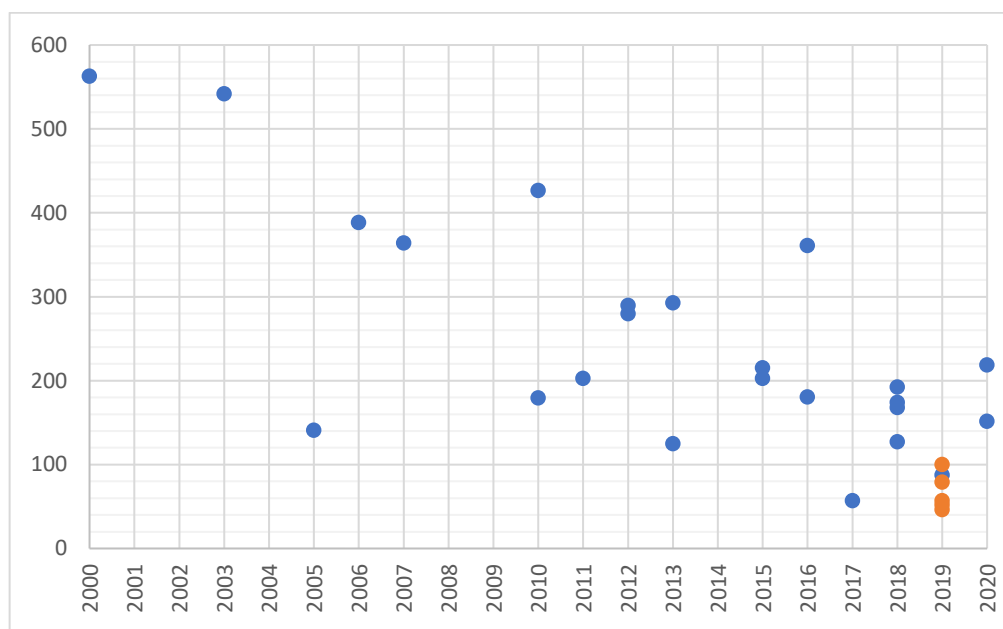
administrativo do hotel. Relacionando esse consumo basal com EUI_D , quanto maior a quantidade de diárias vendidas, menor parcela do total ele representará. Dessa forma pode-se explicar o grande aumento de valor de EUI_D de H02 em (B) para o ano de 2020, visto que com as paralisações no setor, o consumo energético fixo foi distribuído em menor quantidade de diárias e que essa foi a unidade da amostra mais afetada pela pandemia, tendo observado queda de 74,70% em seu número de diárias entre 2019 e 2020.

Nas quatro análises, H02 e H04 estão entre os que apresentam maiores valores dos indicadores energéticos, levando-se a considerá-los nessa etapa como as unidades com pior desempenho energético da amostra. Em contrapartida, H01 e H03 aparecem como os mais eficientes visto que seus indicadores estão sempre entre os menores valores observados.

O Gráfico 5 do item de revisão bibliográfica elencou a variação dos valores de EUI para edificações hoteleiras ao longo dos anos. Para atualizar essas informações, o Gráfico 12 adiciona à análise os valores de EUI da amostra em 2019, representados na cor laranja. Nota-se que a tendência de redução desses valores ao longo do tempo prevista por Amanda e Senjei (2009) se mantém, e que pode ser justificada pela melhora gradual da conservação de energia e aumento da eficiência dos equipamentos elétricos.

Observa-se que no Gráfico 12, o menor valor encontrado na literatura foi de $57,2\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ obtido em por Teng, Wu e Xu (2017) para um hotel econômico em Pequim. O EUI de $79,50\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ correspondente à H02 e o $100,49\text{kWh/m}^2$ de H04 da amostra hoteleira estudada possuem valores maiores que o mínimo observado. Tendo em vista que H01, H03 e H05 apresentaram valores abaixo desse, com $46,70\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, $52,12\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e $57,02\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ respectivamente, pôde-se considerar esses com bons desempenhos energéticos. Destaca-se que essa é uma análise simplificada, visto que para comparações efetivas se faz necessário o entendimento do contexto em que a edificação hoteleira está inserida.

Gráfico 12 – Valores de EUI para edificações hoteleiras verificados na literatura em azul e valores de EUI das edificações da amostra para 2019 em laranja.



Fonte: adaptado de (AMANDA; SANJEI, 2019).

5.1.2 Benchmarks Energéticos

A escolha das variáveis independentes para os modelos de *benchmarkings* se fez por meio dos coeficientes de Pearson obtidos. No processo identificou-se que, para essa amostra de dados, o consumo possuía correlação forte ou fortíssima com área construída e com área total dos apartamentos; EUI com área total dos apartamentos; EUI_D com área construída, quantidade de leitos, área média dos apartamentos e fator de forma; EUI_{AM} com quantidade de diárias; e EUI_{APTO} com área construída e fator de forma.

A partir dessas informações, o software R indicou as formas lineares das variáveis que garantissem os maiores valores dos coeficientes de determinação R^2 e, conseqüentemente, os melhores modelos. Na Tabela 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** tem-se o valor de R^2 e a equação final para cada um dos quatro modelos obtidos.

Tabela 5 – Modelos de *benchmarks* locais.

Modelo 1 R ² = 0,97	$\ln(Y_1) = 10,377 + 0,0000448 X_1 + 0,0596409 X_2$
Modelo 2 R ² = 0,91	$\ln(Y_2) = 4,402900 + 0,0000460 X_1 - 0,0071100 (1/ X_3)$
Modelo 3 R ² = 0,92	$\ln(Y_3) = -0,204580 + 0,0000438 X_1 + 618,8674169 X_3$
Modelo 4 R ² = 0,81	$Y_4 = 7.569,959616 + 0,1274485 X_1 - 38,3998397 X_3$

Fonte: a autora, 2022.

Sendo,

X₁ = Quantidades de Diárias [unidades/ano]

X₂ = Área Média dos Apartamentos [m²]

X₃ = Quantidade de Leitos [unidades/ano]

Y₁ = Consumo [kWh/ano]

Y₂ = EUI [kWh/m².ano]

Y₃ = EUI_{AM} [kWh/área média dos apartamentos.ano]

Y₄ = EUI_{APTO} [kWh/número de apartamentos.ano]

Tendo em vista que quanto mais próximo de 1 o valor de R² estiver, melhor se garante o ajuste do modelo, em análise às informações apresentados na Tabela 5, nota-se que os modelos 1, 2 e 3, com valores de 0,97, 0,91 e 0,92 para esse coeficiente são os que possuem melhor ajuste. Mesmo assim, o modelo 4, com 0,81, também pode ser considerado boa ferramenta de representação de consumo energético para essa amostra. Essa confirmação foi feita pela comparação entre os valores obtidos com aqueles apresentados nas pesquisas de Ding e Liu (2020), Cunha e Oliveira (2020), Nguyen e Rockwood (2019), Chen, Tan e Berardi (2018), CBCS (2020b), Geraldi e Guisi (2020), Gnecco (2021) e Borgstein e Lamberts (2014).

Destaca-se que grandes quantidades de variáveis independentes não garantem a excelência dos modelos. Como visto, Ding e Liu (2020) atingiram o coeficiente de determinação de 0,70 utilizando as três seguintes: horas de aquecimento anual, horas de resfriamento anual e área construída em sua equação. O atual estudo, mesmo sendo alimentado por apenas duas informações, garantiu um melhor desempenho estatístico. Mesmo assim, testou-se o aumento da quantidade de variáveis

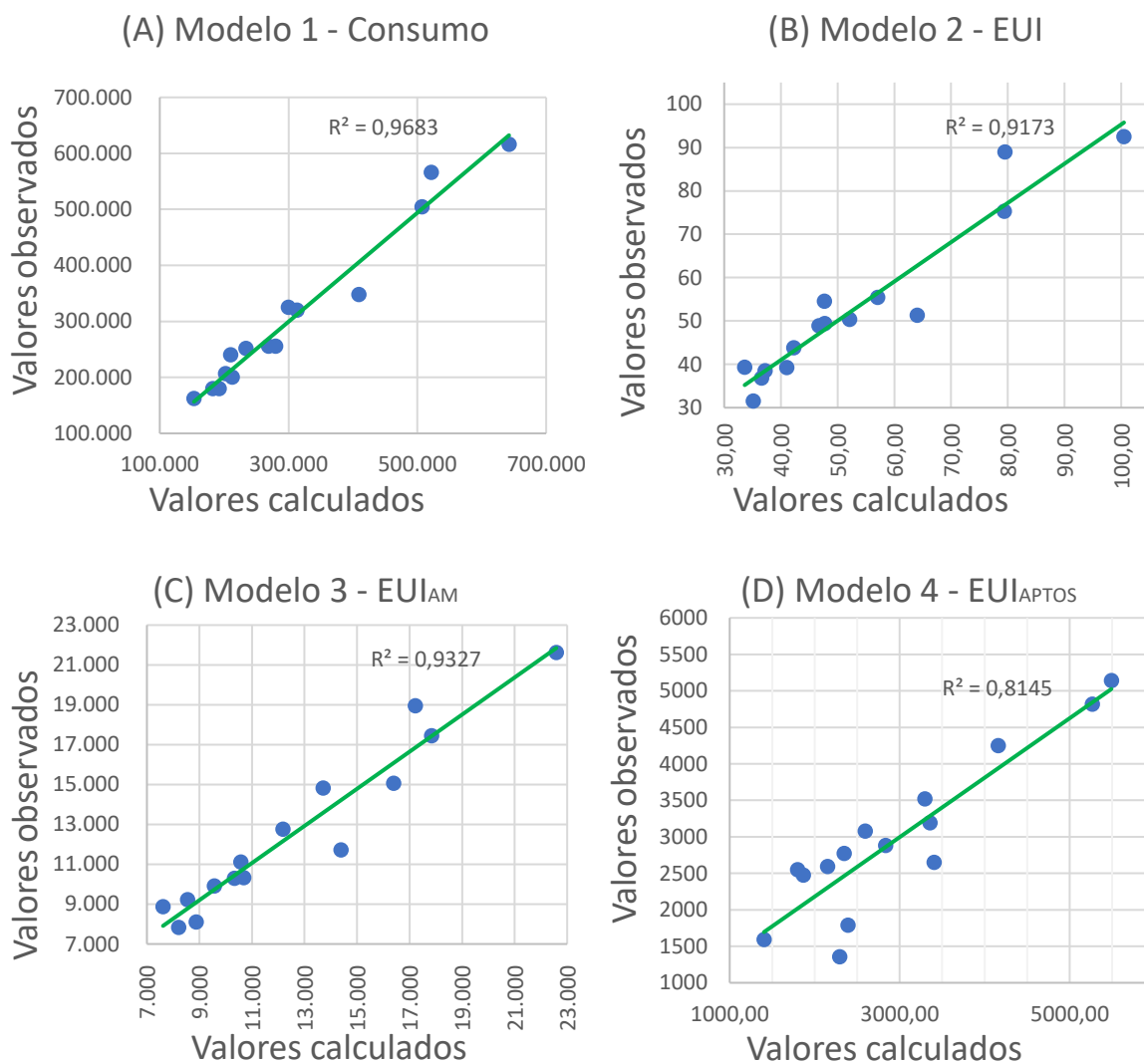
independentes, as quais não resultaram em melhorias no modelo final que justificassem a necessidade de coleta de mais uma informação para utilização da ferramenta.

Entende-se que a necessidade de apenas duas variáveis para a aplicação das equações propostas é uma vantagem no uso dessa ferramenta. Os gestores hoteleiros, sendo técnicos ou não, não terão dificuldades na coleta dos dados exigidos, visto que se tratam de informações de fácil acesso e frequentemente utilizadas na rotina de operação do hotel. Portanto, além de estabelecer um planejamento financeiro de maior precisão ao se prever o consumo, o administrador hoteleiro terá, de fato, uma rápida percepção de desempenho energético ao confrontar seus resultados com o de outros hotéis e poderá identificar oportunidades de aumento da eficiência energética. Ainda, tendo em vista que o modelo relaciona o consumo e a taxa de ocupação, o gestor poderá vislumbrar o impacto unitário de diárias vendidas no consumo final da edificação.

Apesar da baixa adesão à pesquisa, destaca-se a importância da utilização de dados reais para elaboração do *benchmarking* por regressão linear múltipla, e dessa forma foi feito por Bohdanowicz e Martinac (2007), Lu *et al.* (2013) e Ding e Liu (2020). Entende-se que a simulação energética possui vantagens como a ampliação da quantidade amostral e a análise da influência individual de cada parâmetro no consumo energético final. Porém, assim como apresentado por Yan *et al.* (2015), sabe-se existir uma lacuna entre o desempenho energético real e o simulado, tendo em vista que as simulações nem sempre conseguem prever problemas de operação.

O Gráfico 13 relaciona os valores levantados com os calculados por meio das equações de forma a possibilitar a verificação da aderência dos pontos na bissetriz do gráfico, assim como feito em CBCS (2020a). O autor aponta que quanto mais aderentes os pontos à bissetriz, melhor a equação consegue representar os valores calculados pelos modelos. As equações têm boa representatividade para as edificações hoteleira, visto que possuem alta aderência e altos coeficientes de determinação. Em destaque em (D) nota-se um ponto distante que corresponde ao EUI_{APTO} de H05 no ano de 2021 e possui o valor observado de 1.403,23 kWh/número de apartamentos.ano e o calculado de 1.597,38kWh/número de apartamento.ano.

Gráfico 13 – Comparação entre os valores observados e os calculados pela equação do Modelo 1 (A), do Modelo 2 em (B), do Modelo 3 em (C) e do Modelo 4 em (D).



Fonte: a autora, 2022.

Com base nas equações locais elaboradas foram realizadas as classificações para cada modelo, conforme dispostas no Quadro 4. Destaca-se que nessa análise não foi utilizada a equação do Modelo 1, que tem o consumo como variável Y, visto que a comparação entre consumos sem a consideração das demais características da edificação não exprimiria o real desempenho de um hotel. Investigou-se, portanto, o Modelo 1 apenas como ferramenta de previsão de consumo e não como base de escala de classificação de desempenho energético operacional.

A escala utilizada foi considerada efetiva visto que, com exceção de H05, as edificações obtiveram as mesmas classificações nas diferentes equações testadas. O desempenho de H01 e H03 foram tidos como “típicos”; H02 e H04 como “ineficientes” e H05 como “típica” na análise de EUI e de EUI_{APTO} e “ineficiente” na análise de EUI_{AM}. Essas concordam com as análises realizadas pelo Gráfico 11, no qual são expostas as variações dos indicadores entre os anos de 2019, 2020 e 2021. Na ocasião, o fato dos indicadores de desempenho energético de H02 e H04 permearem sempre os maiores níveis e os de H01 e H03 os menores foi considerado indício de que os dois últimos representam hotéis com bom desempenho energético e as duas primeiras unidades hoteleiras possuem várias oportunidades de economia de energia. Ainda, tanto no Gráfico 11 quanto no Quadro 4 a edificação H05 teve variação de desempenho.

Quadro 4 – Classificação das edificações no ano de 2019.

	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
	EUI (kWh/m².ano)	EUI_{AM} (kWh/área média dos apartamentos.ano)	EUI_{APTO} (consumo/número de apartamentos)
H01	Típico	Típico	Típico
H02	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
H03	Típico	Típico	Típico
H04	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
H05	Típico	Ineficiente	Típico

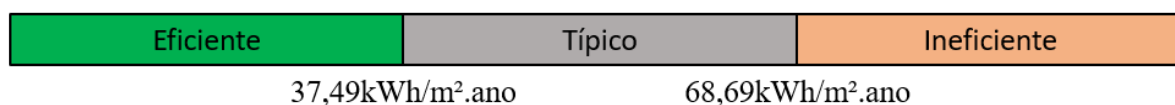
Fonte: a autora, 2022.

Avaliando-se em conjunto os altos valores de R² apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e as classificações de desempenho do Quadro 4, as quais condizem com as análises das características de consumo individuais dos hotéis, os modelos 2, 3 e 4 foram considerados ótimas ferramentas de *benchmarking*. Ainda, o modelo 3 demonstrou que, assim como sugerido por Bohdanowicz e Martinac (2007), Wang (2012), Lu *et al.* (2013), Ding e Liu (2020) e PPEC (2020), variados tipos de indicadores de desempenho podem representar o consumo energético de edificações hoteleiras com excelência.

Porém, tendo em vista que um dos objetivos desta pesquisa é a comparação dos resultados obtidos com a metodologia DEO (CBCS, 2020a), o modelo 2 foi tido como

o de melhor aplicabilidade para esse estudo, visto que os resultados de EUI podem ser confrontados tanto com os da proposta nacional quanto com os disponíveis em grande quantidade na literatura. Dos valores calculados por esse modelo obtiveram-se a média de 53,09 kWh/m².ano e o desvio padrão de 18,50, e os limites dos intervalos da escala de classificação resultante se apresentaram conforme a Figura 5.

Figura 5 – Escala de desempenho energético para o Modelo 2 do *benchmarking* local.



Fonte: a autora (2022).

5.1.3 Aplicação da Metodologia Nacional

O estudo foi continuado para H01 e H02, e as informações coletadas de ambas para aplicação da equação proposta pelo projeto DEO (CBCS, 2021b) são resumidas na Tabela 6. Durante as visitas, notou-se em H01 uma grande preocupação com redução de consumo energético, visto a ampla utilização de sensores de presença nos ambientes comuns. Destaca-se também o uso da ventilação natural no restaurante, que teve início devido à pandemia, mas que representa uma grande área comum com menor necessidade de condicionamento de ar.

Tabela 6 – Resumo das informações de H01 e H02 para aplicação da metodologia nacional.

	H01	H02
GHR	34.996	34.996
GDA	139,4	139,4
ILUM (W/m²)	1,95	2,18
AVAC	2	2
ENTO	0,75	0,25
SAQ	0	0
Número de quartos	82	95
Área média dos quartos (m²)	20,11	30,3
Taxa de ocupação	0,47	0,68
Demais áreas	2.905,14	3.682,69

Tabela 6 – Resumo das informações de H01 e H02 para aplicação da metodologia nacional.

	H01	H02
Área dos quartos (m²)	1.648,73	2.878,88

Fonte: a autora, 2022.

Assim, na Tabela 7, além dos valores finais de EUI obtidos para H01 e H02 com a utilização da metodologia nacional, pode-se realizar a comparação entre esse e os valores reais do indicador e os obtidos pelo respectivo modelo local.

Tabela 7 – Valores de EUI (kWh/m²) nos diferentes cenários do estudo para o ano de 2019.

	H01	H02
Real	46,70	79,50
Modelo 2	48,93	89,00
Projeto DEO	32,70	39,84

Fonte: a autora, 2022.

As diferenças expressivas observadas entre os valores reais e os calculados pela equação nacional podem ser explicadas visto que o Projeto DEO não considera, ou considera em partes, o consumo de alguns ambientes. Segundo CBCS (2022b), as cozinhas e lavanderias, por exemplo, não foram contabilizadas no consumo de equipamentos, dada grande diversidade de arranjos possíveis de maquinaria para esses ambientes. Os autores apontam que assim foi feito também com sistemas de iluminação externa, dos equipamentos das academias de ginástica, dos sistemas de aquecimento de piscinas, das saunas, dos spas, de sistema centrais elétrico de aquecimento de água para as unidades de hospedagem e de outras facilidades encontradas em edificações hoteleiras. Como consequência, eles orientam que os consumos relativos a esses ambientes deverão ser levantados para além das equações de *benchmark* propostas para hotéis. Por outro lado, o *benchmarking* local proposto utilizou os consumos totais das edificações para a composição das equações, visto que esses eram os dados disponíveis.

Os valores calculados por meio da equação nacional como limites da classe “Típica” são apresentados na Tabela 8. Nota-se que os indicadores de intensidade de uso de energia de H01 e H02 são menores do que os valores mínimos do intervalo, sendo, portanto, ambas edificações classificadas como “Eficientes” nessa

metodologia. Evidencia-se o fator densidade de potência de iluminação (ILUM) como principal responsável por esse resultado.

Destaca-se que o método fixa essa variável em $8,34\text{W/m}^2$ para a obtenção do mínimo valor do intervalo “Típico” e que os valores calculados para H01 e H02 são de $1,95\text{W/m}^2$ e $2,18\text{W/m}^2$, respectivamente. Ainda, ressalta-se que essa é uma tipologia que possui edificações com grandes áreas de subsolo e de circulação nos pavimentos tipos, as quais não exigem altos valores de iluminância. Dos $4.553,88\text{m}^2$ de área construída de H01, $865,62\text{m}^2$ correspondem à área de subsolos e dos $6.561,57\text{m}^2$ de área construída de H02, $1.115,68\text{m}^2$ correspondem ao subsolo. Sendo esses ambientes de baixa iluminação, o valor final de densidade de potência é impactado diretamente.

Tabela 8 – Valores de EUI (kWh/m^2) calculado e limites do intervalo “Típico” para a metodologia nacional.

		H01	H02
EUI calculado		32,70	39,84
Intervalo Típico	Mínimo	56,37	60,54
	Máximo	82,56	87,55

Fonte: a autora, 2022.

Dessa forma, a classificação feita com base no *benchmarking* local, a qual tem H01 como típica e H02 como ineficiente, e as demais análises realizadas anteriormente, que colocam H02 entre as unidades hoteleiras menos eficientes da amostra, vão de encontro aos resultados obtidos pelo modelo nacional, que apontam as duas edificações como eficientes.

Nesse processo evidenciou-se a importância dada à variável ILUM, que apresentou uma alta complexidade em seu processo de coleta devido aos múltiplos pavimentos e às grandes áreas construídas das edificações estudadas. Retoma-se que na análise da distribuição de energia por uso final em três hotéis da cidade de São Paulo feita por CBCS (2020a), a iluminação foi apenas a terceira maior consumidora de energia em dois deles, sendo responsável por 10,63% e 15,94% dos totais, e a segunda maior no terceiro hotel, com 13,55%. Frente a isso, questiona-se o destaque dessa variável no método nacional, visto que além da dificuldade de coleta, esse não é o principal fator consumidor em hotéis.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram propostos modelos de *benchmarking* local para os hotéis da cidade de Londrina e posteriormente, seus resultados foram comparados com um modelo de *benchmarking* nacional exposto por CBCS (2021). Para isso, seguiu-se as seguintes etapas de pesquisa: (1) Coleta de dados; (2) Desenvolvimento dos *benchmarks* energéticos locais; (3) Aplicação da metodologia nacional do Projeto DEO; e (4) Análise dos resultados.

Os 20 gerentes dos hotéis de médio e alto padrão de qualidade da cidade, que possuíam 40 ou mais apartamentos e mais de 1.500m² de área construída foram convidados para a pesquisa, mas apenas 6 deles aceitaram a proposta. Os dados de uma das unidades hoteleiras foram descartados devido à não conformidade com os demais. A coleta de dados ocorreu por meio da aplicação de questionários que buscava, principalmente, o consumo anual das edificações e a quantidade de diárias vendidas nos anos de 2019, 2020 e 2021, pela análise dos projetos disponíveis na Prefeitura Municipal de Londrina, por visita aos empreendimentos e por meio da disponibilização pela operadora de energia local.

Nessa etapa destacou-se a dificuldade em engajar os responsáveis pelas edificações a participarem do estudo e esse foi considerado o fator limitante da pesquisa. Apesar da importância da pesquisa ter sido exposta de diversas formas, aponta-se que o compartilhamento de dados de consumo energético pode ser visto por eles como fator de aumento da vulnerabilidade frente à concorrência do mercado. As adversidades também ocorreram para a verificação de características físicas dos empreendimentos, visto que alguns projetos se encontravam desatualizados e antes da coleta de dados *in loco* se fez necessária a verificação do *as built*.

Pôde-se observar a importância do consumo hoteleiro para a cidade, visto que, apesar de apenas 20,49% das empresas hoteleiras corresponderem à hotéis, estas são responsáveis por 74,31% do consumo do setor de alojamento da cidade. Ainda, os empreendimentos hoteleiros pertencem ao setor comercial, o qual teve um aumento no consumo de 21,20% entre os anos de 2020 e 2022 no município, valor consideravelmente maior do que os 4,10% de crescimento anual previsto.

Nesse contexto estão inseridas as cinco unidades da amostra, que, impactadas pelas paralisações no setor em decorrência da pandemia de COVID-19, tiveram queda de 35,42% do consumo de energia elétrica anual em 2020. Apesar da notável recuperação, os níveis de consumo em 2021 não atingiram os anteriores à crise sanitária. Ainda, pôde-se observar boas correlações entre os consumos particulares de cada uma das edificações hoteleiras da amostra, situação que indica que têm os mesmos fatores como base de variação de consumo energético.

Foram calculados quatro tipos de indicadores para análise da amostra: EUI, EUI_D, EUI_{AM} e EUI_{APTOS} que correspondem à razão entre o consumo anual e a área construída, a quantidade de diárias, a área média dos apartamentos e a quantidade de apartamentos respectivamente. O EUI_D foi considerado boa ferramenta de verificação de desempenho energético, tendo em vista que se manteve constante ao longo dos anos para quatro das cinco edificações apesar da grande variação do consumo observada em 2020.

A regressão linear foi a ferramenta utilizada para produção dos modelos de *benchmarkings* locais. Devido à baixa adesão à pesquisa e ao fornecimento de dados por apenas cinco edificações, os dados de consumo dos anos de 2019, 2020 e 2021 de cada um dos hotéis foi utilizado nesse processo para se aumentar os graus de liberdade e se garantir a validade estatística das regressões. Não se pôde utilizar o indicador EUI_D como variável resposta, visto que em sua composição é prevista a razão entre o consumo e a quantidade de diárias, as quais são os únicos fatores com variação total nos três períodos analisados.

Além de se explicitar a efetiva relação entre o consumo energético de hotéis e sua taxa de ocupação, os resultados também indicaram a mesma tendência de redução de consumo ao longo do tempo prevista na literatura.

A escolha das melhores equações locais foi feita com base no coeficiente de determinação. Foram calculados modelos que possuíam consumo, EUI, EUI_{AM} e EUI_{APTOS} como variável resposta com os seguintes respectivos valores de R²: 0,97; 0,91; 0,92; e 0,81. O modelo com base em EUI foi tido como o de melhor aplicabilidade para esse estudo. A grande vantagem dessas equações é a necessidade de apenas duas variáveis para aplicação, as quais correspondem à informações comuns na rotina de operação do hotel, se tornando dispensáveis grandes levantamentos de

dados no processo. Portanto, a ferramenta se mostra de uso facilitado para técnicos e leigos e possibilita aos gestores, de fato, uma rápida percepção de desempenho.

Destaca-se a dificuldade de aplicação das escalas existentes para pequenas amostras. Com isso, a de Veloso *et al.* (2020) foi adaptada de forma a buscar também consonância com a nomenclatura proposta pelo CBCS (2021). Com exceção de H05, as edificações obtiveram as mesmas classificações nas diferentes equações testadas. O desempenho de H01 e H03 foram tidos como “típicos”; H02 e H04 como “ineficientes” e H05 como “típica” na análise de EUI e de EUI_{APTO} e “ineficiente” na análise de EUI_{AM}. Tais classificações foram ao encontro das análises iniciais realizada com base apenas nos indicadores EUI, EUI_D, EUI_{APTO} e EUI_{AM} dos anos de 2019, 2020 e 2021.

Na aplicação da metodologia nacional de *benchmarking* em duas das edificações da amostra, observou-se que para o item ENTO, referente ao sombreamento no entorno, existe a orientação de se utilizar o valor zero para casos com sombreamento e o valor um para edifícios sem sombreamento no entorno. Nota-se a falta de diretrizes para aplicação desses valores em situações que tenham apenas algumas das faces sombreadas por edifícios de mesma altura.

Além disso, houve grande variação entre os valores de EUI reais e aqueles calculados pela equação nacional e isso se dá visto que essa não considera, ou considera em partes, o consumo de alguns ambientes como cozinha e lavanderias, por exemplo. Notou-se ainda que houve grande diferença entre a classificação realizada para H01 e H02 no *benchmarking* local com base em EUI e no nacional, no qual ambas foram consideradas eficientes. Entende-se o valor estabelecido como fixo de ILUM para limite mínimo da classe “Típica” como principal responsável por essa diferença, visto que é consideravelmente maior aos levantados *in loco*. Nesse sentido, deve-se levar em consideração as grandes áreas de subsolo e de circulação entre os apartamentos que exigem baixa iluminância e que são características dessa tipologia.

Além disso, destaca-se a dificuldade no levantamento da potência de iluminação em edificações de grande porte. A busca por modelos cujos parâmetros de entrada sejam mais facilmente obtidos resultaria em uma maior aplicabilidade do *benchmarking*.

As variações significativas entre os resultados dos dois métodos apontaram a importância da realização de um *benchmarking* local para essa amostra com objetivo de se criar condições reais de análise.

Com relação ao desempenho energético, H01 apresentou os melhores resultados, demonstrando uma boa gestão dos recursos energéticos em uso. Por outro lado, H02 e H04 foram classificados como ineficientes nos três modelos, sendo esse um indicativo de que possuem oportunidades de economia de energia. As maiores áreas médias de apartamentos levantadas associadas ao baixo desempenho térmico desses devido à fachada envidraçada pode ter contribuído com o alto consumo energético de H02. Para H04, o uso de sistema central de condicionamento de ar foi considerado o principal requisito do baixo desempenho energético operacional. Ressalta-se que esses resultados foram conhecidos com o auxílio da ferramenta de *benchmarking* e que a disponibilização desses para os gestores dos hotéis pode ser um incentivo à adoção de práticas de conservação de energia.

Por fim, sugere-se as seguintes pesquisas futuras:

- Ampliação da quantidade amostral de edificações hoteleiras para estudo na cidade de Londrina e de outras cidades com condições climáticas semelhantes;
- Elaboração de *benchmarkings* de edificações hoteleiras em outras localidades para analisar se as diferenças com relação à proposta nacional se mantêm.
- Verificar se outras edificações hoteleiras da cidade se enquadram entre os valores extremos propostos como limites mínimos e máximos pelo Projeto DEO (CBCS, 2021b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR15220/2005: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1–23, 2005.

ALFARIS, F.; ABU-HIJLEH, B.; ABDUL-AMEER, A. Using integrated control methodology to optimize energy performance for the guest rooms in UAE hospitality sector. **Applied Thermal Engineering**, v. 100, p. 1085–1094, 2016.

ALVES, T. et al. Assessing the energy saving potential of an existing high-rise office building stock. **Energy and Buildings**, v. 173, p. 547–561, 2018.

ALZBOUN, N. et al. Exploring the Financial Leakages in the Classified Hotels in Jordan: A Managerial Perspective. **International Journal of Hospitality and Tourism Administration**, v. 18, n. 4, p. 429–443, 2017.

AMANDA, H. A. H.; SANJEL, C. in Existing Hotel Buildings - A Review. **ENGINEER-JOURNAL OF THE INSTITUTION OF ENGINEERS SRI LANKA**, v. 52, n. 4, p. 51–61, 2019.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 9ª ed. Florianópolis: UFSC, 2014.

BARROS, M. V. F. B. et al. **Atlas Digital da Região Metropolitana de Londrina**. Disponível em: <<http://www.uel.br/projetos/atlasrml/mapas/rml.html>>. Acesso em: 2 maio. 2021.

BOEMI, S. N. et al. A statistical approach to the prediction of the energy performance of hotel stock. **International Journal of Ventilation**, v. 10, n. 2, p. 163–172, 2011.

BOHDANOWICZ, P.; MARTINAC, I. Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels - Case study of Hilton International and Scandic in Europe. **ENERGY AND BUILDINGS**, v. 39, n. 1, p. 82–95, jan. 2007.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 734–755, 2016.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/comunicacao-tecnica/show.asp?ppsCode=F7DB9C2C-E746-423C-8759-3922567EE4A5>>.

BRASIL. Lei Geral de Proteção de Dados. . 14 ago. 2018.

BUSO, T.; CORGNATI, S. P. A customized modelling approach for multi-functional buildings – Application to an Italian Reference Hotel. **Applied Energy**, v. 190, p. 1302–1315, 2017.

CBCS. **Benchmarking e etiquetagem energética “ em uso ” Visão Brasileira**. [s.l: s.n.].

CBCS. **Relatório interno: Convênio de cooperação técnico-financeira entre a Eletrobrás e o CBCS, destinado ao desenvolvimento de benchmarks energéticos no âmbito do PROCEL: RT2A.03 - Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B802B0029-14D0-4BD8-A9C0-EE7B1D8B8A73%7D>>. Acesso em: 29 jun. 2022a.

CBCS. **Relatório interno: Convênio de cooperação técnico-financeira entre a Eletrobrás e o CBCS, destinado ao desenvolvimento de benchmarks energéticos no âmbito do PROCEL: RT2B.03 - Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de benchmark para a tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B802B0029-14D0-4BD8-A9C0-EE7B1D8B8A73%7D>>. Acesso em: 29 jun. 2022b.

CBCS. **Desempenho Energético Operacional em Uso**. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/benchmarking-energia/show.asp?ppgCode=0EB1EB03-DD95-D58C-7C89-2DCB107D5769>>. Acesso em: 14 out. 2021a.

CBCS. **FICHA TÉCNICA: Equações de benchmark - Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em:

<<https://plataformadeo.cbcs.org.br/pdf/T04-Hotel-de-Pequeno-Porte-e-pousada.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2022b.

CHEDWAL, R. et al. Energy saving potential through Energy Conservation Building Code and advance energy efficiency measures in hotel buildings of Jaipur City, India. **Energy and Buildings**, v. 92, p. 282–295, 2015.

CHEN, Y.; TAN, H.; BERARDI, U. Day-ahead prediction of hourly electric demand in non-stationary operated commercial buildings: A clustering-based hybrid approach. **Energy and Buildings**, v. 148, p. 228–237, 2017.

CHEN, Y.; TAN, H.; BERARDI, U. A data-driven approach for building energy benchmarking using the Lorenz curve. **Energy and Buildings**, v. 169, p. 319–331, 2018.

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

CINGOSKI, V.; PETREVSKA, B. Making hotels more energy efficient: The managerial perception. **Economic Research-Ekonomska Istrazivanja**, v. 31, n. 1, p. 87–101, 2018.

CUNHA, F. O.; OLIVEIRA, A. C. Benchmarking for realistic nZEB hotel buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 30, 2020.

DA SILVA; MICHEL K. P. **Desenvolvimento de benchmark energéticos em centros de saúde**. Florianópolis: Universidade Estadual de Santa Catarina, 2022.

DENG, S. Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 775–784, 2003.

DENG, S. M.; BURNETT, J. A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong. **ENERGY AND BUILDINGS**, v. 31, n. 1, p. 7–12, jan. 2000.

DING, Y. et al. Benchmark analysis of electricity consumption for complex campus buildings in China. **APPLIED THERMAL ENGINEERING**, v. 131, p. 428–436, 2017.

DING, Y.; LIU, X. A comparative analysis of data-driven methods in building energy benchmarking. **Energy and Buildings**, v. 209, 2020.

EARTH, G. **Edificações hoteleiras na cidade de Londrina-PR**. Disponível em: <<https://google-earth.gosur.com/?gclid=CjwKCAjwo4mlBhBsEiwAKgzXOPEkjlrbgFQ2XBT3sxyanUJJ>>

gZaLZiZwVnGHQ_Xp8RTREuy_Pg5W4hoCWFwQAvD_BwE>. Acesso em: 28 jul. 2021.

EARTH, G. **Edificações hoteleiras na cidade de Londrina-PR**. Disponível em: <https://google-earth.gosur.com/?gclid=CjwKCAjwo4mlBhBsEiwAKgzXOPEkjlrbgFQ2XBT3sxyanUjJgZaLZiZwVnGHQ_Xp8RTREuy_Pg5W4hoCWFwQAvD_BwE>. Acesso em: 28 jul. 2021.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 – Demanda de eletricidade**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030__PDE_2030.pdf>.

EPE. **Demanda e Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://es.slideshare.net/AntoRoFabrelloLunge125/informe-sobre-consumo-de-energia-pdf>>.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2050** Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio_Final_do_PNE_2050.pdf>.

FARROU, I.; KOLOKOTRONI, M.; SANTAMOURIS, M. A method for energy classification of hotels: A case-study of Greece. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 553–562, 2012.

FERENHOF, H.; FERNANDES, R. DESMISTIFICANDO A REVISÃO DE LITERATURA COMO BASE PARA REDAÇÃO CIENTÍFICA: MÉTODO SSF. **Revista ACB (Florianópolis)**, v. 21, n. 3, p. 550–563, 1 maio 2016.

G. BOTTAMEDI, M. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE HOTÉIS DE QUATRO ESTRELAS EM FLORIANÓPOLIS: APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. Mapping the energy usage in Brazilian public schools. **ENERGY AND BUILDINGS**, v. 224, 2020.

GNECCO, V. **Desenvolvimento de um modelo de benchmarking local para as escolas públicas de ensino infantil de Florianópolis**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, set. 2021.

GORI, A. M. **Econometria Conceitos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Saint Paul, 2017.

IDR. **Temperaturas Médias Históricas na Estação de Londrina - PR**. Disponível em: <<http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Londrina.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2021.

INMETRO. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. . 2021, p. 139.

INMETRO. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. . 2022, p. 1–70.

INVIDIATA, A. et al. Classificação energética dos meios de hospedagem pelos Regulamentos Técnico da Qualidade - RTQS. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 1, n. 1, p. 263–272, 2014.

IPARDES. **Caderno Estatístico Município de Londrina**. Londrina: [s.n.].

IPARDES. **CADERNO ESTATÍSTICO MUNICÍPIO DE LONDRINA**. Londrina: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=86000>>. Acesso em: 22 maio. 2022b.

JLL. **Hotelaria em Números - Brasil 2019**. Disponível em: <<http://fohb.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Hotelaria-em-números-2019.pdf>>.

JOTA, P. R. DA S.; DE SOUZA, A. P.; DA SILVA, V. R. Energy performance indexes: analysis in public schools in Brazil. **ENERGY EFFICIENCY**, v. 10, n. 6, p. 1433–1451, 2017.

JUAIDI, A. et al. Energy benchmarking for shopping centers in Gulf Coast region. **Energy Policy**, v. 91, p. 247–255, 2016.

KATIRCIOGLU, S. et al. Estimating the effects of tourism growth on emission pollutants: empirical evidence from a small island, Cyprus. **Air Quality, Atmosphere and Health**, v. 13, n. 4, p. 391–397, 2020.

LEE, W. S.; LEE, K. P. Benchmarking the performance of building energy management using data envelopment analysis. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 16, p. 3269–3273, 2009.

LI, Z.; HAN, Y.; XU, P. Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: An overview. **Applied Energy**, v. 124, p. 325–334, 2014.

LU, S. et al. Investigation and analysis on the energy consumption of starred hotel buildings in Hainan Province, the tropical region of China. **ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT**, v. 75, p. 570–580, nov. 2013.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Avaliação Computacional de Estratégias para a Redução do Consumo de Energia Elétrica em um Hotel de Florianópolis**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. **Anais...**2006.

NGUYEN, A. T.; ROCKWOOD, D. Developing an energy benchmarking system for hotel buildings using the statistical method and the simulation-based approach. **Journal of Green Building**, v. 14, n. 3, p. 3–22, 2019.

ÖNÜT, S.; SONER, S. Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 8, p. 964–971, 2006.

PPEC. **Guia de Boas Práticas**. Disponível em: <<http://www.porumturismosustentavel.pt/db/documentos/1081.1.1.5e31a02401b04.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Certidão Narrativa de Lançamento de IPTU**. Disponível em: <<https://portal.londrina.pr.gov.br/iptu/certidao-narrativa>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

QUEVEDO, T. **Desenvolvimento de benchmark de edificações de ensino superior**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

ROSSELLÓ-BATLE, B. et al. Energy use, CO₂ emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 4, p. 547–558, 2010.

ROTH, J.; RAJAGOPAL, R. Benchmarking building energy efficiency using quantile regression. **ENERGY**, v. 152, p. 866–876, jun. 2018.

SALEM, R. et al. Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. **Journal of Building Engineering**, v. 31, 2020.

SHAO, M. et al. Prediction of energy consumption in hotel buildings via support vector machines. **Sustainable Cities and Society**, v. 57, 2020.

SHENG, Y. et al. Energy consumption model and energy benchmarks of five-star hotels in China. **Energy and Buildings**, v. 165, p. 286–292, 2018.

SILVA, H. L. N.; SANT ANA, P. H. M.; LOURENÇO, S. R. Energy Benchmarking in a Portfolio of Educational Buildings in Brazil Using Support Vector Machine and Data Envelopment Analysis. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 3, p. 26692–26696, 2019.

TALLMANN, J. A. R.; CARVALHO, C. R.; GALAFASSI, M. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA ARQUITETÔNICA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS. **XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, n. September, 2019.

TANG, M. et al. Energy Performance of Hotel Buildings in Lijiang, China. **SUSTAINABILITY**, v. 8, n. 8, 2016.

TENG, Z.-R.; WU, C.-Y.; XU, Z.-Z. New energy benchmarking model for budget hotels. **International Journal of Hospitality Management**, v. 67, p. 62–71, 2017.

TRUNG, D. N.; KUMAR, S. Resource use and waste management in Vietnam hotel industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 2, p. 109–116, 2005.

TULSYAN, A. et al. Potential of energy savings through implementation of Energy Conservation Building Code in Jaipur city, India. **Energy and Buildings**, v. 58, p. 123–130, 2013.

VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G.; KOURY, R. N. N. Research of Design Features that Influence Energy Consumption in Office Buildings in Belo Horizonte, Brazil. **Energy Procedia**, v. 111, n. September 2016, p. 101–110, 2017.

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.

VERSAGE, R.; BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. **Graus-hora de Resfriamento**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/benchmarkingenergia/Arquivosclimáticos>:<http://www.labeee>.

ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epwMetodologiadebenchmarking:http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814005659www.cbcs.org.brwww.cbcs.org.br>.

WANG, J. C. A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan. **ENERGY AND BUILDINGS**, v. 49, p. 268–275, jun. 2012.

XUCHAO, W.; PRIYADARSINI, R.; EANG, L. S. Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore’s hotel industry. **ENERGY POLICY**, v. 38, n. 8, p. 4520–4527, 2010.

YAN, D. et al. Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 264–278, 2015.

YAO, Z.; ZHUANG, Z.; GU, W. **Study on Energy Use Characteristics of Hotel Buildings in Shanghai**. (P. J., S. Y., Eds.)9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC 2015 Joint with the 3rd International Conference on Building Energy and Environment, COBEE 2015. **Anais...**Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai, 200082, China: Elsevier Ltd, 2015.

YUAN, Z. et al. Combination of cuckoo search and wavelet neural network for midterm building energy forecast. **Energy**, v. 202, 2020.

(GNECCO, 2021a)

(ALZBOUN et al., 2017)

(G. BOTTAMEDI, 2011)

(NGUYEN; ROCKWOOD, 2019)

(DING et al., 2017)

(JUAIDI et al., 2016)

(JOTA; DE SOUZA; DA SILVA, 2017)

(GERALDI; GHISI, 2020)

(PPEC, 2020)

(BARBETTA, 2014)

(MELO; WESTPHAL; LAMBERTS, 2006)

(INVIDIATA et al., 2014)

(BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016)

(VELOSO; SOUZA; KOURY, 2017)

(ALVES et al., 2018)

(SILVA; SANT ANA; LOURENÇO, 2019)

(SALEM et al., 2020)

(TALLMANN; CARVALHO; GALAFASSI, 2019)

(BRASIL, 2018)

(QUEVEDO, 2021)

(DA SILVA; MICHEL K. P., 2022)

APÊNDICE A – Carta Ofício à AMEH-PR

Prezados,

Solicitamos o apoio da Associação de Meios de Hospedagem de Londrina na divulgação de pesquisa científica, em nível de mestrado, intitulada: “*Benchmarking Energético de Edificações Hoteleiras da Cidade de Londrina-PR*”, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina.

Esse estudo busca desenvolver um modelo de consumo energético típico de edificações hoteleiras da cidade de forma a auxiliar na tomada de decisões de gestão energética e reduzir os custos operacionais dos hotéis.

Para isso, serão realizadas entrevistas com os administradores/gerentes dos hotéis com perguntas referentes aos dados de consumo energético dos anos de 2019, 2020 e 2021 e de características construtivas, de operação e de ocupação da edificação. O tempo estimado será de cerca de 60 minutos. As entrevistas estão programadas para ocorrer no primeiro semestre de 2022, podendo ser realizada de forma remota.

Sendo assim, pedimos o apoio desta associação na divulgação do estudo aos administradores de hotéis londrinenses tendo em vista a sua importância para a sustentabilidade do setor hoteleiro e do turismo, e para a economia de energia proporcionada aos empreendimentos hoteleiros. Salienta-se que o presente estudo está alinhado aos procedimentos do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UEL. Os hotéis participantes não serão identificados em pesquisa e seus dados serão mantidos em sigilo.

Atenciosamente,

Eng. Mariana Rolim Guerra
Pesquisadora responsável
Mestranda em Eng. Civil - UEL

Profª. Drª. Thalita Gorban
Ferreira Giglio
Orientadora da pesquisa

Profª. Drª. Berenice Martins
Toralles
Coordenadora do Programa
de Pós-Graduação em
Engenharia Civil

APÊNDICE B – Carta Ofício aos gestores hoteleiros

Aos gestores de empreendimentos hoteleiros

Prezados,

Será realizado na cidade de Londrina-PR uma pesquisa científica, em nível de mestrado, intitulada: “*Benchmarking* Energético de Edificações Hoteleiras da Cidade de Londrina-PR”, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, em processo de aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da mesma instituição.

Esse estudo busca desenvolver um modelo de consumo energético típico de edificações hoteleiras da cidade de forma a auxiliar na tomada de decisões de gestão energética e reduzir os custos operacionais dos hotéis.

A pesquisa será realizada por meio de entrevista com perguntas referentes aos dados de consumo energético dos anos de 2019, 2020 e 2021 e características construtivas, de operação e de ocupação da edificação. O tempo estimado será de cerca de 60 minutos.

Sua participação é de fundamental importância, visto que será a fonte de informações reais de consumo energético, contribuindo não somente para os estudos científicos vinculados ao tema, mas também para a redução do custo com energia elétrica do hotel sob sua gestão. Entretanto, é totalmente voluntária, podendo haver recusa ou desistência a qualquer momento, sem ônus algum. Esclarece-se que os hotéis participantes não serão identificados em pesquisa e os dados serão mantidos em sigilo.

Atenciosamente,

Eng. Mariana Rolim Guerra
Pesquisadora responsável
Mestranda em Eng. Civil - UEL

Profª. Drª. Thalita Gorban
Ferreira Giglio
Orientadora da pesquisa

Profª. Drª. Berenice Martins
Toralles
Coordenadora do Programa
de Pós-Graduação em
Engenharia Civil

**APÊNDICE C – Termo de Consentimento Livre Esclarecido aos gestores
hoteleiros**

**“*Benchmarking* Energético de Edificações Hoteleiras da Cidade de
Londrina´PR”**

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa “*BENCHMARKING* ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES HOTELEIRAS DA CIDADE DE LONDRINA-PR”. O objetivo da pesquisa é elaborar um *benchmarking* local para hotéis da cidade de forma a identificar oportunidades de economia de energia na tipologia.

Sua participação é muito importante pois contribuirá com informações para aperfeiçoar as estimativas de consumo energético do país, e se dará por meio de respostas à entrevista/questionário quanto à taxa de ocupação e fornecimento de dados de consumo energético da edificação.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta e futuras pesquisas, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. As informações serão guardadas eletronicamente pelo período máximo de dois anos, após esse período serão apagadas.

Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado(a) por sua participação. Os benefícios esperados com os resultados dos questionários são o de contribuir para o país com informações reais sobre o uso de energia nos edifícios de hotéis. Quanto aos riscos, a existência é mínima, e o participante será amparado caso ocorra algum desconforto.

Caso tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá contatar o pesquisador responsável, Mariana Rolim Guerra (rguerra.mariana@uel.br) -

Laboratório de Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações, situado na Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Rodovia Celso Garcia Cid PR445 Km380, Campus Universitário. Ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao prédio do LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue a você.

Londrina, ___ de _____ de 2022.

Pesquisador Responsável

Mariana Rolim Guerra

Eu, _____, tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar voluntariamente da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): _____

Data: _____