



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

CAMILA LIMA CHECHIN CAMACHO ARREBOLA

**BENCHMARKING ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES  
ESCOLARES DO MUNICÍPIO DE LONDRINA:**  
*Uma abordagem top-down.*

---

Londrina  
2024

CAMILA LIMA CHECHIN CAMACHO ARREBOLA

***BENCHMARKING ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES  
ESCOLARES DO MUNICÍPIO DE LONDRINA:  
Uma abordagem *top-down*.***

Tese 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 Doutora em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dra. Thalita Gorban Ferreira Giglio

Londrina  
2024

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

C183b Arrebola, Camila Lima Chechin Camacho Arrebola.  
BENCHMARKING ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES DO MUNICÍPIO DE LONDRINA : Uma abordagem top-down / Camila Lima Chechin Camacho Arrebola Arrebola. - Londrina, 2024.  
130 f. : il.

Orientador: Dra. Thalita Gorban Ferreira Giglio.  
Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.  
Inclui bibliografia.

1. Benchmarking energético - Tese. 2. Desempenho energético em edificações - Tese. 3. Edifícios escolares em operação - Tese. 4. Gestão energética - Tese. I. Giglio, Dra. Thalita Gorban Ferreira . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

CAMILA LIMA CHECHIN CAMACHO ARREBOLA

***BENCHMARKING ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES  
ESCOLARES DO MUNICÍPIO DE LONDRINA:***

*Uma abordagem top-down.*

Tese 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 Doutora em Engenharia Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dra. Thalita Gorban Ferreira Giglio  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Camila Gregório Atem  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Marieli Azoia Lukiantchuki  
Universidade Estadual de Maringá

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Joyce Correna Carlo  
Universidade Federal de Viçosa

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza  
Universidade Federal de Minas Gerais

Londrina, 12 de agosto de 2024.

Dedico este trabalho aos meus pais, Júlio Cezar e Maria do Carmo, e a meus irmãos, Talita e Diego.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, em especial meus pais, Maria do Carmo Arrebola e Júlio Cezar Arrebola e meus irmãos, Talita Arrebola e Diego Arrebola, que sempre me apoiam, incentivam e possibilitam oportunidades, estando sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

À professora e orientadora Thalita Gorban Ferreira Giglio, por sua competência profissional, e que sempre me incentivou e ofereceu seu conhecimento para enriquecer este trabalho.

A todos os amigos do Laboratório de Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações – E3sLab/UEL, pelos conhecimentos, discussões científicas e amizade. Em especial à Mariana Guerra, Guilherme Vilela, Gustavo Nunes, Jéssica Picchi, Guilherme Natal e Vinícius Watanake.

Aos profissionais que orientaram na parte estatística do trabalho, o engenheiro civil Me. Diego Arrebola e o professor Lucídio Junior.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, Leonardo Paulinho, pela disposição e dedicação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, que no decorrer do doutorado me transmitiram parte de seus conhecimentos, em especial a professora Dra. Berenice Toralles.

Ao colega arquiteto Dr. Ivanóe de Cunto e o advogado Dr. Gino Mazzetto, pelas orientações sábias em momentos difíceis durante o doutorado.

A todos os funcionários da Secretaria Municipal de Educação da Prefeitura de Londrina, que gentilmente se disponibilizaram a me atender. Em especial a Maria Tereza Paschoal de Moraes, secretária de educação; a Marcelle Kowalski, Lígia Shingu, Márcia Barioto da Diretoria Financeira e de Compras; Amauri Sanchez, Priscila de Carvalho e Raquel Esteves do Departamento de Assessoria Técnica de Estrutura Física; a Jocele Déa da Gerência de Ensino Fundamental - Documentação; a Margareth Santos da Diretoria Pedagógica; a Daniela Zanoni da Gerência de Planejamento Educacional e a Gláucia Lovo da Gerência de Documentação Escolar.

À Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade de aprimoramento acadêmico.

Por fim, a todos as pessoas que torceram e contribuíram direta ou indiretamente pela realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma sintético do Método .....	67
Figura 2 – Fluxograma sintético da Construção de Banco de dados .....	68
Figura 3 – Fluxograma sintético da Análise de dados .....	71
Figura 4 – Fluxograma sintético da Validação do <i>Benchmarking</i> .....	75
Figura 5 – Escala de Classificação Desempenho Energético .....	77
Figura 6 – Escala de Classificação Desempenho Energético para o parque escolar	78
Figura 7 – Mapa de localização das escolas municipais de Londrina .....	80
Figura 8 – Registros fotográficos de Centros Municipais Educação Infantil .....	83
Figura 9 – Registros fotográficos de Escolas Municipais .....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de energia elétrica por setor - ano 2022.....	62
Gráfico 2 – Histórico de médias de temperaturas em Londrina.....	65
Gráfico 3 – Consumo total mensal de energia elétrica do parque imobiliário ao longo de um ano .....	85
Gráfico 4 – Média de Consumo mensal de energia elétrica ao longo de um ano .....	86
Gráfico 5 – Consumo Total 2022 X Fachada Predominante – orientação solar.....	88
Gráfico 6 – Consumo Total 2022 X Área Construída 2022 .....	93
Gráfico 7 – Consumo Total 2022 X Existência de quadra coberta .....	94
Gráfico 8 – Consumo Total 2022 X Área Terreno .....	95
Gráfico 9 – Consumo Total 2022 X Horas de Ocupação .....	96
Gráfico 10 – Consumo Total 2022 X Densidade 2022 .....	97
Gráfico 11– Histograma de Resíduos X Curva Normal Padrão.....	98
Gráfico 12 – Aderência -Valor Observado X Valor Calculado .....	99
Gráfico 13 – Distribuição de valores ajustados x Resíduos Padronizados.....	99
Gráfico 14 – Histograma de frequência x Consumo Anual por área (kWh/m <sup>2</sup> /ano).	103
Gráfico 15 – Histograma de frequência x Consumo Anual por usuário (kWh/Usuário/ano) .....	104
Gráfico 16 – Histograma de frequências de Classificação .....	105
Gráfico 17 – Classificação do Desempenho Energético das escolas.....	106

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Sistemas de classificação de desempenho de energia em edificações	34
Quadro 2 – Comparação de abordagens energética de edifícios	41
Quadro 3 – Síntese dos métodos de Avaliação	45
Quadro 4 – Estudos energéticos em edificações escolares	50
Quadro 5 – Síntese de metodologias de avaliação do desempenho energético de edifícios	52
Quadro 6 – Estudos energéticos em edificações escolares	54
Quadro 7 – Consumo total de energia elétrica nacional, estadual e municipal - anos 2015 a 2022.	61
Quadro 8 – Gastos com consumo de elétrica em edifícios por Secretaria - 2018 a 2022.	63
Quadro 9 – Matrículas e estabelecimentos de ensino - ano de 2022	64
Quadro 10 – Histórico climatológico do município de Londrina – ano 2022	65
Quadro 11 – Consumo histórico de energia elétrica da PML-SME	66
Quadro 12 – Características das variáveis	73
Quadro 13 – Localização das escolas municipais	80
Quadro 14 – Disponibilidade de atendimento por período de ensino	81
Quadro 15 – Indicadores médios de uso de energia e Densidade Populacional	89
Quadro 16 – Características das variáveis de entrada	90
Quadro 17 – Modelo linear de regressão – Escala da variável dependente: Y	91
Quadro 18 – Resultados das variáveis	92
Quadro 19 – Matriz de correlação entre variáveis (valores em percentual)	100
Quadro 20 – Valores de Consumo Calculado e Observado	102
Quadro 21 – Quantidades de escolas e suas classificações	104
Quadro 22 – Instituições de ensino brasileiras e suas classificações energéticas	107

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Agência de Proteção Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
CMEI	Centro Municipal de Educação Infantil
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
DEO	Desenvolvimento Operacional de Edificações
DEC	<i>Display Energy Certificates</i>
EJA	Ensino de Jovens e Adultos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EM	Escola Municipal
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
GEE	Gases do Efeito Estufa
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais
EUI	Intensidade de Uso de Energia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
DEA	Método de Análise de envoltório de dados
SFA	Método de análise de fronteira estocástica
RNA	Método de rede neural artificial
OLS	Método dos mínimos quadrados ordinários
COLS	Método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos
MME	Ministério de Minas e Energia
NABERS	<i>National Australian Built Environment Rating System</i>
UEL	Universidade Estadual de Londrina
ONU	Organização das Nações Unidas

PML	Prefeitura Municipal de Londrina
PROCEL	Programa Nacional de Conservação e Energia Elétrica
META	Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia Mineral
SME	Secretaria Municipal de Educação

## GLOSSÁRIO

Multicolinearidade	Termo utilizado na estatística para definir quando as informações de uma variável estão sendo computadas de forma repetida.
Homocedasticidade	Consiste em uma característica do modelo de regressão linear, que identifica a dispersão constante ao longo do tempo.

“Se você pode sonhar, você pode fazer. ”

Walt Disney

ARREBOLA, Camila Lima Chechin Camacho. **Benchmarking energético de edificações escolares do município de Londrina**: Uma abordagem *top-down*. 2024. 130f. Trabalho de Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

## RESUMO

Com o desenvolvimento das atividades humanas, as cidades passaram a ampliar o seu consumo de energia elétrica e os impactos de seu uso vêm causando mudanças no clima. Esse aumento está atrelado à necessidade de criar meios adequados de conforto nos espaços construídos. Em todo mundo, diversas foram as estratégias para proporcionar ambientes com uso adequado de energia, associado à qualidade ambiental. Nos edifícios escolares tem-se a oportunidade de realizar estudos direcionados para a eficiência energética, pois constituem contextos formadores da sociedade. Portanto, investigou-se a totalidade do parque imobiliário gerido pela Secretaria Municipal de Educação de Londrina-PR, levando em consideração que esse setor foi o maior consumidor de energia elétrica entre todas as secretarias municipais, a partir de 2018. A pesquisa gera singularidade ao propor um método estatístico de *benchmarking* energético, em abordagem *top-down*, com a utilização do *software* TS-Sisreg® - Sistema de Regressão Múltipla. A proposta é direcionada as edificações com base em dados históricos de consumo de energia elétrica, características construtivas, uso e ocupação, do ano de 2022. A metodologia empregada foi estruturada em quatro etapas: a construção de um banco de dados reais; a análise e tratamento de dados; a validação do modelo de *benchmarking* energético; e a classificação de desempenho energético dos edifícios, a qual permitiu a hierarquização energética das edificações escolares públicas. Foram definidas como variável dependente o consumo anual de energia elétrica e independentes a área construída, existência de quadra coberta, área do terreno, densidade ocupacional e horas de ocupação. Com base nestes dados, definiu-se a equação preditiva com a utilização do modelo de regressão linear múltipla, possibilitando a classificação das unidades escolares em dois indicadores energéticos (EUIs), consumo por área (kWh/m<sup>2</sup>/ano) e consumo por usuário (kWh/usuário/ano). O processo foi gerado com a realização da classificação de A à E referente aos EUIs, nas quais os edifícios ficaram categorizados como: A, *eficiente*; B, C e D *típicos*; e E, *ineficiente*. O desempenho energético por área das edificações para os valores *calculados* está no intervalo de 7,51 a 47,77 kWh/m<sup>2</sup>/ano e os *observados* estão entre 3,31 e 47,94 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Em relação aos EUIs para usuário por ano, os valores estão entre 13,56 e 125,40 kWh/usuário/ano para o *calculado* e 16,56 a 147,68 kWh/usuário/ano em relação ao *observado*. Ao interpretar o contexto do estudo realizado no parque escolar sugere-se que a metodologia proposta tem potencial de replicação em outras realidades correlatas. Tem-se como expectativa de que esta abordagem seja uma ferramenta para a sistematização de análises energéticas contínuas, incentivando a cultura do bom uso dos recursos disponíveis, e a proposição de *retrofits* em estudos futuros, visto que ele permite ser adaptado a outras realidades escolares.

**Palavras-chave:** *Benchmarking* energético. Desempenho energético em edificações. Edifícios escolares em operação.

ARREBOLA, Camila Lima Chechin Camacho. **Energy benchmarking of school buildings in the municipality of Londrina: A top-down approach.** 2024. 130 pages. Doctoral Dissertation (PhD Program in Civil Engineering) – Postgraduate Program in Civil Engineering, State University of Londrina, Londrina, 2024.

## ABSTRACT

With the development of human activities, cities have increased their consumption of electricity, and the impacts of its use have been causing changes in the climate. This increase is linked to the need to create adequate means of comfort in built spaces. Around the world, there have been several strategies to provide environments with adequate energy use, associated with environmental quality. In school buildings, there is the opportunity to conduct studies aimed at energy efficiency, as they constitute contexts that shape society. Therefore, the entire real estate park managed by the Municipal Department of Education of Londrina-PR was investigated, taking into account that this sector was the largest consumer of electricity among all municipal departments, as of 2018. The research generates uniqueness by proposing a statistical method of energy benchmarking, in a top-down approach, using the TS-Sisreg® software - Multiple Regression System. The proposal is aimed at buildings based on historical data on electricity consumption, construction characteristics, use and occupancy, from the year 2022. The methodology used was structured in four stages: the construction of a real database; data analysis and processing; validation of the energy benchmarking model; and the classification of the energy performance of the buildings, which allowed the energy hierarchy of public school buildings. The annual electricity consumption was defined as the dependent variable and the built area, existence of a covered court, land area, occupancy density and hours of occupancy as independent variables. Based on these data, the predictive equation was defined using the multiple linear regression model, enabling the classification of the school units into two energy indicators (EUIs), consumption by area (kWh/m<sup>2</sup>/year) and consumption by user (kWh/user/year). The process was generated by performing the classification from A to E regarding the EUIs, in which the buildings were categorized as: A, efficient; B, C and D typical; and E, inefficient. The energy performance per area of the buildings for the calculated values is in the range of 7.51 to 47.77 kWh/m<sup>2</sup>/year and those observed are between 3.31 and 47.94 kWh/m<sup>2</sup>/year. Regarding the EUIs for user per year, the values are between 13.56 and 125.40 kWh/user/year for the calculated and 16.56 to 147.68 kWh/user/year in relation to the observed. When interpreting the context of the study carried out in the school park, it is suggested that the proposed methodology has the potential to be replicated in other related realities. It is expected that this approach will be a tool for the systematization of continuous energy analyses, encouraging the culture of good use of available resources, and the proposal of retrofits in future studies, since it can be adapted to other school realities.

**Keywords:** Energy benchmarking. Energy performance in buildings. School buildings in operation.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	OBJETIVOS.....	24
1.1.1	Objetivo geral.....	24
1.1.2	Objetivos específicos.....	24
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1	IMPORTÂNCIA DA GESTÃO ENERGÉTICA NAS ESCOLAS.....	26
2.2	<i>BENCHMARKING</i> ENERGÉTICO.....	29
2.2.1	CONSTRUÇÃO DE <i>BENCHMARKING</i> .....	35
2.2.2	MÉTODOS DE <i>BENCHMARKING</i> DE ENERGIA.....	37
2.2.2.1	Acesso aos dados.....	39
2.2.2.1.1	Abordagem Bottom-up.....	42
2.2.2.1.2	Abordagem Top-down.....	44
2.2.2.2	Nível de complexidade dos métodos.....	45
2.2.2.2.1	Método Caixa Branca.....	46
2.2.2.2.2	Método Caixa Preta.....	47
2.2.2.2.3	Método Caixa Cinza.....	48
2.2.2.3	Indicadores de desempenho.....	48
2.2.2.4	Síntese dos métodos.....	51
2.3	<i>BENCHMARKING</i> ENERGÉTICO EM EDIFÍCIOS ESCOLARES.....	52
3	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E CLIMA DE LONDRINA.....	61
3.1	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	61
3.2	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE LONDRINA.....	64
4	MÉTODO.....	67
4.1	CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS.....	68
4.2	ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS.....	70
4.2.1	Software para avaliação.....	71
4.2.2	Composição das variáveis.....	72
4.3	VALIDAÇÃO DO <i>BENCHMARKING</i> ENERGÉTICO.....	74
4.4	CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS.....	76
5	RESULTADOS.....	79
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	79
5.2	VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA DO MODELO DE <i>BENCHMARKING</i> .....	86

5.3	DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....	97
5.4	ADERÊNCIA.....	98
5.5	ANÁLISE DOS RESÍDUOS.....	99
5.6	MATRIZ DE CORRELAÇÃO.....	100
5.7	CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO .....	102
6	CONCLUSÕES.....	109
6.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	111
6.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	111
	REFERÊNCIAS.....	112
	<b>APÊNDICES</b> .....	128
	APÊNDICE A – Classificação de Desempenho Energético .....	129

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento do consumo de energia e seus impactos no meio ambiente são temáticas mundialmente discutidas desde a década de 1970. Tal contexto pode ser explicado pelo desenvolvimento populacional, associado ao aumento das atividades econômicas no setor da construção, e pela necessidade de ampliação do nível de conforto ambiental e da permanência dos indivíduos dentro das edificações (FOSSATI *et al.*, 2016). A manutenção dessa situação produz consequências que indicam uma propensão de aumento no consumo de energia, principalmente para o processo de climatização dos edifícios (SANTAMOURIS *et al.*, 2014).

Segundo a publicação “*World Population Prospects 2022*”, da Organização das Nações Unidas (ONU), estima-se que a população mundial atingiu quase 8 bilhões de habitantes. Por sua vez, as projeções para o ano de 2050 indicam que ela alcançará 9,8 bilhões de pessoas. Em função desses fatos, o planeta necessita desenvolver meios que minimizem os efeitos do desenvolvimento desordenado (UNITED NATIONS, 2022).

Os atuais panoramas demonstram que as cidades dominam a demanda de energia global e, por extensão, são responsáveis por grande parcela das emissões de carbono. Diante disso, as áreas urbanas no mundo totalizaram aproximadamente 64% do uso mundial de energia primária e emitiram 70% do dióxido de carbono do planeta (IEA, 2021a; WRI BRASIL, 2023). Desta forma, espera-se que o planeta seja significativamente atingido por mudanças climáticas futuras (IPCC, 2018).

Assim, é necessário administrar de forma mais eficiente a questão energética, ampliando a atenção para os aspectos relacionados ao planejamento e à gestão de áreas urbanas. Os gestores devem priorizar estratégias para reduzir o consumo de energia e implementar ações mitigadoras de emissões de poluentes, objetivando alcançar a meta de eficiência e economia de energia (GERSHENFELD *et al.*, 2010). Além disso, torna-se urgente tratar as implicações provenientes das mudanças climáticas, sem esquecer dos anseios do desenvolvimento humano (GIELEN *et al.*, 2019; HOWELLS *et al.*, 2013).

Tais fatos conduzem a uma reflexão sobre as edificações, visto que, sendo responsáveis por grande parte do consumo energético global, elas contribuem

significativamente para os impactos ambientais. Podendo ser uma questão a ser explorada, pois permite projetar e transformar espaços urbanos em áreas mais sustentáveis, propondo formas mais eficientes na relação energia e construção (HONG *et al.*, 2020; JIANG *et al.*, 2013; NAGELER *et al.*, 2018).

Tais razões sugerem a formulação de estratégias para a promoção de eficiência energética das edificações a escala local, nacional e internacional e cujo objetivo seja possibilitar o desenvolvimento sustentável, a eficiência energética e o conforto (LI *et al.*, 2013). Internacionalmente, estratégias para atender a economia de energia — sem que se prejudique os níveis de conforto, saúde e produtividade — têm sido desenvolvidas (JANNUZZI, 2005). A meta dessas políticas energéticas consiste em consumir menos energia, fornecendo serviços de igual ou melhor qualidade (CHANG *et al.*, 2020, MATA *et al.*, 2014).

Diversas regulamentações voltadas à eficiência energética foram desenvolvidas no mundo, com foco em otimizar o consumo de energia implantando padrões e etiquetas em vários produtos. Os Estados Unidos iniciaram mudanças legais na década de 1970, em decorrência das questões provenientes da crise de suprimento de petróleo (DIXON *et al.*, 2010). Na mesma época, na União Europeia, ocorre o início da construção de instrumentos legais, que permitiam a fixação de metas de redução da poluição e de demanda de energia nos países membros (FOUQUET, 2013).

Acompanhando os modelos internacionais, o Brasil também vem desenvolvendo estratégias de conservação de energia. Após passar por uma crise energética em 2001, o país implementou medidas para o fornecimento e distribuição de energia elétrica. Inúmeros foram os instrumentos propostos para regulamentar ações destinadas a avaliação da eficiência energética nos espaços construídos. A Lei da Eficiência Energética nº 10.295/2001 (BRASIL, 2001b), o Decreto nº 4.059/2001 (BRASIL, 2001a), o Programa Procel Edifica, a implementação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e o Projeto Desenvolvimento Operacional de Edificações (DEO) (PROCEL, 2023), são exemplos de tais instrumentos. Além disso, o Brasil estabeleceu indicadores e níveis de eficiência energética para equipamentos consumidores de energia fabricados no país.

No panorama da presente pesquisa, a atenção está voltada para os edifícios, pois em todas as realidades abordadas durante a investigação a demanda energética nessas operações correspondem a aproximadamente 45% do consumo.

Dessa forma, eles representam, os maiores consumidores de energia (IEA, 2019).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (MME), em 2022, o Brasil acompanhou essa realidade apresentando altos índices de consumo em edificações, sendo 16,6% para o setor comercial, 26,6% no residencial e 7,6% no público, totalizando 50,8% da energia produzida no país (EPE, 2023b).

Desse modo, o elevado consumo na realidade predial requer um processo de reavaliação. Portanto, existe a necessidade de que ocorram alterações no modo de pensar a estruturação dos projetos de longo prazo, tendo em vista que essa etapa tem sido a base para alcançar realidades mais sustentáveis. Dessa forma, é importante refletir mundialmente e agir localmente, pois, embora a escala dos impactos seja global, é a nível local que os problemas são identificados e as ações podem ser mais eficientes (LI *et al.*, 2017).

Nesse contexto, uma avaliação criteriosa em relação às novas gerações é prioritária, isto é, junto aos estudantes que estão em processo de formação. Infere-se que, em relação a eles, há dois importantes aspectos a serem considerados: sua formação como cidadãos conscientes das estratégias do uso adequado da energia e o fornecimento de espaços escolares com qualidade ambiental.

A mudança consiste em investir na melhoria da qualidade do ambiente escolar, proporcionando efeitos positivos nos diversos processos envolvendo a formação de alunos. Dessa forma, a escola pode tornar-se uma vitrine, que ensina a população a resolver questões de sustentabilidade a partir de outras experiências (LIZANA *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2014; DALL'O', SARTO, 2013).

O consumo de energia elétrica nas instituições de ensino é essencial para proporcionar qualidade ambiental e contribuir com o processo de aprendizagem (SINGH *et al.*, 2019). Em diversos países, uma parcela importante do orçamento anual com a educação se destina a essa finalidade (LAGE *et al.*, 2015).

Dentre os aspectos que fortalecem a relevância de estudos sobre a eficiência energética nas instituições de ensino, tem-se a necessidade da otimização dos orçamentos — fato sempre presente no âmbito educacional e, muitas vezes, relacionado a cortes de orçamento (BRASIL, 2019).

Segundo Allab *et al.* (2017), os edifícios escolares na Europa são grandes consumidores de energia, mas apresentam baixos níveis de qualidade

ambiental interna. O Brasil apresenta as mesmas características na relação entre o consumo e conforto (GIRALDI, GHISI, 2020b). Conseqüentemente, esse fator legitima a realização de estudos de eficiência energética nas edificações dessa tipologia, tendo em vista a redução de custos e a obtenção de condições ambientais mais adequadas as atividades acadêmicas associadas aos enfrentamentos das restrições orçamentárias.

O sistema de ensino brasileiro é gerido pelo setor público e pela iniciativa privada. Na administração pública, a responsabilidade pela gestão da educação infantil ao 5º ano e o ensino de jovens e adultos (EJA) são das municipalidades. Por sua vez, do 6º ano ao ensino médio são de responsabilidade dos governos estaduais.

Com base nessa realidade, o foco desta pesquisa está na análise do desempenho energético de edificações escolares públicas em operação, na cidade de Londrina, estado do Paraná, para o ano de 2022. Propõe-se a construção de um *benchmarking* energético na abordagem *top-down*, da totalidade do parque imobiliário, por meio do uso de estatística descritiva e inferência. Espera-se que o instrumento proporcione benefícios no processo de diagnóstico das unidades de ensino, gerando informações que indicam possibilidades de mudanças, em especial, devido aos seus potenciais de identificar oportunidades e ser um mecanismo de aprendizagem.

O processo proposto envolve a construção de indicadores para mensurar o desempenho das construções em relação a uma referência, possibilitando indicar edificações com ineficiência de consumo de energia. Sabe-se que a mitigação do consumo energético proporciona o uso eficiente dos recursos públicos, sendo que este processo de rastreamento da qualidade do edifício deve ser seguido pela gestão pública de forma continuada.

Londrina possui 663 estabelecimentos escolares em todos os níveis de ensino, sendo 117 edificações públicas administradas pela Prefeitura Municipal de Londrina. A cidade não possuía um estudo de *benchmarking* energético, que permitisse classificar o consumo de energia elétrica em edificações escolares. Portanto, este processo é inovador, pois propõe um método para a hierarquização de consumo de energia das edificações escolares públicas, por meio de *benchmarking* energético com abordagem *top-down*. Esta proposta contempla a totalidade do parque imobiliário público do município de Londrina, sendo escolas de ensino infantil;

fundamental I e EJA, por meio da estruturação de um banco de dados real, que permite a aplicabilidade da proposta em outras esferas do poder público. Além disso, o uso do *software* estatístico TS-Sisreg® para a realização de *benchmarking*, é mais uma característica de originalidade do estudo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor um *benchmarking* energético, em uma abordagem *top-down*, para os edifícios públicos da rede básica de ensino do município de Londrina, no estado do Paraná.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Estruturar um banco de dados, por meio de coleta sistemática, do parque imobiliário das escolas públicas;
- Calcular a intensidade de uso de energia média das edificações escolares da PML-SME;
- Elaborar uma equação preditiva de *benchmark* para edifícios escolares públicos de Londrina;
- Classificar o desempenho energético dos edifícios do parque imobiliário das escolas municipais.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente tese está estruturada em cinco capítulos, incluindo esta Introdução, cujo intuito foi apresentar o tema abordado durante investigação e ressaltar a importância dos edifícios públicos como ferramenta de qualidade ambiental associada à redução do consumo de energia e descrever os objetivos, geral e específicos, propostos para alcançar os resultados do trabalho. No capítulo 2, de Fundamentação Teórica, são apresentados os conceitos relacionados ao consumo de energia nas escolas, a construção de *benchmarking*, as tipologias de métodos de

*benchmarking* de energia e o *benchmarking* em escolas. No capítulo 3, serão caracterizados o consumo de energia elétrica e o clima de Londrina. O capítulo 4, Metodologia, apresenta a base metodológica da pesquisa que foi composta por quatro etapas estratégicas: Construção de banco de dados, Análises e tratamento de dados, Validação do *benchmarking* energético e Classificação de desempenho energético dos edifícios. Já no capítulo 5, foram apresentados os Resultados, e ele se divide em sete tópicos: Caracterização da amostra, Construção do banco de dados, Definição das variáveis, *Benchmarking* para predição do consumo, Distribuição normal, Aderência, Análise dos resíduos, Matriz de correlação e Classificação de desempenho energético. Por fim, o capítulo 6, Conclusão, apresenta a síntese da pesquisa, com os resultados e encaminhamentos baseados no trabalho investigativo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No capítulo 2 desta tese, serão abordados tópicos cruciais relacionados à gestão energética e ao benchmarking energético em instituições de ensino. Inicialmente, trata-se da “Importância da Gestão Energética nas Escolas”, destacando os principais fatores que influenciam a utilização de energia nesses ambientes e a importância de uma gestão eficiente. Em seguida, o conceito de “*Benchmarking* Energético” será discutido como uma ferramenta essencial para avaliar e comparar o desempenho energético de diferentes edifícios. Por fim, o foco será direcionado ao “*Benchmarking* Energético em Edifícios Escolares”, analisando metodologias específicas e estudos de caso que ilustram as melhores práticas e os benefícios dessa abordagem no contexto educacional.

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA GESTÃO ENERGÉTICA NAS ESCOLAS

No ano de 2019, no Brasil, as edificações foram responsáveis por mais de 50% do total consumido de energia (EPE, 2022b) e, segundo a previsão do MME, estima-se que o crescimento anual será de 3,7% até 2030 (EPE, 2022b). Nesse contexto, torna-se essencial aperfeiçoar medidas que busquem a eficiência energética para que as edificações, existentes ou novas, propiciem controle para o uso racional desse recurso com a utilização de equipamentos e serviços. Tais medidas, não apenas podem contribuir na redução dos custos financeiros, mas também beneficiar o processo de mitigação das mudanças climáticas, reduzindo as emissões de gases poluentes (IEA, 2021a).

Nesta discussão, é possível inferir que as construções escolares são grandes consumidoras da energia e, conseqüentemente, são espaços que possibilitam a implantação de mecanismos e estratégias de controle e a otimização do uso junto à promoção da qualidade dos ambientes de formação (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009; MYLONAS *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2014).

Ao considerar que as características facilitadoras das escolas permitem experimentações, estudos para projetos de eficiência energética têm sido desenvolvidos mundialmente (MYLONAS *et al.*, 2019). Isso porque, elas não apenas detêm um caráter socioeducativo, mas também possuem um meio especial de comunicação com os alunos e seus familiares, atingindo os mais diversos grupos da

sociedade com conceitos de boas práticas (XING *et al.*, 2015).

Assim, a trajetória para alcançar um ambiente energeticamente eficiente, na realidade educacional, reside na construção de estratégias com foco na sustentabilidade e, simultaneamente, na obtenção da redução de consumo energético. A relevância de se trabalhar com essa realidade é proporcional ao tamanho da população que ela atinge, além dela estar formando os futuros gestores da sociedade (KHOSHBAKHT *et al.*, 2018; MOHAMMADALIZADEHKORDE, WEAVER, 2018; MYLONAS *et al.*, 2019; STANKOVIC *et al.*, 2015).

Os elevados consumos energéticos nestas edificações no Brasil não é um fato isolado (GERALDI, GHISI, 2022b). Essa tendência também vem sendo identificada em outros países, em função do desenvolvimento mundial, por exemplo, nos Estados Unidos (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009), Itália (LARA *et al.*, 2015; MARRONE *et al.*, 2018) e Reino Unido (HONG *et al.*, 2013).

A gestão energética é um importante mecanismo nos processos de administrações pública, levando em consideração que o planejamento age como um fator de controle para o racional uso dos sistemas. Sua implantação pode ajudar no controle do desperdício e na redução de despesas, atuando em estudos técnicos, cumprindo a responsabilidade social e, ainda, construindo a conscientização do uso adequado do bem público. Desta forma, além de propiciar a redução dos impactos que esse insumo essencial causa nas contas do setor, o planejamento viabiliza a destinação desses recursos para outras iniciativas públicas de maior necessidade (SAIDEL; FAVATO, 2007).

A base para o uso adequado desses recursos, na administração das instituições escolares, consiste em promover a implantação de ações direcionadas às normatizações de políticas ambientais e de consumo de energia. Além disso, inclui a definição de metas e objetivos para alcançar o uso adequado, redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e o incentivo a iniciativas de eficiência energética para as edificações (BERNARDO *et al.*, 2018).

As políticas de energia voltadas às construções são instrumentos que orientam o fornecimento de serviços eficientes em termos energéticos, por meio da economia do consumo sem prejudicar a qualidade e produtividade das atividades (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2008). Elas se constituem em certificações, regulamentações e auditorias que auxiliam os gestores no planejamento, administração, desenvolvimento e implementação de programas de modernização

dos estoques.

Com a utilização de ferramentas de análise em edificações escolares, é possível estimar o desempenho energético em diferentes climas (SOLEIMANI-MOHSENI *et al.*, 2016), avaliar por meio de simulações diferentes sistemas de condicionamento de ar (AHMED *et al.*, 2022; FILIPSSON, *et al.*, 2020; ZAJACS; BORODINECS, 2019) e, ainda, simular cenários e seus impactos.

Stankovic (2007) ressalta que o ambiente físico tem um papel fundamental na formação cidadã e, portanto, o conforto ambiental terá influência na construção das suas habilidades cognitivas e sociais. Desse modo, o passo inicial no caminho do bom desenvolvimento de um cidadão constitui uma atribuição da sociedade, pois ele poderá ser influenciado pelos espaços em que convive, isto é, nas instalações escolares, onde permanece diariamente por longos períodos.

Uma vez que as particularidades das instalações físicas de ensino podem interferir no desenvolvimento dos alunos, Geraldi e Ghisi (2022b) realizaram a proposição de um método para incorporar a satisfação térmica ao *benchmarking* energético e Balocco e Leoncini (2020), ainda recentemente, discutiram acerca da qualidade do ar em salas de aula. Assim, a qualidade das instalações das escolas é decisiva no desenvolvimento adequado de processos de ensino de seus aprendizes. Desta forma, a qualidade da educação está ligada à adequação do projeto arquitetônico de seus edifícios (STANKOVIC *et al.*, 2015).

Evidencia-se, portanto, a relevância que os edifícios escolares desempenham no processo educativo. Eles atendem à comunidade escolar ao acolher estudantes, professores e funcionários durante longos períodos do dia.

O consumo com energia é uma realidade multifatorial, que interfere no custo das administrações, podendo ser influenciado pela localidade, características construtivas, idade do edifício, sistemas da edificação, operação, manutenção, comportamento do usuário e condições do ambiente interno (ALSHIBANI; ALSHAMRANI, 2017; ALSHIBANI, 2020; CHUNG, 2011). Esses fatores são, portanto, pertinentes ao processo de promoção de eficiência energética.

Assim, a implementação dessas medidas requer que o uso da construção tenha uma gestão com procedimentos apropriados em relação à energia elétrica. Além disso, quando fundamentada em uma metodologia eficaz, consiste em um objetivo que pode ser atingido por meio de mecanismos de monitoramento da operação para futuras intervenções e o efetivo alcance da proposta (QUEVEDO *et al.*,

2023).

Para Khoshbakht *et al.* (2018), o parque imobiliário das instituições de ensino tem o relevante papel na construção de um futuro sustentável. Em função desse fator, tem surgido um progressivo interesse no desenvolvimento de estratégias com vistas à sustentabilidade desses contextos, nos quais se insere a eficiência energética.

Dessa forma, com vistas a realizar uma análise, que traga resultados efetivos no campo da economia de energia, e alcançar intervenções de requalificação e melhoria energética na realidade escolar, é importante obter uma quantidade consistente de dados das edificações. Considerando essa realidade, a compreensão global das informações dos edifícios e a quantificação de seu desempenho energético representam o passo inicial para definição de medidas de otimização de consumo de energia (ESCRIVÁ-ESCRIVÁ *et al.*, 2011).

## 2.2 BENCHMARKING ENERGÉTICO

A energia elétrica é um insumo essencial para a qualidade de vida em sociedade. A relação entre a produção e a demanda tem sido um processo de difícil solução, pois o consumo energético cresce de forma desproporcional à geração do recurso (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014b). Independente da escala de desenvolvimento de uma região, essa questão está constantemente presente e, dessa forma, compõe parte da agenda internacional (OTTO *et al.*, 2021; UNITED NATIONS, 2022). Conseqüentemente, ocorre uma mudança no ponto de vista acerca do consumo de energia. A atenção se volta para espaços, desde uma pequena unidade consumidora até um grande estoque de edifícios, dando enfoque aos impactos do ambiente construído.

Compreende-se, portanto, que o processo de mudança no espaço construído e na forma de pensar da sociedade constituem os passos iniciais, isto é, transformar essas áreas em contextos mais sustentáveis, mitigando o consumo dos recursos e otimizando a energia em estoques de edifícios já existentes ou novos (OMER, 2008). Para tanto, é necessário aperfeiçoar os edifícios, por meio de propostas que promovam eficiência energética, redução do consumo de energia para seus sistemas e proporcionem qualidade interna para os usuários (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009; ROSA *et al.*, 2014).

Para complementar essas ações, é necessário estabelecer políticas de conservação de energia que forneçam parâmetros para proporcionar a análise comparativa entre amostras semelhantes e suas necessidades de energia, a fim de definir a linha de base de consumo ou o *benchmark* do desempenho energético (JING *et al.*, 2017).

*Benchmarks* definem um nível típico de consumo, permitindo a rápida comparação, avaliação, e identificação de potencial para melhoria. Reconhecida como uma das ferramentas mais eficazes para redução de consumo de energia no ambiente construído, um *benchmark* consiste em um indicador típico de consumo de energia, com base em dados reais por tipo de edificação (CBCS, 2022, p.2).

O termo *benchmark* foi usado inicialmente na topografia, para estabelecer os pontos de referência de uma área. No ano de 1970, várias atividades empresariais produziram instrumentos de *benchmarking* com o objetivo de realizar comparações de produtos e verificação de melhoria de desempenho. Nos anos 1990, essa denominação, passou a ser utilizada na indústria da construção, sendo denominado *Building Energy Benchmarking*, que consiste em comparar as questões do consumo de energia com um conjunto de edificações semelhantes para identificar as possibilidades de qualificação dos edifícios (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

O estudo do desempenho energético operacional contribui com a caracterização dos perfis de consumo (WILDE, 2018). Ele possibilita melhorias nas construções por meio da conscientização dos usuários sobre o uso das instalações físicas (JIANG; TOVEY, 2009). Portanto, os *benchmarkings* de energia são instrumentos que permitem propor diretrizes aos ocupantes e gestores dos edifícios, no processo contínuo de incentivo de eficiência energética, por meio de avaliações das operações das edificações com mesma tipologia.

Dessa forma, esses mecanismos de redução no consumo promovem o desenvolvimento do planejamento futuro, ao comparar construções semelhantes com o objetivo de indicar aos proprietários suas potencialidades e deficiências em comparação aos edifícios com bons resultados e quando necessário, implantar ações de conservação energética (BORGSTEIN *et al.*, 2016; CHUNG, 2011; GERALDI; GHISI, 2020b; WANG *et al.*, 2012).

Ao ser construído em um processo constante de medir, comparar e identificar; o *benchmarking* é capaz de proporcionar ganhos de eficiência energética,

pois indica as melhores práticas. Além disso, ele prevê a publicação das informações de uso de energia nos edifícios e a divulgação dos referenciais de desempenho na fase operacional (CHUNG, 2011; GERALDI; GHISI, 2020b; ZHAO *et al.*, 2019).

Essa abordagem é um mecanismo gerador de inovação, capaz de produzir ganhos, ao detectar e classificar os eventos e vulnerabilidades que afetam as edificações, produzindo dados que sinalizam as possibilidades de mudanças. Dentro deste contexto e com o propósito de impulsionar os processos na melhoria do desempenho energético, a *International Organization for Standardization* (ISO) editou a norma ISO nº 50.001, em 2018, denominada de *Sistemas de Gestão de Energia - Requisitos* (ISO, 2018), que pode ser utilizada nos procedimentos de *benchmarking*.

Essa ferramenta visa ser um instrumento de análise de desempenho energético que fornece aos gestores uma metodologia eficiente ao sintetizar dados para comparar os índices de um edifício com um parque imobiliário com características correlatas. Assim, corroborando o aperfeiçoamento do uso da energia nas edificações, torna-se essencial no processo de redução dos impactos ao meio ambiente e ao alcance da autonomia energética (RUPARATHNA *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2016).

Dessa forma, para promover a otimização do uso da energia, é necessário coletar um conjunto significativo de amostras de edifícios. Esses dados de desempenho energético serão avaliados comparativamente. Dentre os diversos fatores que podem influenciar no desempenho energético, estão as características das construções, orientação das edificações, condições climáticas, gestão dos edifícios, número de ocupantes e suas diferenças de utilizações (CHUNG, 2011; WANG *et al.*, 2015).

Ainda, Ahmad *et al.* (2018) afirmam ser importante a existência de um banco de dados com qualidade para a construção de *benchmarks*. Para Pérez-Lombard *et al.* (2009), as informações devem ser suficientes para caracterizar o contexto pesquisado. Por sua vez, Borgstein e Lamberts (2014a) complementam que a base de informações deve ser robusta para descrever estatisticamente a população de edifícios, demonstrando os perfis de consumo de energia, além de apontar a eficiência energética associada ao conforto dessas edificações.

Com base nas informações levantadas e no tratamento estatístico de um banco de dados de consumo energético de unidades de uma mesma tipologia, é possível estabelecer novos critérios para construção e atualização dos já existentes

durante a sua fase operacional e melhorar a gestão do desempenho energético (BORGSTEIN *et al.*, 2016). Dessa forma, o conjunto de dados se torna útil para classificar ou hierarquizar as edificações existentes no estoque (CHUNG, 2011).

O *benchmarking* energético propõe realizar medidas alinhadas com um ponto de referência anteriormente determinado. Autores, como Gao e Malkawi (2014) e Pérez-Lombard *et al.* (2009), diferem sobre o número de etapas necessárias para o desenvolvimento dos estudos, no entanto, apresentam a mesma essência nas suas propostas. Esse processo de qualificação energética de edifícios pode ser sintetizado por meio da construção de uma base de dados da amostra de edifícios, identificação de desempenhos energéticos, análises comparativas e proposições de ações potenciais para reduzir o uso de energia, com a ênfase nos aspectos técnicos e econômicos.

Tendo em vista que as edificações são responsáveis por um terço do consumo global de energia, olhar para elas passa ser essencial para o desenvolvimento sustentável, com a utilização equilibrada de energia e redução das emissões de GEE (IEA, 2019). Nessa realidade, existem grandes desafios a serem solucionados e os atores governamentais devem promover incentivos, divulgações, programas de estímulo financeiro e produção de legislação para quebrar os obstáculos econômicos e sociais (IEA, 2021b; WANG *et al.*, 2012).

Para efetivação de propostas, após identificarem a capacidade de produção de resultados nas ações dos *benchmarkings*, a implementação de análise do desempenho operacional, por meio de construção e de estoque, vem ocorrendo em estudos de diferentes países. Dessa forma, o uso adequado da energia tem demonstrado a efetividade da economia, por meio dos levantamentos de dados e das adequações do consumo, que implementam medidas de gestão energética com base nas previsões futuras (GALLI *et al.*, 2022).

Os resultados de mudanças provenientes desse processo, podem viabilizar a qualidade de conforto ambiental aos usuários e, simultaneamente, minimizar o consumo de energia. Esse mecanismo é constituído por um conjunto de ferramentas de avaliação energética, incluindo *benchmarking*, certificação energética, classificação energética, eficiência energética e etiquetagem. Cada instrumento possui suas especificidades ao classificar a qualidade e apresentar a escala de desempenho energético, sendo que, muitas vezes, eles possuem conceitos coincidentes e podem ser confundidos entre si (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

Ainda, para Pérez-Lombard (2009), os governantes necessitam, constantemente, estimular a realização de *benchmarking* de energia a partir de políticas voltadas para a eficiência energética e direcionadas ao segmento da construção civil. Isso porque, ele propõe em otimizar a energia, ampliando suas possibilidades de uso, mantendo a qualidade ambiental apropriada e suprimindo as necessidades do usuário junto ao edifício (GERALDI, GHISI, 2020a; PÉREZ-LOMBARDI *et al.*, 2009; PAPADOPOULOS *et al.*, 2018).

A participação no processo pode levar os usuários a ampliarem seu engajamento e repensar seu consumo de energia, isto é, por meio da conscientização, o *benchmarking* pode promover alterações comportamentais vinculadas as escolhas dos usuários (PALMER, WALLS, 2015). A argumentação, normalmente usada nos projetos, é que a comunicação dos benefícios da eficiência energética nas edificações facilitará as tomadas de decisão dos usuários nos processos de aquisição ou locação de um imóvel.

Para os gestores, as vantagens de acompanhar e comunicar as informações de consumo de energia estão, primeiramente, na possibilidade de entender as propostas de redução do consumo energético nas edificações e, em segundo lugar, em elaborar métricas de consumo para uma tipologia (KONTOKOSTA, 2016). Dessa forma, apropriar-se das informações do parque edificado se torna tarefa essencial, podendo, a partir disso, aprimorar o desempenho energético (SWAN; UGURSAL, 2009).

Sendo assim, a avaliação sistemática em um *benchmarking* de energia contribui na qualificação dos edifícios ao ajudar na determinação do consumo acima do padrão e identificar as edificações ineficientes (LIU *et al.*, 2017). Tal processo indica os rumos que podem privilegiar, em um processo de *retrofitting*, as maiores ineficiências, ao propor e obter resultados mais acelerados.

A experiência internacional das ferramentas de *benchmarking* tem possibilitado comparações entre regiões e segmentos, como indústria, produtos, serviços, transporte e edificações, por meio de bancos de dados. Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (APA) lançou o *Energy Star Portfolio Manager* (ENERGY STAR, 2022); na Austrália, tem-se o *National Australian Built Environment Rating System* (NABERS) (NABERS, 2022); no Reino Unido, o *Display Energy Certificates* (DEC) (DEC, 2022); em Cingapura, o *Energy Smart* (2022); e, no Brasil a partir de 2013, a construção do projeto Desenvolvimento Operacional de Edificações

(DEO) (VELOSO *et al.*, 2021). Estes exemplares de *benchmarking* públicos estão disponíveis em plataformas próprias, que fornecem suas informações com acesso livre à comunidade, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Sistemas de classificação de desempenho de energia em edificações

SISTEMA DE AVALIAÇÃO	TIPOLOGIA	APLICAÇÃO	METODOLOGIA DE BENCHMARKING	PAÍS	FONTE
ASHRAE 90.1	Regulamentação nacional	Norma que estabelece requisitos mínimos para eficiência energética em edificações	Simulação ou prescritivo em comparação com edificações do país	Estados Unidos	ASHRAE (2022)
National Australian Built Environment Rating System (NABERS)	Classificação operacional - Rotulagem	Classificação de edifícios padronizado que analisa desempenho de sustentabilidade de edifícios comerciais	Comparação com <i>benchmarks</i> nacionais	Austrália	NABERS (2022)
Energy Star Portfolio Manager	Ferramenta de <i>Benchmarking</i>	<i>Benchmarking</i> voluntário e programa publicitário	Banco de dados Consumo de Energia de edifícios Comerciais (CBECS) e fatores de correção	Estados Unidos	Energy Star (2022)
Display Energy Certificates (DEC)	Classificação operacional - Rotulagem	Avaliação da eficiência de edifícios existentes, rótulo renovado anualmente	Comparação com <i>benchmarks</i> CIBSE TM46	Reino Unido	Energy Star (2022)
CBCS DEO	Ferramenta de <i>Benchmarking</i>	<i>Benchmarking</i> voluntário	Comparação com <i>benchmarks</i> nacionais	Brasil	CBCS (2022)

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2022), Borgstein *et al.* (2016), CBCS (2022), Energy Smart (2022), Energy Star (2022) e NABERS (2022).

No Brasil, em 2018, a Eletrobrás se associou ao Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), para desenvolver o programa de gestão energética em edificações em uso (CBCS, 2021). Os dados utilizados foram os obtidos junto à EPE, no Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia Mineral (META) (EPE, 2023c). Em 2021, na finalização do convênio e, desta vez, por meio do PROCEL, foram definidas 15 tipologias de *benchmarks* de consumo de energia elétrica para: agência bancária, hotel do tipo resort, hotel vertical de médio e grande porte, hotel de pequeno porte e pousada, shopping center, supermercado, comércio de varejo de grande porte, comércio de pequeno porte, restaurante e preparação de alimentos, *escola de ensino infantil, escola de ensino fundamental e médio*, universidade e instituição de ensino técnico, hospital, posto de saúde e assistência social, datacenter e centro de processamento de dados (PROCEL, 2023; VEIGA *et*

*al.*, 2021). Dessa forma, tais tipologias de *benchmarks* definem parâmetros para a realização das adequações no consumo de energia nas edificações indicadas.

O *benchmarking* de desempenho energético consiste em um conjunto de estratégias, nas quais inicialmente se define o *benchmark*, isto é, a média de consumo real de energia por um mesmo fator, como a produção de gases poluentes, o custo ou o consumo, dividida pelo número de usuários, área e/ou volume construídos. Essas referências são calculadas e uma métrica é utilizada para comparar a eficiência energética da amostra. Após esta avaliação e com o objetivo de verificar a eficácia do estoque, o parque imobiliário é relacionado com o *benchmark* encontrado, o qual foi baseado em modelo que envolve comparações estatísticas. Portanto, o *benchmarking* tem como princípio elaborar referenciais que correspondam ao menor volume de energia necessário para suprir o funcionamento de um conjunto de exigências para a operação adequada do edifício (CHUNG, 2011; HONG *et al.*, 2013; KHOSHBAKHT *et al.*, 2018).

### 2.2.1 CONSTRUÇÃO DE *BENCHMARKING*

A construção de um *benchmarking* de energia consiste em uma estratégia contínua e sistêmica de avaliação de desempenho energético de edificações com ênfase no seu melhor uso em comparação com outros edifícios similares ou com ele mesmo. Além disso, um *benchmarking* permite desenvolver e implantar práticas para atingir os objetivos pretendidos. Esse processo é composto pelo levantamento de informações, construção do banco de dados, diagnóstico da realidade, proposição de ações, implementação das medidas de melhoria, estudo dos resultados, criação de um ciclo de avaliações e análises para constante melhoria.

No momento de construção da base de informação que subsidiará a proposta, os processos de coleta de dados são passos fundamentais para os projetos de *benchmarking*. Borgstein e Lamberts (2014a) afirmam que, em determinados casos nos *benchmarks* de energia, ocorrem restrições para a liberação das informações efetivas de consumo de energia. Este fator pode prejudicar o desenvolvimento das tarefas, tendo em vista a relevância dessa etapa para alcançar um número suficiente de parâmetros que identifiquem o perfil característico de desempenho do estoque de edifícios, os quais são, por sua vez, as referências básicas para as ações.

Pérez-Lombard *et al.* (2009) ponderam que, levando em conta a área

da edificação, as informações da divisão da energia consumida no ano pela unidade podem ser consideradas. Contudo, diferentes indicadores energéticos podem ser utilizados, tais como consumo por superfície, por volume, número de usuários, por leitos entre outros, que devem ser definidos considerando a realidade do contexto a ser avaliado.

Em outra perspectiva, nas situações em que as informações estão disponíveis, é possível utilizar um modelo preditivo como *benchmarking* e obter o consumo de energia esperado da edificação, tendo como base qualidades definidas e o resultado para, então, compará-lo ao consumo real. Nessa situação, a dificuldade central é escolher o método mais adequado para produzir o *benchmark* (KHOSHBAKHT *et al.*, 2018).

Para realização desses procedimentos, é necessário definir os edifícios de referência ou arquétipos, pois são as unidades que representam um grupo previamente determinado de edificações e imprimem o conceito, aplicado no processo de construção de modelos de avaliações urbana, em estoque de energia de construções, podendo ser para o nível nacional, regional ou local (REINHART, DAVILA, 2016). Com a utilização dessas amostras representativas, é possível trabalhar para reduzir significativamente o número de análises em relação a uma mesma tipologia (SCHAEFER, GHISI, 2016).

Para tanto, a construção ou obtenção de um banco de dados se torna um trabalho essencial. A partir da apropriação dessas informações, tem-se o material necessário para solucionar questões, realizar julgamentos e desenvolver as propostas de um projeto. Dessa maneira, ao modelar o consumo de energia, o estoque de edifícios pode ser representado por um edifício típico ou de amostra (SWAN, UGURSAL, 2009), arquétipo (REINHART, DAVILA, 2016), edifícios de referência (SCHAEFER, GHISI, 2016), edifícios representativos (LARA *et al.*, 2015) ou referido como tipologias de edifícios.

Essas edificações de referência possuem um conjunto de informações capazes de agregar representações de todo o estoque, pois possuem características que fornecem a base para as análises da realidade existente, viabilizam prognósticos de alterações no estoque de edificações e de medidas de *retrofit* de energia. Portanto, a definição de arquétipos representativos viabiliza a avaliação das tipologias, que são fundamentais para indicar intervenções econômicas no desempenho energético, que devem ser avaliadas a partir de um conjunto reduzido

de modelos (FAMUYIBO *et al.*, 2012).

Por conseguinte, um criterioso e amplo estudo das edificações de uma região é necessário para a definição do edifício que será tomado como referência. Para tal determinação, o passo inicial é a definição do objeto de estudo. Há variáveis associadas a ele que determinam a edificação, considerando as condições climáticas da região, os detalhes da construção, sua funcionalidade, o consumo de energia e do padrão de operação. A partir das informações, são avaliadas as particularidades comuns ao contexto e, dessa forma, uma ou mais edificações de referência podem ser encontradas (GERALDI *et al.*, 2021b).

Assim, passa a ser viável a proposição das medidas de melhorias a serem implementadas para obter os resultados pretendidos nessa realidade. Na sequência, são realizados monitoramentos, que consistem na constante reavaliação do *benchmark* do parque imobiliário, sendo que este é um processo essencial na construção e manutenção de um *benchmarking*. Este processo representa a estrutura de controle e gestão, por visar a conservação de um padrão estabelecido.

### 2.2.2 MÉTODOS DE *BENCHMARKING* DE ENERGIA

As pesquisas no campo dos modelos de previsão de energia de edifícios têm apresentado avanços. Diversos são os métodos de *benchmarking* voltados para classificar a qualidade de um edifício, em comparação com seu semelhante de uso, área condicionada e zona climática (CHUNG, 2011; LI *et al.*, 2014; NIKOLAOU *et al.*, 2011; PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

Para Yibo *et al.* (2018) e Geraldi e Ghisi (2020a), cada método de *benchmarking* energético é uma avaliação comparativa, que pode ocorrer em escala isolada ou junto ao parque imobiliário, sendo uma ferramenta que permite adequações a partir das detecções das necessidades de melhorias e objetivando a obtenção de um desempenho superior. Hamilton (2017) afirma que o desempenho energético está atrelado à consistência e interação de inúmeras características pertencentes a uma edificação. Desta forma, o desenvolvimento de um método de qualidade requer atenção na obtenção e atualização sistêmica de um banco de dados de edifícios.

Além disso, a seleção de um método que assegure uma representação confiável do objeto de estudo é necessária para a construção de um *benchmarking*. Chung (2011) classifica os sistemas como públicos ou internos, sendo

que o primeiro tem suas informações abertas, enquanto no outro elas são restritas. Para os tipos públicos, o autor apresenta o Método dos mínimos quadrados ordinários (OLS) (*Ordinary Least Square method*), Método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos (COLS) (*Corrected Ordinary Least Square method*), Método de análise de fronteira estocástica (SFA) (*Stochastic Frontier Analysis method*) e Método de normalização simples (*simple normalization method*). Já no segundo, sistema interno, existe a Análise de envoltória de dados (DEA) (*Data Envelopment Analysis method*), Método de rede neural artificial (RNA) (*Artificial Neural Network method*) e *Simulação*:

- **Método dos mínimos quadrados ordinários (OLS)** ou Regressão simples – neste método, ocorre a determinação de um indicador de eficiência energética, que oferece parâmetros para classificação das edificações. Sendo essa a etapa inicial de um *benchmarking* para que, posteriormente, ocorram comparações entre modelos e avaliação dos resultados encontrados (BORGSTEIN, LAMBERTS, 2014a; CHUNG, 2011; HONG *et al.*, 2014; PAPADOPOULOS, KONTOKOSTA, 2019).
- **Método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos (COLS)**, ou Análise de Regressão Simples – é um modelo de regressão linear que se desenvolve em duas etapas: a primeira, estimada por meio de uma OLS, e a segunda ocorre no ajuste de todos os resíduos, em que as amostras ineficientes são rebaixadas para a linha de regressão para que os dados sejam utilizados no estudo (BORGSTEIN *et al.*, 2016; CHUNG, 2011; KHOSHBAKHT *et al.*, 2018).
- **Método de análise de fronteira estocástica (SFA)** – consiste em um método paramétrico para *benchmarking*, de mecanismo aleatório, que utiliza uma equação de regressão, a qual avalia a eficiência energética utilizada em construções individualizadas (YANG *et al.*, 2018). Nesta abordagem, é possível identificar ineficiências que podem afetar a adequada utilização da energia (CHUNG, 2011, YANG *et al.*, 2018).
- **Método de normalização simples** – consiste no desenvolvimento de *benchmarks* por meio de análises estatísticas simples de dados coletados, seguida do cálculo dos fatores de desempenho. Esses são denominados Intensidade de Uso de Energia (EUI), que normalizam um conjunto de dados de consumo por uma área útil e/ou horas de operação. Neste caso, deve ser considerado o ajuste climático dos dados, caso a amostra apresente localidades diferentes, e será utilizado nas ocasiões da disponibilidade da

informação de graus-dias (CHUNG, 2011; SUN, YU, 2021; TAYLOR *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2015).

- **Método de Análise de envoltório de dados (DEA)** – é uma ferramenta de diagnóstico não paramétrica, que utiliza programação matemática para determinar a eficiência do consumo energético de um conjunto semelhante de dados, no qual os *benchmarks* são identificados. Sendo esse indicador utilizado como parâmetro para tomada de decisões (BORGSTEIN *et al.*, 2016; CHUNG, 2011).
- **Método de rede neural artificial (RNA)** – é um método de aprendizado de máquina baseado em dados empíricos e dados não detalhados do sistema. Ele possibilita equacionar questões complexas e robustas por meio de modelo matemático, utilizado em mecanismos de experiência (BORGSTEIN *et al.*, 2016; GERALDI; GHISI, 2022a; HONG *et al.*, 2013). Os RNAs são ferramentas que permitem calcular os usos de energia com características singulares e analisar a necessidade de adequações (BURATTI *et al.*, 2014).
- **Método de Simulação** – é um *benchmarking* baseado em modelo de simulação dinâmica, que utiliza um *software* para modelagem com a definição de um edifício de autorreferência (modelo termodinâmico). Esse, por sua vez, é utilizado como parâmetro para a análise do desempenho energético dos edifícios, novos ou existentes. O processo é iniciado pela coleta de dados do contexto para que, posteriormente, uma ferramenta de simulação seja alimentada, a qual descreverá o modelo matemático (SCHAEFER, GHISI, 2016; WANG *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2016).

Embora os métodos sejam constantemente aprimorados, os estudos de *benchmarking* de energia estão concentrados em três categorias, os *modelos físicos, indicadores de desempenho energético e orientados por dados* (DING, LIU, 2020). Em sua revisão, Li *et al.* (2014) descreveram que os métodos são divididos em relação à disponibilidade de parâmetros acessíveis no detalhamento de dados necessários, sendo eles: *caixa branca, preta e cinza*, detalhados a seguir:

#### 2.2.2.1 Acesso aos dados

O acesso aos dados é a base de um *benchmarking*, pois só a partir deles torna-se possível as análises pertinentes em cada contexto. Dessa forma é

fundamental definir a abordagem mais adequada a ser seguida, especialmente, ao considerar a proposta de viabilizar o desenvolvimento do presente estudo.

Nos últimos anos, as pesquisas no campo dos modelos de previsão de energia de edifícios vêm sendo aperfeiçoadas. Diversos são os métodos de *benchmarking* que classificam e agrupam em abordagens *top-down* e *bottom-up* com base na disponibilidade das informações envolvidas. O primeiro caso responde às estratégias de avaliação energética dos edifícios, permitindo inovação e adequações em grande escala, entre sistemas e de maneira ordenada. O segundo caso, objetiva obter melhoras localizadas, por setor ou operação, e em contextos com carência de informação (HONG *et al.*, 2013).

Esses métodos estão sendo utilizados com o objetivo de prever e avaliar os impactos econômicos, políticos e ambientais, principalmente com a atenção voltada ao consumo de energia e mitigação das questões climáticas (BURMAN *et al.*, 2014). Suas diferenças estão relacionadas ao posicionamento hierárquico de entrada de informações. A abordagem *top-down* possui um direcionamento de fluxo de dados no sentido descendente, sendo do “macro” para o “micro”, e a *bottom-up* se estrutura no processo inverso, ascendente, do “micro” para o “macro” (Ó BROIN *et al.*, 2013). As dimensões “macro” e “micro” estão relacionadas aos contextos de consumo de energia do edifício de acordo com o nível de informação de uma mesma tipologia.

Ambos os modelos são estratégias de tratamento de dados, que podem ser utilizadas para construir um *benchmarking* energético e auxiliar no processo gestão de edificações e na classificação do desempenho em escala urbana. Essas ferramentas contemplam os contextos edificados, conforme a complexidade das informações (VAISI *et al.*, 2023).

Swan e Ugursal (2009) afirmam que a metodologia de avaliação de edifícios *top-down* permite incorporações de variáveis socioeconômicos. Nos casos do uso da abordagem *bottom-up*, ocorre a dependência de informações históricas nos contextos de obtenção de dados. Ao mesmo tempo, a deficiência de detalhes aprofundados a respeito do consumo energético dos edifícios prejudica a identificação de pontos importantes para possíveis intervenções e melhorias que permitam a redução dos custos.

A seguir, o Quadro 2 apresenta as comparações de abordagens energética de edifícios em relação aos métodos *top-down* e *bottom-up*:

Quadro 2 – Comparação de abordagens energética de edifícios

ABORDAGEM/ CARACTERÍSTICA	TOP-DOWN	BOTTOM-UP
<b>Objetivos</b>	• Identificar edificações ineficientes em uma comunidade.	• Caracterizar como os usuários contribuem no consumo energético de edifícios.
	• Impulsionador da eficiência energética em larga escala.	• Diagnosticar sistemas e melhorar o desempenho.
<b>Método</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação de um edifício com uma amostra representativa de outros edifícios;</li> <li>• Normalização dos desempenhos por meio do cálculo dos índices de <i>benchmarkings</i> de energia;</li> <li>• Identificação do <i>benchmark</i> (mediana dos desempenhos energéticos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar um edifício com seu próprio desempenho teórico;</li> <li>• Simulação e códigos de energia para extrair os <i>benchmarks</i>.</li> </ul>
<b>Amostra</b>	• Estoque de edifícios semelhantes	• 01 ou 02 edifícios.
<b>Parâmetros para avaliar o consumo final de energia</b>	• Características comuns de um grupo de edifícios (clima semelhante, área condicionada e consumo real de energia).	• Serviços de ar-condicionado, iluminação, água quente sanitária, papel do ocupante, propriedades físicas da edificação.
<b>Observação</b>	• Sem detalhes na escala do edifício.	• Informações detalhadas da estrutura, sistemas e ocupação do edifício.
	• Previsão do consumo de energia em estoques de edifícios com dados agregados.	• Previsão do consumo de energia em edifícios individuais.

Fonte: Adaptado de Hong *et al.*, (2013); Ó Broin *et al.* (2013); Swan e Ugursal (2009).

Assim como apresentado no Quadro 2, *bottom-up* e *top-down* são duas abordagens distintas utilizadas para realizar avaliações de um sistema em operação. Desta forma, a primeira é definida como um processo que ocorre de cima para baixo, levando em consideração a maneira como o projeto é executado. Por sua vez, a segunda é caracterizada pelo fluxo de baixo para cima, produzindo uma compreensão mais detalhada do objeto de estudo. Portanto, essas duas estratégias têm a capacidade de agrupar informações que viabilizam a identificação de *benchmarks* (HONG *et al.*, 2013). Para um melhor entendimento, serão detalhados cada uma dessas abordagens nos tópicos a seguir.

### 2.2.2.1.1 Abordagem Bottom-up

A abordagem de *benchmarking bottom-up* é uma avaliação comparativa de energia com maior número de variáveis em relação ao *top-down*. Este sistema exige elevada demanda de informações do contexto edificado, como características do edifício, operação e utilização (BURMAN *et al.* 2014; HONG *et al.*, 2013).

Esse método, segundo os autores Geraldi e Ghisi (2022b), Wong *et al.* (2019) e Zerroug e Dzelzitis (2020), foi desenvolvido com o objetivo de descrever como os usuários contribuem no consumo energético do estoque de edifícios. Desta forma, caracteriza o consumo final a partir de dados detalhados associados ao consumo, embora em muitas ocasiões não estão disponíveis. Podem ser classificados em dois tipos: *método estatístico* e o *baseado na engenharia* para representar cada edifício individualmente (LI *et al.*, 2017; REINHART, DAVILA, 2016; SWAN, UGURSAL, 2009).

Swan e Ugursal (2009), complementam quando descrevem que:

A abordagem ascendente abrange todos os modelos que usam dados de entrada de um nível hierárquico inferior ao do setor como um todo. Os modelos podem levar em conta o consumo de energia de usos finais individuais, casas individuais ou grupos de casas e, em seguida, são extrapolados para representar a região ou nação com base no peso representativo da amostra modelada (SWAN, UGURSAL, 2009, p. 1822, tradução nossa).<sup>1</sup>

O *método estatístico* utiliza mineração de dados e aprendizagem de máquina no processo de caracterização do consumo final. Nele, um modelo é produzido e estima-se a quantidade das construções que representam o conjunto de edifícios como um todo, em que, posteriormente, se extrapolam os resultados para representar uma área da amostra estudada (BORGSTEIN *et al.*, 2016).

Nesta avaliação, a variedade de dados de entrada resulta em três subcategorias: *regressão*, *análise de demanda* e *rede neural*. A *regressão* combina

---

<sup>1</sup> Tradução livre da autora. No original "The bottom-up approach encompasses all models which use input data from a hierarchal level less than that of the sector as a whole. Models can account for the energy consumption of individual end-uses, individual houses, or groups of houses and are then extrapolated to represent the region or nation based on the representative weight of the modeled sample. (SWAN; UGURSAL, 2009, p. 4).

variáveis que podem interferir no consumo de energia e caso algum parâmetro não tenha significado ele é desprezado para melhor qualificar o modelo. O método *análise de demanda* também trabalha com regressão e, para alcançar resultados de qualidade, ele depende de grande variedade de dados da amostra. O último modelo é a *rede neural* que simplifica e descreve os usos finais da energia. Este sistema é interconectado, agindo como uma cadeia de “neurônios” subsequentes. Assim, tal como o sistema biológico, o modelo de energia objetiva reduzir erros e maximizar os resultados (SWAN, UGURSAL; 2009).

No *método de engenharia*, as avaliações podem conter questões voltadas ao comportamento do ocupante e às variáveis socioeconômicas no fator de consumo. No entanto, as possíveis novas medidas de economia podem ser prejudicadas na modelagem, caso os dados históricos de consumo sejam parciais ou inexistentes (NOUVEL *et al.*, 2017).

Ainda, Nouvel *et al.* (2017) consideram método o único que permite modelar o consumo de energia final sem depender de informações históricas. No entanto, estes dados são peças importantes no processo de calibração.

Os modelos ascendentes *baseados em física* avaliam a demanda de energia de usos finais para edifícios individuais, calculando as relações termodinâmicas e a transferência de calor. Sua aplicação necessita alto nível de detalhamento de diferentes variáveis. As mais usuais são as características das edificações como geometria, dados do envelope, propriedades construtivas, questões térmicas internas e externas do edifício, uso de equipamentos e horários de ocupação (SWAN, UGURSAL; 2009).

Esses modelos de *engenharia* se destacam pelo elevado nível de entrada de dados e análises físicas. Swan e Ugursal (2009) definiram três subcategorias identificadas como: *distribuição*, *arquétipo* e *amostra*. Para a modalidade de *distribuição*, a classificação ocorre em escala regional. Inicialmente, há a caracterização dos equipamentos, depois se quantifica e classifica seus consumos, com o objetivo de totalizar o uso final de energia. A identificação do número de edificações, somado à distribuição de aparelhos elétricos, resulta no consumo de energia que é extrapolado e considerado representativo à escala regional ou nacional.

Já o modelo de *arquétipo* define diferentes classes para estoque de edifícios com base em suas similaridades, considerando variáveis do edifício, tais como: ano de construção, tipologia, geometria, dimensões, usos, sistemas de

aquecimento e resfriamento, entre outras modalidades que podem ser representadas por uma edificação. Os parâmetros são utilizados como informações de entrada do modelo de energia e o consumo final dos arquétipos modelados serão extrapolados, representativamente, para o estoque de construções em escala urbana da área de estudo (ÖSTERBRING *et al.*, 2016).

O modelo de engenharia por *amostra* consiste em utilizar amostras reais como dados de entrada para o desenvolvimento do método. Desta maneira, pode-se identificar as variedades de tipologias dentro do estoque e caracterizar as áreas com elevada demanda. No entanto, segundo Swan e Ugursal (2009), a representatividade somente será significativa caso o banco de dados seja robusto.

#### 2.2.2.1.2 Abordagem Top-down

O *benchmarking* energético, utilizando a abordagem *top-down*, consiste em identificar a eficácia global de um contexto edificado. Nele, ocorre uma análise que começa por um tratamento geral de dados e “estrita” até os níveis específicos. Neste caso, entende-se que nos processos de avaliação são consideradas as maiores escalas de informações. Assim, este é um método relevante na gestão da eficiência energética operacional em grande escala (VAISI *et al.*, 2023).

Para Swan e Ugursal (2009), o modelo *top-down* representa o consumo final de energia em edificações. Os dados de entrada utilizados, em geral, estão vinculados a variáveis macroeconômicas, focadas na economia e suas relações, como os índices de preços de energia, Produto Interno Bruto (PIB), taxas de emprego, dados climáticos, demográficos e outros fatores, para realizar avaliações que identifique as necessidades de fornecimento de energia.

Hong *et al.* (2013) e Vaisi *et al.* (2023) complementam que o *top-down* compõe uma representação do comportamento do mercado, na qual descreve-se algumas características que não são possíveis de serem avaliadas na técnica ascendente, visto que tomam como base as relações do setor energético com os usuários. O método trabalha, principalmente, em baixa granularidade das informações, nível agregado e, muitas vezes, em larga escala, em que o foco principal está nas questões *econômicas e tecnológicas*.

A abordagem *top-down econômica* permite estimar a demanda de energia a partir de formulações que considerem as variáveis temporais, como as

tendências históricas de consumo, níveis de renda, valores de combustíveis e PIB. Caracterizar a interação entre os parâmetros de energia consumida com a economia faz com que fatores econômicos tenham a atenção adequada e resultem em retornos para economia (ZERROUG, DZELZITIS; 2020).

Já os métodos *top-down tecnológicos* são responsáveis pela oscilação do consumo total de energia do estoque de edificações, que aumentam ou reduzem a intensidade do uso. As atualizações dos componentes *tecnológicos* estão diretamente ligadas às questões econômicas, pois para alcançar mudanças ambientais é necessário a atualização de equipamentos (SWAN, UGURSAL, 2009; ZERROUG, DZELZITIS, 2020).

Os benefícios do *top-down* estão atrelados à tipologia de dados de entrada e, por consequência, a sua simplicidade. Como são baseadas em dados agregados, há uma facilidade de sua disponibilidade, pois necessita de baixo esforço em suas coletas (SWAN, UGURSAL; 2009).

#### 2.2.2.2 Nível de complexidade dos métodos

Os modelos de energia do edifício têm como objetivo prever o consumo energético, sendo uma peça importante na gestão e conservação de energia. Eles permitem auxiliar em estratégias de controle e operação das edificações, obtendo impacto na eficiência energética das construções e na qualidade do espaço, além de poder caracterizar e diagnosticar possíveis problemas (TANVEER *et al.*, 2018; ZHANG, WEN; 2019).

Cada método pode ser classificado segundo seu nível de complexidade. Os mecanismos para edifícios existentes são agrupados como *caixa branca* nas situações exclusivamente baseadas nas questões físicas; *caixa preta*, quando pautada em dados empíricos; e *caixa cinza*, que mescla as características das duas anteriores (LI, WEN, 2014), conforme o Quadro 3, a seguir:

Quadro 3 – Síntese dos métodos de Avaliação

MÉTODO	DENOMINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS	DEMANDA
<b>CAIXA BRANCA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métodos físicos;</li> <li>Método de Engenharia;</li> <li>Método de Simulação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os resultados das equações são simulações que descrevem a dinâmica térmica e o comportamento energético das edificações;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necessidade de projeto detalhado, o que pode ocasionar prejuízo na precisão dos resultados;</li> <li>As simulações</li> </ul>

MÉTODO	DENOMINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS	DEMANDA
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulações de engenharia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• computacionais são complexas.</li> </ul>
<b>CAIXA PRETA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método estatístico;</li> <li>• Método matemático;</li> <li>• Método orientado por dados.</li> <li>• Modelo de Regressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza procedimentos de ajuste de dados em vez de conhecimento físico;</li> <li>• Necessita de dados de treinamento;</li> <li>• A construção de um banco de dados permite avaliar as construções de forma mais realista em seu desempenho energético, além de facilitar o acesso e alimentação nos modelos de cálculo;</li> <li>• Caracteriza modelos de linha de base de energia;</li> <li>• Permite diagnosticar e controlar problemas em sistemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de grande quantidade de variáveis do projeto;</li> <li>• Coletas de dados extensas e trabalhosas.</li> </ul>
<b>CAIXA CINZA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método Híbrido;</li> <li>• Método baseado em física com matemática.</li> <li>• Método físico orientado por dados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo que mistura caixa preta com branca;</li> <li>• Alta capacidade de generalização e precisão;</li> <li>• Necessita fornecer dados detalhados do edifício no processo de simulação;</li> <li>• Demanda maiores esforços para sua construção;</li> <li>• A calibração é relevante, tendo em vista adequação de falhas e diminuir incertezas do modelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade um banco de dados amplo e detalhado de variáveis do projeto;</li> <li>• Para sua construção, solicita a compreensão dos modelos físicos e matemáticos;</li> <li>• O modelo deve ser corretamente calibrado.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de BORGSTEIN *et al.* (2016) e LI *et al.* (2014).

Todos os métodos podem alcançar os resultados desejados. Todavia, a definição de qual método utilizar para obter soluções pretendidas deve ter como base parâmetros projetuais, dados disponíveis e a experiência do modelador. O método *caixa branca* proporciona a nitidez dos processos matemáticos, já os métodos *caixa preta* e *cinza* são viáveis apenas se há informações disponíveis (LI *et al.*, 2014). Para a melhor compreensão, a seguir serão descritas as características de cada um desses métodos.

#### 2.2.2.2.1 Método Caixa Branca

Segundo Amasyali e El-Gohary (2018), o *modelo* é conhecido por *método físico de caixa branca* ou *de engenharia* ou *de simulação*, que utiliza de etapas iniciais dos projetos de edifícios e antecede a existência de dados de energia disponíveis. Neste modelo, é possível capturar a dinâmica térmica e o comportamento energético em todo o nível da edificação. Ele descreve equações detalhadas com base na física e que são modeladas por meio das entradas de grande quantidade de

documentações de projeto, como localização, dados climáticos, geometria do edifício, construções, perfis de ocupação, sistemas e subsistemas. O resultado dessas equações são simulações que descrevem a dinâmica das edificações e preveem o seu uso de energia.

Esses mecanismos de simulação de engenharia têm sido utilizados na etapa de concepção do projeto para ajudar os planejadores nas tomadas de decisões de projeto antecipadas. Atualmente, existem vários instrumentos de *caixa branca* desenvolvidos, incluindo o *BLAST*, *DOE-2*, *EnergyPlus*, *ESP-r*, *eQuest*, *TRNSYS*, *PowerDomus*, entre outros simuladores. Os programas permitem calcular padrões de energia e medidas de conservação para os edifícios, a partir de dados de entrada como características detalhadas das construções. Entretanto, a ausência da totalidade das variáveis disponíveis na fase de simulação, pode ocasionar prejuízo na precisão dos resultados (AMASYALI, EL-GOHARYÿ, 2018; LI, WEN, 2014; ZHANG *et al.*, 2015).

Para o método *caixa branca*, são calculados um grupo de características dos edifícios que resultarão no consumo de energia por período. Dentro deste contexto, existem alguns tipos como o método *normativo*, *baseado em modelo idealizado*, *bin modificado* e *simulação de energia baseado em equações*, que se diferem em relação ao nível de complexidade (LI *et al.*, 2014).

#### 2.2.2.2.2 Método Caixa Preta

O método de *caixa preta* utiliza procedimentos de ajuste de dados em vez de conhecimento físico, portanto, requer um *modelo estatístico* ou *matemático* pré-selecionado e dados de treinamento (WANG *et al.*, 2012). Entretanto, barreiras podem dificultar o acesso às informações da edificação. Há uma grande dificuldade na obtenção de variáveis do projeto, como dados relacionados à construção, seus sistemas e fatores de ocupação, necessários no processo de modelagem, principalmente, nas construções mais antigas. A coleta *in loco* objetiva a confirmação dos parâmetros de entrada e são extensas e trabalhosas. Mesmo assim, diferenças entre os resultados calculados e os reais são facilmente identificadas, podendo fragilizar a qualidade do método (BORGSTEIN, LAMBERTS, 2014a).

Desse modo, a avaliação de construções existentes com dados medidos do consumo de energia apresenta resultados mais realistas da dinâmica de

desempenho energético do edifício, além de facilitar o acesso e alimentação nos modelos de cálculo. A modelagem *orientada por dados*, também denominada *método estatístico*, pode ser categorizada como *modelos de caixa preta* ou *de caixa cinza*. Esses métodos de dados conseguem caracterizar modelos de linha de base de energia, que podem ser usados para determinar economia nos projetos de reformas, acompanhamento de desempenho, diagnóstico e desenvolvimento de estratégias de controle de possíveis problemas no sistema (CUI *et al.*, 2015).

Para *métodos de caixa preta*, existem as categorias *rede neural artificial*, *método de estado estacionário* e *regressões*, que são os métodos mais populares para *benchmarking* de energia. Um *modelo de caixa preta* é composto somente por dados monitorados de consumo de energia da edificação (TANVEER *et al.*, 2018).

#### 2.2.2.2.3 Método Caixa Cinza

O método *caixa cinza* ou *híbrido* é baseado em física, com matemática, e orientado por dados. Ele apresenta a integração das características tanto do método *caixa preta* como de *caixa branca*. Além desse fator, ele possui alta capacidade de generalização e precisão, embora necessite de dados detalhados do edifício no processo de simulação, o que requer alta demanda de trabalho e informações para sua construção. Ainda, para sua funcionalidade é necessária a calibração, com o objetivo de reduzir incertezas dos resultados. Para sua implementação, é necessário um banco de dados amplo e detalhado de variáveis de projeto (LI, WEN, 2014; LI *et al.*, 2014).

#### 2.2.2.3 Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho energético de uma edificação contribuem na normalização dos padrões de consumo e podem viabilizar adequações nas edificações e conscientização no uso de energia pelos usuários. Isso ocorre por meio de um conjunto de métricas que avaliam o uso de energia ao longo do tempo e demonstram o desempenho do edifício.

A forma de avaliação mais comumente usada está na relação do consumo energético da edificação pela área construída. Entre os indicadores de

desempenho energético, o *Energy Use Intensity* (EUI), ou intensidade de uso de energia, apresenta a maior incidência de uso nos estudos relacionados à gestão energética das edificações. Ele possibilita avaliar o consumo energético da edificação por um fator (BORGSTEIN *et al.*, 2016; KIM *et al.*, 2019).

Ainda, são encontrados outros índices baseados em aspectos distintos relacionados às características dos edifícios, fatores ambientais e tipo de ocupação. Neles, é possível utilizar um indicador de desempenho energético para comparar o perfil das edificações, assim como em modelos de *benchmarking*. Em cada realidade, um tipo específico de unidade de medida é utilizado, para citar alguns: quando se refere ao padrão construtivo, usa-se a intensidade de uso de energia em kWh/m<sup>2</sup>/ano (GERALDI *et al.*, 2021a; HONG *et al.*, 2014) e, nas situações em que se considera o volume ou kWh/m<sup>3</sup>/ano (PEREIRA *et al.*, 2014), o volume do edifício é tomado como base. Nos contextos em que as questões ambientais são estudadas, usa-se KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/ano (AKANDE *et al.*, 2016), pois expressa uma emissão global de CO<sub>2</sub> por unidade de área útil. Já, nos eventos em que se considera o número de ocupantes das edificações, os indicadores são apresentados na relação consumo energético por ocupante, kWh/ocupante/ano (GERALDI; GHISI, 2020b; GERALDI; GHISI, 2022b; HONG *et al.*, 2014; VELOSO *et al.*, 2020).

Esses índices possibilitam a comparação de diferentes realidades entre dois imóveis ou parque imobiliário, confrontando os seus valores (BORGSTEIN, LAMBERTS, 2014a). Para tanto, utiliza-se um valor padrão como parâmetro de referência de desempenho energético, que normalmente tem como medida o valor médio ou *típico* do EUI para um determinado nível geral da tipologia. Ainda, os autores afirmam que os edifícios que possuem desempenhos próximos à referência são definidos como edificações energeticamente *eficientes*. Por sua vez, aqueles que apresentam EUI superiores serão classificados como *ineficientes* e, portanto, necessitam otimizar o seu uso e, por consequência, economizar energia. Contudo, para a aplicação do *benchmarking* é necessário a normalização dos dados do consumo anual de energia, que resultarão nos indicadores a serem utilizados para a identificação e adequação da amostra (DING *et al.*, 2018; KHOSHBAKHT *et al.*, 2018).

Esse processo fornece informações que transformam projetistas, moradores, proprietários e gestores nos atores responsáveis pelo desempenho do uso de energia nas edificações em operação. Além disso, ele pode estimular a melhoria da eficiência energética, ao alimentar o público-alvo com informações sobre o motivo

do desempenho abaixo do esperado (WANG *et al.*, 2012). Essa estratégia traz benefícios pela viabilização das conquistas dos objetivos, em função da conscientização das pessoas envolvidas com os imóveis de baixo desempenho (VAISI *et al.*, 2023). Sendo assim, os resultados de um *benchmarking* podem impulsionar metodologias para reverter resultados aquém do esperado.

O estudo de Pereira *et al.* (2014) também descreve a utilização de indicadores por alunos e por volume condicionado, por meio de um modelo de *benchmarking* matemático com informações de diversos países. Na sua conclusão, os autores indicam que a seleção do indicador deve estar relacionada ao objetivo pretendido.

Por sua vez, outros estudos consideram o EUI anual para unidade de ensino de 93 kWh/m<sup>2</sup>, em Luxemburgo (THEWES *et al.*, 2014), 47 kWh/m<sup>2</sup>, na Itália (DALL'O, SARTO, 2013), de 69 kWh/m<sup>2</sup>, na Grécia (PEREIRA *et al.*, 2014), 214 kWh/m<sup>2</sup>, na Finlândia (SEKKI *et al.*, 2015) e 264 kWh/m<sup>2</sup> no Canadá (OUF; ISSA, 2017). Esses consumos anuais de energia (kWh/m<sup>2</sup>) podem, também, estar relacionados às condições climáticas locais e ao comportamento dos ocupantes, ao utilizar os ambientes internos (AHMED *et al.*, 2023; CHEN *et al.*, 2021; FABI *et al.* 2012).

No Brasil, os estudos vêm sendo apresentados para unidades escolares de ensino infantil, médio, fundamental e superior. Nesses, os usos de indicadores de consumo de energia são voltados para resfriamento e estão utilizando EUIs relacionados ao consumo por área por ano e, em outros casos, consumo por aluno por ano. Geraldi e Ghisi (2022a), Geraldi *et al.* (2021b) e Quevedo *et al.* (2023) avaliaram seus parques imobiliários de instituições escolares, por meio de EUI relacionada à área (kWh/m<sup>2</sup>/ano). Já Geraldi *et al.* (2021b) e Gnecco *et al.* (2021) se diferem por utilizar, além do consumo por área (kWh/m<sup>2</sup>/ano), o indicador consumo por aluno (kWh/aluno/ano) em suas análises.

A seguir, o Quadro 4 apresenta os estudos citados, que utilizaram indicadores energéticos em edificações escolares:

Quadro 4 – Estudos energéticos em edificações escolares

FONTE	LOCAL	TIPOLOGIA DE ESCOLA	INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA
Geraldi e Ghisi (2022b)	Florianópolis – Brasil	Ensino médio e fundamental	30,54 kWh/m <sup>2</sup> /ano

FONTE	LOCAL	TIPOLOGIA DE ESCOLA	INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA
<b>Geraldi et al. (2021a)</b>	17 Estados do Brasil	Ensino médio e fundamental	1,07 a 28,68 kWh/m <sup>2</sup> /ano 99,98 a 101,8 kWh/aluno/ano
<b>Geraldi et al. (2021b)</b>	Santa Catarina Brasil	Ensino médio e fundamental	41,3 a 62 kWh/m <sup>2</sup> /ano
<b>Gnecco et al. (2021)</b>	Florianópolis – Brasil	Ensino infantil	17,04 a 32,28 kWh/m <sup>2</sup> /ano 58,63 a 105,79 kWh/aluno/ano
<b>Quevedo et al. (2023)</b>	Cidades do Brasil	Ensino superior	Variável por cidade

Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda na realidade brasileira, Saraiva *et al.* (2019) e Geraldi e Ghisi (2022b) se aprofundaram ao aplicar a comparação do desempenho energético em unidades escolares com um novo indicador, a qualidade ambiental interna. No primeiro estudo, ocorreu a comparação dos indicadores de conforto ambiental entre as regiões do país, eles demonstram que há a necessidade de construção de metodologias de avaliação específica para cada localidade. No segundo estudo, os autores possibilitaram olhar para o nível de satisfação ambiental que os ocupantes consideram em relação à edificação escolar. Além disso, estão diretamente relacionados ao desempenho energético como um todo.

Assim, é possível considerar que o consumo de energia em edificações é uma questão multifatorial, que pode ser influenciada pelas condições climáticas, localização geográfica, características arquitetônicas, horas de ocupação, tipo de uso, quantidade e comportamento dos ocupantes dentro dos ambientes.

Dessa forma, os benefícios da utilização dos indicadores energéticos se encontram na simplicidade de cálculo que proporcionam e por permitirem seu uso para os objetivos a serem alcançados, adequando-se aos processos comparativos de análise de desempenho das edificações em estudo. Eles possibilitam uma comparação mensurável do desempenho entre realidades diferentes, mas de mesma tipologia, e viabilizam as tomadas de decisão.

#### 2.2.2.4 Síntese dos métodos

Borgstein *et al.* (2016), Hong *et al.* (2013) e Li *et al.* (2014) consideram que a forma de avaliação de um parque imobiliário necessita ser apropriada aos seus

objetivos. As informações existentes e o porquê avaliar devem ter transparência, para que atinjam a finalidade proposta. Para tanto, o uso de um modelo deve ser o que se adequa a cada realidade e, portanto, o modelo de *benchmarking* ideal é aquele que propicia os meios mais econômicos e eficientes para sua execução na obtenção de resultados. O Quadro 5, a seguir, apresenta a síntese das principais metodologias de avaliação do desempenho energético de edifícios:

Quadro 5 – Síntese de metodologias de avaliação do desempenho energético de edifícios

MÉTODO	INFORMAÇÕES DE ENTRADA	NÍVEL DE PRECISÃO	PROCESSOS	LIMITAÇÕES	ABORDAGEM
<b>Engenharia</b>	Dados simplificados dos edifícios.	Variável.	Projeto; Avaliação do consumo final; Grande flexibilidade.	Nível de precisão limitada.	<i>Bottom-Up</i> . Caixa Branca ou Cinza.
<b>Simulação</b>	Dados detalhados dos edifícios.	Alto.	Projeto. Edificações complexas. Proporciona alta precisão.	Grande dependência do usuário na coleta de dados.	<i>Bottom-Up</i> . Caixa Branca.
<b>Estatístico</b>	Estoque de dados das edificações.	Médio	Sistemas de <i>benchmarking</i> . Análise simplificada	Dependente de processos estatísticos. Nível de precisão limitada.	<i>Top-Down</i> . Caixa Preta ou Cinza.
<b>Aprendizado de Máquina</b>	Ampla conjunto de dados.	Médio e Alto.	Complexidade na construção do modelo. Desconsidera características físicas diretas.	Modelos complexos.	<i>Top-Down</i> . Caixa Preta ou Cinza.

Fonte: Adaptado de Borgstein *et al.* (2016); Hong *et al.* (2013b) e Li *et al.* (2014).

Dessa forma, a escolha do método dependerá do conjunto de informações para construção do *benchmarking*. Os dados disponíveis, nível de confiabilidade, localização, condições climáticas, características do projeto arquitetônico e a competência técnica do avaliador estão entre os indicadores que influenciarão na escolha do método para que se obtenha fidedignidade nos resultados (BORGSTEIN *et al.*, 2016).

### 2.3 BENCHMARKING ENERGÉTICO EM EDIFÍCIOS ESCOLARES

Os *benchmarkings* energéticos em escolas apresentam as mesmas características que em outras tipologias. São ferramentas de fornecimento de

informações aos administradores e aos usuários de edifícios, no processo de gestão do consumo eficiente da energia e, paralelamente, permitem otimizar o desempenho energético (WANG *et al.*, 2012).

Diversos foram os *benchmarkings* que surgiram com o propósito de ressaltar a relevância da utilização de modelos voltados à eficiência energética dos edifícios e, conseqüentemente, proporcionar conforto aos seus ocupantes. Ressaltam-se alguns estudos que apresentaram métricas e métodos de *benchmarking* energético para tipologias variadas de edificações, como agências bancárias (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014a; VEIGA *et al.*, 2021; WONG *et al.*, 2019), centros da área de saúde (DAHLAN *et al.*, 2022), edifícios comerciais (BORGSTEIN *et al.*, 2018; CHUNG, 2012; VELOSO *et al.*, 2023), edifícios residenciais (GHAJARKHOSRAVI *et al.*, 2020), hotéis (NGUYEN; ROCKWOOD, 2019; SHENG *et al.*, 2018), supermercados (RODRIGUES; CARLO, 2022; TIMMA *et al.*, 2016) e edifícios escolares (CHIHIB *et al.*, 2020; GERALDI, GHISI (2022a), GERALDI *et al.*, 2021a; 2021b; GNECCO *et al.*, 2021; GNECCO, 2022; GUILLÉN *et al.*, 2019; KHOSHBAKHT *et al.*, 2018; MARRONE *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2014; QUEVEDO *et al.*, 2023; SARAIVA *et al.*, 2019).

Tomando como base a relevância da educação na sociedade, trabalhar a eficiência energética das unidades de ensino representa a oportunidade de produzir reflexos no custeio das instituições, relacionados ao consumo de energia e ao conforto ambiental dos usuários (PAPADOPOULOS, AVGELIS, 2003).

Portanto, embora todas as edificações devam ser levadas em consideração, os edifícios públicos, como escolas, universidades, repartições burocráticas e as unidades de saúde apresentam relevância, devido à significativa demanda pelos serviços disponibilizados nestes espaços e, por conseqüência, tornam-se focos importantes para serem edifícios energeticamente eficientes (CHIHIB *et al.*, 2020).

Especificamente, em relação as edificações escolares, Dall'o' e Sarto (2013) alegam que a reabilitação energética desses ambientes contribui na redução dos gastos da gestão pública ao mitigar a emissão do GEE e, simultaneamente, a implementação dessas ações por parte dos governos, ao construir uma cultura do uso racional da energia junto à comunidade. Como descrito por vários estudos que consideram o desempenho energético dos ambientes de ensino um tema que requer uma investigação permanente (DALL'O, SARTO, 2013; GERALDI *et al.*, 2021b;

GERALDI, GHISI, 2022a; GNECCO, 2022; GUILLÉN *et al.*, 2019; KHOSHBAKHT *et al.*, 2018; LIZANA *et al.*, 2018; MARRONE *et al.*, 2018; OUF, ISSA, 2017; PEREIRA *et al.*, 2014; QUEVEDO *et al.*, 2023; SARAIVA *et al.*, 2019; SEKKI *et al.*, 2015; WANG, 2019a; WANG, 2019b).

As instituições escolares possuem conformações que se diferem em nível de ensino, localização, região climática, gestão administrativa, características físicas, sistemas internos, desempenho energético e ocupação de seus espaços. Portanto, para compreender a complexidade da realidade escolar, foram elencados os estudos e detalhado no Quadro 6, a seguir:

As instituições escolares possuem conformações que se diferem em nível de ensino, localização, região climática, gestão administrativa, características físicas, sistemas internos, desempenho energético e ocupação de seus espaços. Portanto, para compreender a complexidade da realidade escolar, foram elencados os estudos e detalhado no Quadro 6, a seguir:

Quadro 6 – Estudos energéticos em edificações escolares

FONTES	LOCAL	AMOSTRA	TIPOLOGIA	ANO BASE	VARIÁVEIS	MÉTODO
Geraldi e Ghisi (2022b)	Brasil - Florianópolis	426	Ensino médio e fundamental	2019	Área construída; Capacidade/hora/ m <sup>2</sup> ; Consumo/ aluno; Ocupação; Satisfação térmica; Horas de Ocupação; Tipo de sistema de climatização; Zona Climática.	Bottom-Up, Caixa cinza, Redes Neurais Artificiais
Geraldi <i>et al.</i> (2021a)	17 Estados do Brasil	2.445	Ensino médio e fundamental	2018	Área construída; Consumo Anual de Energia; Número de alunos; Localização.	Bottom-Up, Caixa cinza, Estatístico
Geraldi <i>et al.</i> (2021b)	Santa Catarina – Brasil	298	Ensino médio e fundamental	2018	Área construída; Consumo Anual de Energia; Formato da construção; Idade do edifício; Número de Alunos;.	Bottom-Up, Caixa cinza, Regressão linear múltipla
Gnecco <i>et al.</i> (2021)	Florianópolis Brasil	57	Ensino infantil	2019	Área construída; Consumo Anual de Energia; Número de alunos .	Top-Down, Caixa preta, Estatístico
Ouf e Issa (2017)	Manitoba - Canadá	30	Ensino fundamental e médio	2004 e 2013	Área construída; Consumo de energia; Data de construção; Densidade de ocupação; Idade do edifício; Número de ocupantes; <i>Retrofits</i> (datas e tipos); Tipologia da escola.	Top-Down, Caixa preta, Modelo de Regressão; Múltipla regressão e Análise de múltipla covariância (ANCOVA)
Quevedo <i>et al.</i> (2023)	Cidades do Brasil	9	Ensino superior	X	Características construtivas; Cronograma de ocupação; Densidade de ocupação; Densidade de potência de iluminação; Localização; Sombreamento.	Bottom-up, Caixa cinza, Aprendizado de máquina, Máquina de Vetores de Suporte e Redes Neurais Artificiais
Vaisi <i>et al.</i> (2023)	Sanandaj -Irã	31	Ensino fundamental e médio	2016-2019	Área construída; Volume do edifício; Horas de Operação; Número de pessoas	Top-down, Caixa preta, Método Estatístico
Wang (2019a)	Taiwan - China	72	Escola Secundária júnior, sênior e primária	2015	Ano de construção; Área construída; Área de terreno; Consumo de energia histórico; Índice de área útil; Índice de cobertura predial;	Bottom-up, Caixa preta, Regressão Múltipla

FONTE	LOCAL	AMOSTRA	TIPOLOGIA	ANO BASE	VARIÁVEIS	MÉTODO
					Número de departamentos; Número de alunos; Número de docentes; Número de faculdades; Número de funcionários; Número de turmas.	
Wang (2019b)	Taiwan – China	231	Universidade (nacional e privada)	2015-2017	Ano de construção; Área de terreno; Área construída; Consumo de energia histórico; Índice de área útil; Índice de cobertura predial; Número de alunos; Número de docentes. Número de turmas.	Bottom-up Caixa preta Regressão Múltipla

Fonte: Elaborado pela autora.

Wang (2019b) desenvolveu um estudo que avaliou o consumo de 231 escolas de Taiwan, públicas e privadas, de ensino profissionalizante, médio e fundamental; construindo três modelos, para estimar o consumo total de energia, EUI e o uso de energia por pessoa. O autor utilizou análise de regressão múltipla, na qual foi um modelo de previsão com variáveis, como dados históricos de energia, quantidade de estudantes, área de projeto e do campus, além de incorporações de razões de áreas, ocupante, número médio de estudantes por sala de aula e por instituição.

Ainda para Wang (2019b), estes dados foram agrupados em oito categorias e, em seguida, as informações passaram por tratamento estatístico. Dentre os resultados identificados, foi possível afirmar que há correlações: a escala do edifício com consumo energético; os espaços de ensino com o EUI; e a variável categoria foi considerada o parâmetro mais relevante nos modelos de EUI e de uso de energia por pessoa.

Em outra publicação do mesmo autor, Wang (2019a) também utilizou análise de regressão múltipla, para avaliar o consumo em 72 universidades nacionais e privadas de Taiwan. O país está localizado em uma região de clima quente e úmido com temperaturas médias de 16 a 29°C. O banco de dados de consumo foi utilizado dos anos de 2015 e 2017, sendo que a média calculada variou entre 56 kWh/m<sup>2</sup> para universidades nacionais e 93 kWh/m<sup>2</sup> para as privadas. Esses resultados demonstram que os consumos médios das universidades nacionais se assemelharam aos encontrados para as escolas de ensino fundamental de Wang (2019b), mas são aproximadamente cinco vezes menores do que as escolas sênior de Wang (2019a), o que pode caracterizar a necessidade de novos estudos com amostras correlatas.

Já Ouf e Issa (2017) descreveram uma análise do consumo de

energia de prédios escolares em Manitoba, no Canadá, nos anos de 2004 e 2013. O conjunto inicial de edificações somava 129 unidades do parque imobiliário, que inicialmente foram agrupadas em quatro divisões escolares e uma amostra de trinta escolas foi selecionada aleatoriamente. Essa proposta utilizou a análise de regressão múltipla e testes de análise múltipla de covariância (MANCOVA), para identificar a influência de variáveis no processo de consumo de energia, tais como área útil, idade do edifício, ocupação, *retrofits* e tipologia escolar. Sendo o parque imobiliário composto por escolas primárias de jardim de infância ao 8º ano, secundária do 9º ao 12º ano e ensino fundamental.

Nas discussões resultantes, Ouf e Issa (2017) encontraram a relação do elevado consumo das instituições de ensino, comparado à média do país. A tipologia ensino fundamental se destacou por possuir a menor necessidade de energia, em comparação com as demais. Nas análises, a idade do edifício teve impacto significativo no consumo de eletricidade, gás e energia total. Por sua vez, o indicador usuário contribuiu para o crescimento do consumo em unidades com maior idade.

Vaisi *et al.* (2023) desenvolveram um modelo de *benchmark* para escolas públicas no processo de gestão da eficiência energética. A pesquisa trabalhou com dados dos anos de 2016 a 2019, em um parque imobiliário composto por 31 unidades em Sanandaj/Irã, sendo de ensino fundamental e médio. O estudo objetivou analisar os *benchmarks* de energia para escolas, por meio de um método estatístico *top-down*.

O método utilizou regressão múltipla para identificar fatores influentes no consumo de energia. Esse método calculou o EUI, sendo consumo anual por área construída e os *benchmarks*. Identificou, ainda, quais variáveis afetam o consumo de energia. O resultado das referências foi 180 kWh/m<sup>2</sup>/ano energia total. Na identificação de fatores que influenciaram diretamente o consumo de energia estão: altura da fachada, área útil, volume da edificação, horas de ocupação e total de usuários.

Já, Pereira *et al.* (2014), em sua revisão de literatura, estruturaram uma análise sobre os consumos de energia escolar no mundo. Tendo como objetivo a construção de um *benchmarking* funcional da tipologia, que foi realizado com edificações novas e já existentes, a partir de dados reais de edifícios em operação. Para as avaliações, foi identificado que as pesquisas possuíam variações de

informações de consumos energético, localização geográfica (Bélgica, Canadá, Chipre, Eslováquia, Finlândia, Irlanda, Japão, Malásia, entre outros), regiões climáticas, tamanho das amostras, métricas de referência ( $\text{kWh/m}^2$ ,  $\text{kWh/m}^3$ ,  $\$/\text{m}^2$ ,  $\$/\text{m}^3$ ,  $\text{kWh/aluno}$  e  $\$/\text{aluno}$ ) e níveis de ensino escolar (primário, fundamental, médio e universidade). Em casos específicos ocorreu a multiplicidade de tipologias em uma mesma amostra ou, também, em zonas climáticas diversas.

Como síntese final, foi identificado que os resultados obtidos em cada caso são produtos de características peculiares, potencialidades e problemas, que cada região possui. Assim, para cada novo modelo de avaliação energética de edificações educacionais, é importante identificar a disponibilidade de dados existentes sobre o contexto. Ainda, deve-se considerar a qualidade ambiental interna como um fator que amplia a precisão das comparações e atentar aos processos de comparação dos casos semelhantes.

Em outra situação, Quevedo *et al.* (2023) realizaram uma pesquisa de validação, a partir da seleção do arquétipo e da base de dados de universidades construída pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que apresentam as variáveis físicas e ocupacionais de edifícios correlatos no Brasil. Os autores propuseram calcular um *benchmark* de consumo de energia de edifícios voltados para o ensino superior.

O método se estruturou na seleção de um arquétipo de universidade, definição de variáveis, construção de um banco de dados, simulação energética, desenvolvimento e avaliação de modelos preditivos e desenvolvimento de escalas de eficiência energética. Assim, de posse dessas informações, foram simulados e comparados os dados em três métodos preditivos: rede neural artificial, máquina de vetores de suporte e regressão linear múltipla.

Geraldi *et al.* (2021a) avaliaram uma amostra de 5.231 escolas, sendo de ensino fundamental e médio, distribuídas em 17 estados do Brasil. A proposta consistiu na construção de um *benchmarking* estatístico do estoque de edificações de ensino no Brasil. Para sua construção, foram solicitados o fornecimento de dados junto às secretarias de educação de cada estado, sendo coletado as seguintes informações: área construída das edificações, consumo anual de energia, número de alunos e localização geográfica, referentes ao ano de 2018. Os dados permitiram a construção de EUI para caracterizar o estoque; testes estatísticos de análise de variância (ANOVA), para identificar se as diferenças das zonas bioclimática

influenciam estatisticamente no consumo de energia; e a construção da classificação do desempenho operacional dessas edificações.

Os resultados apontaram que o método aplicado é válido para uma abordagem inicial. No entanto, se restringe por não se apropriar da localização da escola, que foi identificado como fator relevante no consumo. Geraldi *et al.* (2021a) concluem, afirmando a necessidade da existência de um método mais robusto para *benchmarking* energético de edificações escolares no Brasil.

Em outro estudo, Geraldi *et al.* (2021b) avaliaram os impactos do formato de 298 edificações de ensino em relação ao desempenho energético. O método foi composto pela caracterização do parque imobiliário, construção de edifícios de referência, simulação e calibração de modelos energéticos, modelos de *benchmarking* regressivos, análise do desempenho dos modelos e validação do *benchmarking* com casos reais. Os dados coletados em 2018, que serviram para o desenvolvimento foram características da construção, operação e condições climáticas do edifício, como: idade da edificação, consumo anual de energia, área total construída, número de alunos e forma de construção de cada instituição.

Os edifícios de referência foram construídos por meio de avaliações do estoque edificado e, posteriormente, simulados com cenários variados. Dessa maneira, foi possível o desenvolvimento de modelos de *benchmarking* regressivos para cada formatação e os resultados medidos foram cruzados por meio de validação. Em seguida, as informações passaram por testes ANOVA, para caracterizar cada formato. Como conclusão, os autores identificaram que o formato da edificação teve influência, ao avaliarem o desempenho energético do edifício, para modelos de *benchmarking* energético *bottom-up*.

Em um mapeamento de edifícios escolares brasileiros, Geraldi e Ghisi (2020b) usaram uma análise combinada de dados de consumo medido e pesquisas correlatas. Foi verificado que 71,1% da amostra era desprovida de equipamento de condicionamento de ar em suas salas de aula. O estudo utilizou da estratégia de normalização para classificar os edifícios em relação as condições ambientais. Em suas conclusões, os autores classificaram que estes necessitavam de adequações para conforto térmico.

Em outro relato, Geraldi e Ghisi (2022b) propuseram um método de *benchmarking* energético *bottom-up*, que avaliou um conjunto de dados do CBCS, composto 426 unidades escolares do ensino fundamental e médio, distribuídas no

Brasil, cruzando dados como: aspectos construtivos, energéticos, climáticos e satisfação térmica dos usuários, por meio da utilização de aprendizado de máquina. Na análise, foi desenvolvido estudo estatístico das variáveis coletadas, identificando parâmetros relevantes no desempenho energético.

Como conclusão, Geraldi e Ghisi (2022b) identificaram que o uso de aprendizado de máquina é uma ferramenta adequada para a integração de variáveis subjetivas na construção de um *benchmarking*. No entanto, ressaltaram que existe complexidade em modelar a realidade em larga escala e sugerem o uso da abordagem *top-down* para combinar fatores subjetivos com características físicas e ocupacionais do parque imobiliário. Esses ampliaram a visão sobre os processos, incorporando a satisfação térmica dos ocupantes junto a um *benchmarking* energético na avaliação das escolas.

No estudo de Gnecco *et al.* (2021), foi desenvolvido um *benchmarking* em parte do parque imobiliário das escolas de ensino infantil em Florianópolis, referente ao ano de 2019. Nele, o objetivo consistiu em analisar a classificação do desempenho energético de edificações de ensino infantil do município com base em indicadores de uso de energia, sendo consumo energético anual por área (kWh/m<sup>2</sup>/ano) e consumo energético anual por número de alunos (kWh/aluno/ano). O método estatístico *top-down* teve início com a avaliação dos dados disponibilizados pela municipalidade, seguidos pelo cálculo dos EUIs para cada edificação. Após a identificação dos resultados, as unidades escolares foram classificadas e ordenadas para cada indicador. O trabalho concluiu que classificar edificações pode permitir a construção de estratégias de eficiência energética dentro de um parque imobiliário.

Em resumo, a partir desta fundamentação teórica, pode-se detectar a relevância de avaliar e produzir instrumentos para o espaço escolar no Brasil. Observou-se que modelos de *benchmarkings* energéticos para escolas vêm sendo produzidos mundialmente em uma proporção maior que no Brasil (DALL'O, SARTO, 2013; GUILLÉN *et al.*, 2019; HONG *et al.*, 2014; KHOSHBAKHT *et al.*, 2018; MARRONE *et al.*, 2018; OUF, ISSA, 2017; SEKKI *et al.*, 2015; THEWES *et al.*, 2014; VAISI *et al.* 2023; WANG, 2019a; WANG, 2019b). Estes estudos estão, predominantemente, sendo realizados em abordagem *bottom-up*, simulação de edificações de referências e com o uso de amostragem de edifícios. Estas produções não respondem às necessidades do contexto local, por não serem estruturadas de forma direta para uso na nossa realidade. Levando em conta que existem diferenças

como: climáticas, socioculturais, construtivas, econômicas, e além das propostas de metodologia de ensino. Estes fatores estão diretamente relacionados aos espaços estudados e que conseqüentemente influenciam no consumo de energia elétrica das edificações.

Já os modelos de *benchmarking* nacional (GERALDI, GHISI, 2022b; GERALDI *et al.*, 2021a; GERALDI *et al.*, 2021b; GNECCO *et al.*, 2021 e QUEVEDO *et al.*, 2023) tiveram como referência os estudos internacionais. O contexto brasileiro apresenta pesquisas em todos os níveis de ensino, com predominância de estudos *bottom-up*, com uso de amostra, simulação e análises estatísticas. Entre os estudos Gnecco *et al.* (2021) se diferenciou ao utilizar exclusivamente *top-down*, com parte de um parque imobiliário de edifícios escolares.

Estes estudos se apresentam como contextos que promovem a eficiência energética e sustentabilidade no setor educacional, tendo em vista que eles contribuem com a identificação de oportunidades potenciais para *retrofits*, com o objetivo de qualificar esta realidade.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E CLIMA DE LONDRINA

Este capítulo subsidia uma análise centrada no consumo de energia elétrica e a caracterização climática da cidade de Londrina, ajudando na compreensão do contexto regional analisado.

#### 3.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os dados históricos do consumo total de energia elétrica; na realidade nacional, estadual e local no período entre 2015 e 2022 foram coletadas no EPE (2023a; 2023b), no Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2023) e na PML-SME (LONDRINA, 2023b), Quadro 7. Nele é possível perceber que tais dados oscilaram em seus consumos, embora haja destaques nas esferas estadual e municipal.

No Paraná, entre 2020 e 2021, superou-se a estimativa de 3,7% de crescimento anual proposto pelo MME (EPE, 2022b) com 8,69% de crescimento; e, de forma semelhante, em Londrina, foi registrada uma variação de 4,19% entre 2018 e 2019. Por sua vez, ele não foi observado em todo o período no âmbito nacional. Vale destacar, ainda em termos de economia de energia, que as variações entre os anos de 2019-2020 foram positivas para todos os âmbitos, pois apresentam resultados negativos de consumo, Quadro 7. Tal fato pode ser justificado pelo período da Pandemia de COVID-19, em que muitos estabelecimentos foram obrigados a fechar, embora as famílias continuassem consumindo energia em suas residências.

Quadro 7 – Consumo total de energia elétrica nacional, estadual e municipal - anos 2015 a 2022.

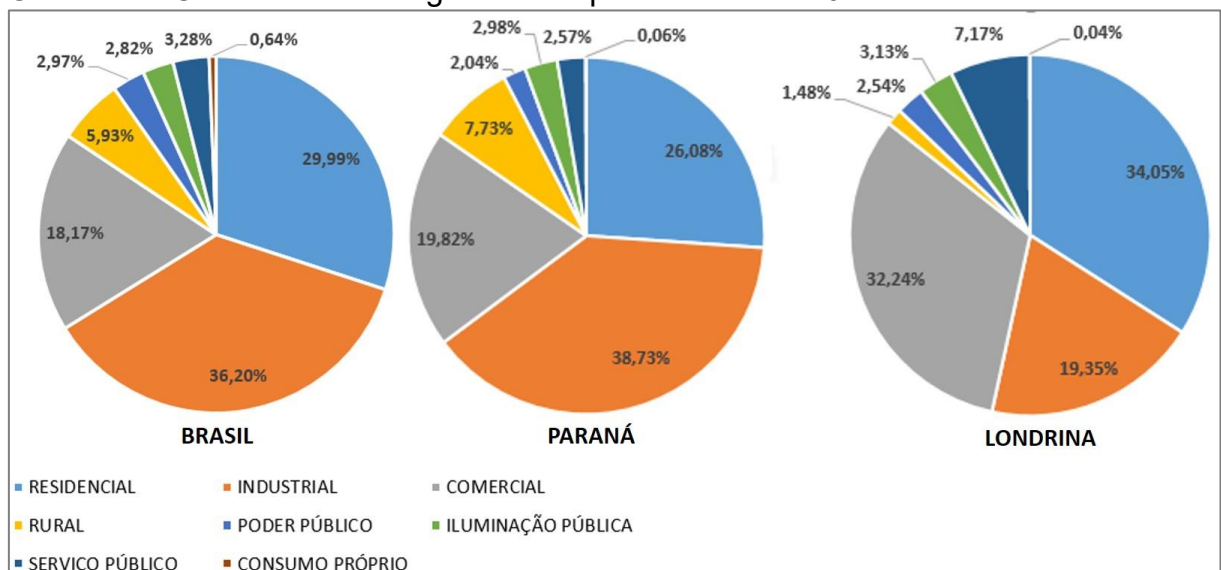
Consumo (GWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>BRASIL</b>	465.429	462.137	467.434	475.986	482.586	476.654	502.601	509.380
<b>PARANÁ</b>	28.914	28.317	28.615	30.057	30.650	30.073	32.687	3.430
<b>LONDRINA</b>	1.383	1.352	1.373	1.379	1.437	1.366	1.399	1.415
VARIAÇÃO	2016-2015	2017-2016	2018-2017	2019-2018	2020-2019	2021-2020	2022-2021	2023-2022
<b>BRASIL</b>	-0,71%	1,15%	1,83%	1,39%	-1,23%	5,44%	1,35%	*
<b>PARANÁ</b>	-2,06%	1,05%	5,04%	1,97%	-1,88%	8,69%	-0,79%	*
<b>LONDRINA</b>	-2,25%	1,51%	0,48%	4,19%	-4,95%	2,41%	1,12%	*

\*Dados de 2023, não se encontravam disponíveis no momento da coleta.

Fonte: Adaptado de EPE (2023a); IPARDES (2023); LONDRINA (2023b).

Os dados das três esferas territoriais, entre 2015 e 2022, apresentaram variações de consumo energético. Complementarmente, o Gráfico 1 permite uma análise comparativa do consumo de energia por setor, referente ao ano de 2022. Nesta abordagem, é possível verificar que a municipalidade despontou, comparada ao estado e país ao somar 68,83% da energia consumida em edificações, sendo 34,05% para o setor residencial, 32,24% para o setor comercial e 2,54% no poder público e totalizando, aproximadamente, 973 GWh no ano (LONDRINA, 2023a).

Gráfico 1 – Consumo de energia elétrica por setor - ano 2022.



Fonte: Adaptado de EPE (2022a); IPARDES (2023); LONDRINA (2022b);

Ainda com base no Gráfico 1, é possível observar que o setor de serviço público em Londrina se destacou com 7,17% do consumo total de energia, em 2022. Por essa razão, no Quadro 9, os dados coletados abrangem o período de 2018 a 2022 no município. Nele, é possível observar que a Secretaria Municipal de Educação (SME) representa a maior consumidora em termos energéticos. Esses números, porém, podem ser justificados pelo elevado número de unidades escolares que a cidade possui. Ainda, é possível observar uma faixa de análise que contempla três diferentes grupos de períodos: anterior a pandemia de COVID-19, entre 2018 e 2019, durante o período pandêmico, entre 2020 e 2021, e a retomada da normalidade das atividades presenciais, em 2022.

Quadro 8 – Gastos com consumo de elétrica em edifícios por Secretaria - 2018 a 2022.

<b>GASTOS COM CONSUMO DE ENERGIA</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
Procuradoria Geral do Município	0,40 %	0,52 %	0,49 %	0,70 %	0,57 %
Secretaria de Gestão Pública	11,08 %	12,54 %	13,35 %	13,18 %	9,15 %
Secretaria de Recursos Humanos	0,01 %	-	-	-	-
Secretaria de Agricultura e Abastecimento	0,37 %	0,71 %	0,44 %	0,54 %	1,54 %
Secretaria de Obras	27,21 %	23,95 %	30,25 %	26,61 %	19,45 %
<b>Secretaria de Educação</b>	<b>47,58 %</b>	<b>50,85 %</b>	<b>38,72 %</b>	<b>44,99 %</b>	<b>55,78 %</b>
Secretaria de Ambiente	1,04 %	0,90 %	1,98 %	1,14 %	0,49 %
Secretaria de Cultura	2,43 %	2,30 %	2,09 %	1,90 %	1,85 %
Secretaria de Assistência Social	5,67 %	4,54 %	8,78 %	7,09 %	6,05 %
Secretaria da Mulher	0,33 %	0,40 %	0,41 %	0,61 %	0,50 %
Secretaria do Idoso	0,09 %	0,19 %	0,26 %	0,23 %	0,51 %
Secretaria de Defesa Social	2,92 %	2,27 %	2,82 %	2,50 %	3,40 %
Secretaria do Trabalho	0,86 %	0,70 %	0,92 %	0,51 %	0,56 %

Fonte: Adaptado de LONDRINA (2023a).

Nas análises dos dados a partir de 2018, também foi encontrado que o consumo de energia elétrica da SME é o maior entre todas as secretarias municipais, Quadro 8. No ano de 2022, o Setor da Educação foi responsável por 55,78% do total de gastos financeiros com energia elétrica (LONDRINA, 2023a), fato que motivou a elaboração desta análise energética do parque imobiliário. É importante ressaltar que os dados da Secretária Municipal de Saúde não foram disponibilizados nesta base de dados da PML.

Complementa-se ainda que, em 2022, de acordo com o INEP (2023a; 2023b) o setor de educação da cidade atendeu aproximadamente 170 mil estudantes em diferentes categorias de ensino. O Quadro 9 traz uma relação do número de estabelecimentos e matrículas referente a esse ano. Observa-se que a ensino infantil e fundamental prevalecem entre os estabelecimentos e matrículas.

Quadro 9 – Matrículas e estabelecimentos de ensino - ano de 2022

ENSINO	ESTABELECEMENTOS	MATRICULAS
Ensino Infantil	271	23.721
Ensino Fundamental	214	63.456
Ensino Médio	86	20.528
Ensino Profissionalizante	29	5.893
Educação de Jovens e Adultos	52	4.525
Ensino Superior	11	50.864
<b>Total</b>	<b>663</b>	<b>168.987</b>

Fonte: Adaptado de INEP (2023a; 2023b).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE LONDRINA

Londrina se localiza ao norte do estado do Paraná, na macrorregião do Sul do Brasil. A cidade é limítrofe aos municípios de Marilândia do Sul, Apucarana, Arapongas, Assaí, Cambé, Ibiporã, São Jerônimo da Serra, Sertanópolis e Tamarana. Ela se encontra dividida em uma sede administrativa e oito distritos, sendo eles: Espírito Santo, Guaravera, Irerê, Lerroville, Maravilha, Paiquerê, São Luiz e Warta (IBGE, 2023). O IBGE (2023) afirma, que o município no ano de 2022 possuía 555.965 habitantes e área de 1.652,569 Km<sup>2</sup>.

A cidade de Londrina, segundo a classificação climática de Köppen categoriza-se como Cfa, apresenta clima subtropical úmido. Sua temperatura média no mês mais frio do ano é inferior a 18°C no mês mais quente alcança valores acima de 22°C. Apresenta verões quentes e geadas pouco frequentes, com concentração de chuvas no verão, porém não possui estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2014; NITSCHKE *et al.*, 2019). No ano de 2022, as médias de temperatura anual variaram entre 17 e 25°C, conforme histórico climatológico apresentado no Quadro 10 (IDR-PARANÁ, 2023).

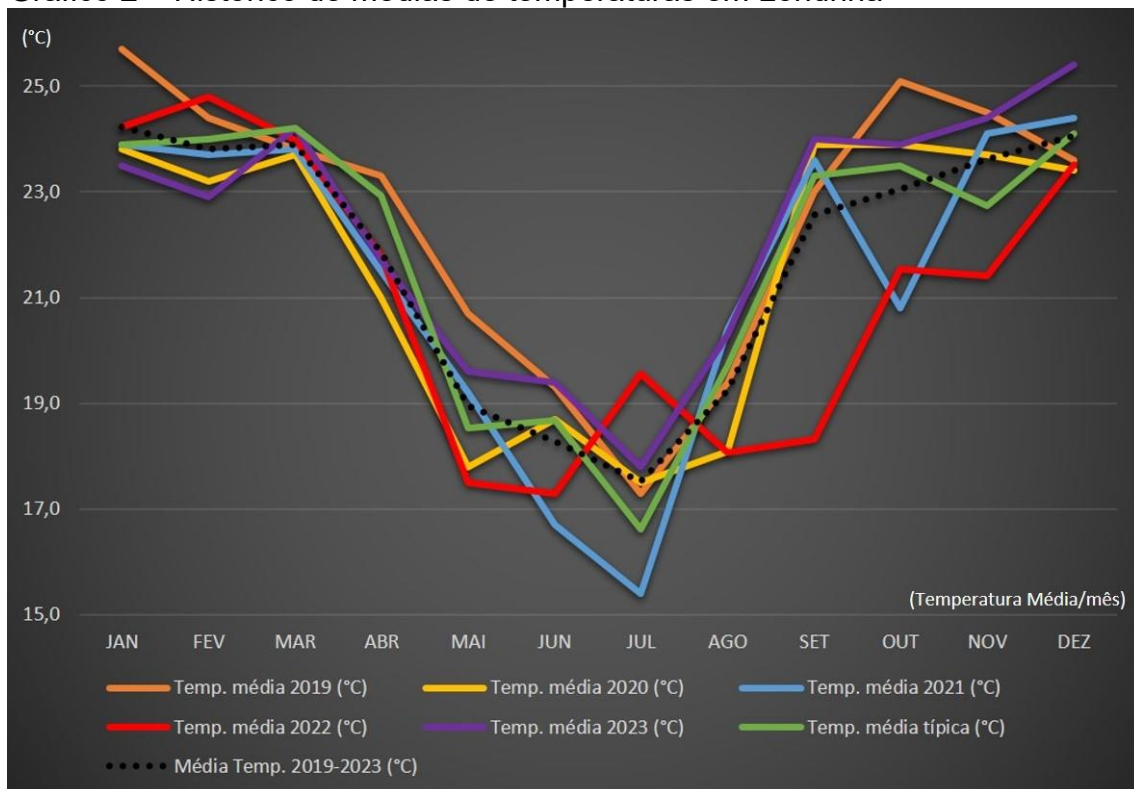
Quadro 10 – Histórico climatológico do município de Londrina – ano 2022

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. máx. (°C)	36	35	35	32	30	28	31	33	34	34	34	33
Temp. média (°C)	24	25	24	22	18	17	20	18	18	22	21	24
Temp. mín. (°C)	16	17	18	11	6	6	6	4	8	11	10	15
Precipitação (mm)	88,7	89,8	326,8	90,8	64,2	80,2	1,4	124,4	148,4	262,2	98,4	191,8
UR (%)	86	75	83	80	78	82	68	71	79	78	67	81

Fonte: Adaptado de IDR-Paraná (2023)

Em uma análise histórica das médias de temperatura de ano de 2019 a 2023, as características do clima do ano de 2022 se apresentaram atípicas, conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Histórico de médias de temperaturas em Londrina



Fonte: Adaptado de IDR-Paraná (2023); Projeteee (2024).

Embora as médias de temperatura do ano em estudo apresentem inversão térmica, a partir do segundo semestre, Gráfico 2, o consumo histórico de energia elétrica não apresentou alteração significativa, conforme demonstra o Quadro 11.

Quadro 11 – Consumo histórico de energia elétrica da PML-SME

<b>ANO DE REFERÊNCIA</b>	<b>CONSUMO ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh/ano)</b>	<b>GASTO COM ENERGIA ELÉTRICA (R\$)</b>
<b>2019</b>	2.962.264	R\$ 2.565.853,09
<b>2020</b>	1.767.343	R\$ 1.493.578,10
<b>2021</b>	1.998.098	R\$ 1.963.909,45
<b>2022</b>	2.999.598	R\$ 2.605.309,68
<b>2023</b>	3.469.698	R\$ 2.815.859,86

Fonte: Adaptado de Londrina (2023a).

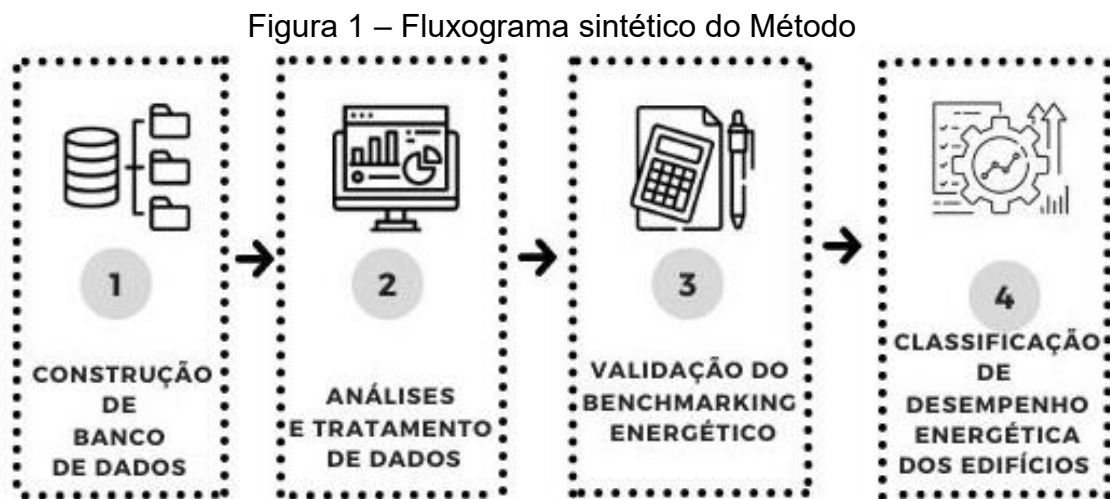
Vale ressaltar que os anos de 2020 e 2021 foram anos de pandemia de COVID-19 e não possuía atendimento ao público acadêmico, presencial, nas unidades escolares. E foi a partir do ano de 2022, as atividades escolares retomaram a sua normalidade.

## 4 MÉTODO

Com a intenção de alcançar os objetivos da presente pesquisa, o método implementado buscou propor um *benchmarking* energético, englobando as abordagens *top-down*, direcionado aos edifícios públicos da rede básica de ensino do município de Londrina, no estado do Paraná.

Para tanto, o método proposto foi dividido em quatro etapas. A primeira é a *Construção do Banco de Dados*, que consiste em coletar e organizar as informações; a segunda é a *Análise e Tratamento de Dados*, em que ocorre a identificação e processamento dos dados coletados; a terceira é a *Validação do Benchmarking Energético*, por meio da construção e validação da equação que definiu o *Benchmark* e a última etapa se refere à *Classificação de Desempenho Energético dos Edifícios*, que constitui na construção da categorização do desempenho dos edifícios do parque imobiliário.

A seguir, a Figura 14 apresenta o fluxograma do método aplicada nesta tese.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na sequência serão apresentados os procedimentos relacionados a cada um dos passos do método.

#### 4.1 CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS

A coleta de dados para o *benchmarking* ocorre por meio de pesquisa documental e de campo, em que são obtidos dados medidos para compor o banco de dados. O levantamento teve início com a busca de informações gerais sobre as escolas municipais operantes na cidade de Londrina, com uma amostra inicial de 117 edifícios escolares.

A identificação e caracterização das edificações incluiu dados históricos de consumo de energia elétrica em base mensal e anual, número de ocupantes, tipologia de uso, área construída e horas de ocupação, fatura de energia individualizada, projetos arquitetônicos e levantamentos de uso, fornecidos pela SME por meio digital e registro fotográfico de materiais físicos (LONDRINA, 2023b), conforme Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma sintético da Construção de Banco de dados



Fonte: Elaborado pela autora.

Desta forma, após a disponibilização das informações, foi construído o banco de dados de variáveis das edificações em operação, para o ano de 2022. A consolidação desses dados serviu para a construção do método estatístico de *benchmarking* energético das escolas municipais de Londrina.

Essa escolha ocorreu devido às questões de saúde pública relativas à pandemia da COVID-19, em que as atividades acadêmicas presenciais foram suspensas nas instituições de ensino, do início do ano de 2020 até final de 2021. Após

este período, no ano de 2022, as atividades acadêmicas retornaram a sua normalidade e, dessa forma, viabilizou a análise de dados atualizados para a realização desta pesquisa. Portanto, os critérios de definição para o recorte do período de análise aconteceram pelos dados disponíveis de consumo medido de energia do ano de 2022.

O acesso aos dados apresentou embaraços relacionados aos procedimentos burocráticos de autorização, estando relacionados às normas da instituição e a cultura dos funcionários de preservar as informações. Foi necessário demonstrar a importância da pesquisa e os ganhos que este poderá trazer à municipalidade por meio do seu uso. Para tanto, foi necessária uma apresentação presencial da proposta de trabalho junto aos gestores da SME, seguida de encaminhamento documental da pesquisadora, da pesquisa e da UEL. Ainda vale destacar que a tese recebeu autorização do Comitê de Ética da Universidade, processo nº 6.471.649/2023.

A coleta de dados ocorreu em diversos setores da SME, sendo que: os dados de faturas de energia elétrica foram disponibilizados pela Diretoria Financeira e de Compras, em meio digital; os projetos arquitetônicos pelo Departamento de Assessoria Técnica de Estrutura Física, em arquivos digitais e em projetos físicos para registro fotográfico; o perfil dos usuários pela Gerência de Ensino Fundamental – Documentação, por meio digital; e a caracterização dos usos das edificações pela Diretoria Pedagógica, Gerência de Planejamento Educacional e Gerência de Documentação Escolar em arquivos físicos e digitais.

Com as informações coletadas referentes ao ano de 2022, foi estruturado um banco de dados em uma planilha no software Excel®. Nela realizou-se a identificação e caracterização das escolas contendo dados históricos de *consumo de energia elétrica, mensal e anual; o número total de usuários de cada unidade; área construída; área de terreno; horas de ocupação; existência de quadra coberta; e densidade ocupacional* – além de outras variáveis coletadas, mas não utilizadas na pesquisa, tais como: *idade da construção dos imóveis, área construída da edificação somado a metragem da quadra de esporte coberta, fachada predominante - orientação solar, número de salas de aula, localização da escola dentro da cidade e separação das Escolas Municipais (EM) e Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI)*, sendo que estas variáveis excluídas serão explicadas dentro do capítulo 5 de Resultados.

## 4.2 ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS

Nesta etapa, os dados coletados foram tratados por processo de análise estatística descritiva. Este momento teve o objetivo de organizar as informações, com a proposta de facilitar sua compreensão e construir, dessa forma, uma descrição do cenário que subsidiou o tratamento dos dados.

Inicialmente, a base de dados passou por uma avaliação de qualidade das informações, com a finalidade de verificar a existência de amostras *outliers*, que podem interferir na obtenção do modelo ajustado, a partir das variáveis em estudo, com o auxílio do software *TS-Sisreg*® - Sistema de Regressão Múltipla. Segundo Barbetta (2019), são considerados *outliers* valores superiores ao limite superior ou inferiores ao limite inferior, conforme as Equações 1 e 2 a seguir:

$$\text{Equação 1} \quad \textit{Limite superior} = 3^{\text{o}} \textit{Quartil} + 1,5 \times (3^{\text{o}} \textit{Quartil} - 1^{\text{o}} \textit{Quartil})$$

$$\text{Equação 2} \quad \textit{Limite inferior} = 1^{\text{o}} \textit{Quartil} - 1,5 \times (3^{\text{o}} \textit{Quartil} - 1^{\text{o}} \textit{Quartil})$$

Segundo Montgomery (2008), um ponto a mais de 3 faixas interquartis ( $3^{\text{o}} \textit{Quartil} - 1^{\text{o}} \textit{Quartil}$ ) da extremidade da caixa é chamado de *outlier* extremo. Nos casos em que se identificou a existência de dados discrepantes dos demais, foram realizadas as exclusões da amostra do conjunto e recalculado o modelo, novamente com o uso do software *TS-Sisreg*® - Sistema de Regressão Múltipla, até que os dados se encontrassem dentro dos limites para manter a qualidade de precisão do estudo.

Em seguida, foram desenvolvidas as análises estatísticas descritivas, usando a mesma ferramenta, as quais sintetizaram os conjuntos com características correlatas dos dados coletados. Desta forma, essa etapa possibilitou o entendimento pleno da variação desses valores, ao organizar e descrever em forma de gráficos, diagramas e interpretações os aspectos importantes dos dados observados (BARBETTA, 2019).

A seguir a Figura 3, tem o fluxograma do método da Análise de dados aplicada nesta tese.

Figura 3 – Fluxograma sintético da Análise de dados



Fonte: Elaborado pela autora.

Na sequência serão apresentados os procedimentos de análise e tratamento dos dados, uso do software e a composição das variáveis.

#### 4.2.1 Software para avaliação

O tratamento estatístico dos elementos amostrais foi submetido ao software *TS-Sisreg® - Sistema de Regressão Múltipla*. A ferramenta é comercializada e foi desenvolvida pela empresa Tecsys Engenharia, para ser utilizada em avaliações imobiliárias (SILVA, 2005).

O *software* realiza regressões lineares e possibilita ao operador análises estatísticas do contexto estudado. Ela viabiliza, ainda, a construção de um banco de dados, possibilitando o estudo da amostra por gráficos e tabelas. Esse é um mecanismo dinâmico e simplificado, com interações contínuas de mudanças nas variáveis do modelo, testa e modifica os resultados automaticamente, além de permitir o envio de dados para programas externos, como o Microsoft Excel®.

O *TS-Sisreg®* tem como referência a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), no uso da norma NBR 14.653/2001, “Avaliações de bens”, que controla a avaliação de imóveis no Brasil. Nela, estão estabelecidos enquadramentos de trabalho segundo os resultados estatísticos (ABNT, 2001a).

A NBR 14.653/2001 é dividida em sete partes compostas por conceitos, métodos e procedimentos gerais orientadores para avaliações de bens. Para a atual pesquisa, foram utilizados os parâmetros estipulados na Parte 1, 2 e 3 da norma, respectivamente, os “Procedimentos gerais” (ABNT, 2001a), “Imóveis

urbanos” (ABNT, 2001b) e “Imóveis rurais” (ABNT, 2001c). No entanto, o viés desejado foi de determinar a relação desempenho energético operacional de edifícios escolares, por *benchmarking* energético com aplicação de inferência estatística.

O início da estatística descritiva da amostra da pesquisa, ocorreu com a criação de um arquivo. Nele, o programa solicita um cadastramento prévio das propriedades do modelo. Em seguida, as variáveis selecionadas foram caracterizadas como *Tipo de variável*, *Descrição* e *Crescimento*. O sistema direcionou para construção do banco de dados, que se encontrava previamente digitado em uma planilha no software Excel® e, posteriormente, transferida para o *TS-Sisreg*®, no entanto, também foi viável inserir novas informações dentro do programa.

Em relação ao limite para inserção de variáveis, foi realizada a análise para identificar a presença de micronumerosidade, de acordo com a NBR 14.653, pois caso contrário o programa sinalizava o erro (ABNT, 2001a).

Como o sistema não carrega junto as configurações do *tipo*, *expectativa de crescimento das variáveis* e *definição*, foi necessária verificação. Essas informações na etapa posterior, organização dos dados, foram transformadas em escala numérica pela pesquisadora.

Assim, a visualização dos dados inseridos no *TS-Sisreg*® ocorreu de forma interativa, permitindo desconsiderar parte ou a totalidade de uma amostra, sem excluir o modelo. No entanto, o sistema permite a reposição ou transformação de valores durante o processo de cálculo.

O processo de cálculo ocorreu por uma análise de regressão linear múltipla, em que o sistema solicitou operações lógicas a serem comparadas entre duas ou mais variáveis selecionadas, dependentes e independentes, para definir uma operação ideal, possibilitando identificar as variáveis influentes no consumo de energia referente as edificações.

#### 4.2.2 Composição das variáveis

Segundo a NBR 14.653, parte 2, a composição das variáveis do modelo foi identificada como dependente e independentes, sendo a primeira um componente essencial, que é influenciado por variações ocasionadas por outras variáveis, denominadas independentes. As variáveis independentes expressam as características dos imóveis, sejam elas físicas, socioeconômicas e/ou culturais, e que

são divididas em *qualitativa*, *código (alocado e ajustado)*, *dicotômica (isolada e grupo)* e *proxy*. Já as variáveis dependentes representam um valor unitário do imóvel e podem ser calculadas a partir das variáveis independentes e, por essa razão, dependem de outras variáveis para assumir um valor (ABNT, 2001b).

Dessa forma, avaliar como as variáveis independentes possuem peso sobre as variáveis dependentes, possibilitou caracterizar quais eram os parâmetros que interferiam significativamente nos resultados das variáveis dependentes. Abaixo apresentamos as características das variáveis da pesquisa, Quadro 12:

Quadro 12 – Características das variáveis.

VARIÁVEL	CARACTERÍSTICA
TIPO	<b>Qualitativo</b> - São valores que podem ser separados e se distinguem por alguma característica não numérica;
	<b>Quantitativo</b> - São variáveis de fácil identificação, que podem ser medidas e contadas;
	<b>Código alocao</b> - É uma variável subjetiva, por ser determinada pelo avaliador. Este indicador consiste em uma escala de valores, que agrupa conjuntos de características para expressar qualidades entre os dados da amostra;
	<b>Dicotômica isolada</b> - São variáveis que assumem um sistema binário para qualificar, sendo usual os valores 0 e 1;
	<b>Dicotômica grupo</b> - Também seguem um sistema binário, no entanto, pertencem a um grupo valores 0 e 1, sendo usual os valores 0 e 1;
	<b>Proxy</b> - variável de difícil mensuração e indica uma tendência de atratividade.
<b>EXPECTATIVA DE CRESCIMENTO</b>	Este depende da análise dos dados coletados, se amostra apresenta crescimento positiva ou negativa.
<b>DEFINIÇÃO</b>	Consiste na caracterização da variável.
<b>PRECISÃO</b>	Nível de precisão do valor numérico.

Fonte: Adaptado de ABNT (2001b).

Assim, as variáveis foram definidas buscando caracterizar o parque imobiliário em que os edifícios escolares estão inseridos, com a utilização de elementos amostrais nos quais as características formadoras do desempenho energético das edificações estudadas estivessem contidas nos intervalos de características dos elementos amostrais.

O tratamento dos dados coletados foi realizado por inferência estatística, o que permitiu inferir conclusões de uma população com base em medidas estatísticas. Assim, este processo descreveu o parque imobiliário a partir das amostras selecionadas, o que possibilitou o entendimento do funcionamento global das escolas municipais de Londrina.

Para um modelo de regressão, a norma NBR 14.653-2 descreve que

é importante avaliar a normalidade, homocedasticidade, não multicolinearidade, não-autocorrelação, independência e inexistência de pontos atípicos da amostra (ABNT, 2001b).

Com base nos resultados de correlações das variáveis da amostra, foram investigadas as variáveis independentes que possuem relação direta com as variáveis dependentes. Assim, de posse dessa informação, calculou-se os EUI das unidades escolares e, posteriormente, ocorreu a classificação, conforme a escala de desempenho energético.

#### 4.3 VALIDAÇÃO DO *BENCHMARKING* ENERGÉTICO

Para a validação do *Benchmarking* Energético, foi ajustada uma equação que passou por testes de *Correlação*, *Fisher-Snedecor* (teste ANOVA), *Normalidade dos Resíduos e Outliers*. Os indicadores devem atender os padrões estabelecidos pela norma NBR 14.653<sup>2</sup> (ABNT, 2001a), sendo estes numerosidade; linearidade; normalidade; autocorreção e presença de pontos influenciastes (*outliers*), e assim possibilita a formação de uma equação de *benchmark* energético. Esta determinou a relação entre as variáveis, que definiu o desempenho energético da amostra. Conforme Figura 4.

---

<sup>2</sup> Devido a questões específicas do mercado imobiliário, existe a limitação das significâncias das variáveis em até o limite de 30%. Neste estudo, não foi considerado o limite da significância, visto não se tratar de amostra de valores de mercado.

Figura 4 – Fluxograma sintético da Validação do *Benchmarking*



Fonte: Elaborado pela autora.

Para definir a equação preditiva, foi utilizado o modelo de inferência estatística, com o uso do *software TS-Sisreg®* (2017), que permite prever os parâmetros desconhecidos em uma realidade a ser estudada e aferir se determinadas variáveis são relevantes para o estudo (REIS *et al.*, 2015). Após as análises, foi construído com as variáveis coletadas um modelo proposto com características compatíveis com a tipologia educacional disponível na região. Ele permitiu estimar o consumo anual de energia das unidades escolares pública do município de Londrina, com o auxílio do *software TS-Sisreg®*, apresentando na Equação 4:

Equação 4:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5$$

Em que:

- $x$ : variáveis independentes;
- $y$ : variáveis dependentes;
- $b_0, \dots, b_5$ : os coeficientes das variáveis independentes;

A partir desta equação preditiva, que permite descrever o consumo das unidades escolares da PML-SME, foram definidos os parâmetros estatísticos do modelo, Equações 5 e 6.

Equação 5:

$$EUI\ 1 = \frac{y}{\text{Área do edifício}}$$

Equação 6:

$$EUI\ 2 = \frac{y}{\text{Número de Usuários}}$$

Em que:

- *EUI* 1: Intensidade de uso de energia por área (kWh/m<sup>2</sup>/ano);
- *EUI* 2: Intensidade de uso de energia por usuário (kWh/usuário/ano);
- *y*: Consumo de energia elétrica por ano (kWh/ano);
- Área do edifício: Área construída da escola (m<sup>2</sup>);
- Número de Usuários: Quantidade total de usuários (pessoas);

Assim, os gestores da SME-PML, após treinamento sobre o uso do *benchmarking*, poderão verificar a classificação energética dos edifícios, o que viabilizará futuras definições de estratégias para redução do consumo de energia sem prejudicar os níveis de conforto, saúde e produtividade.

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

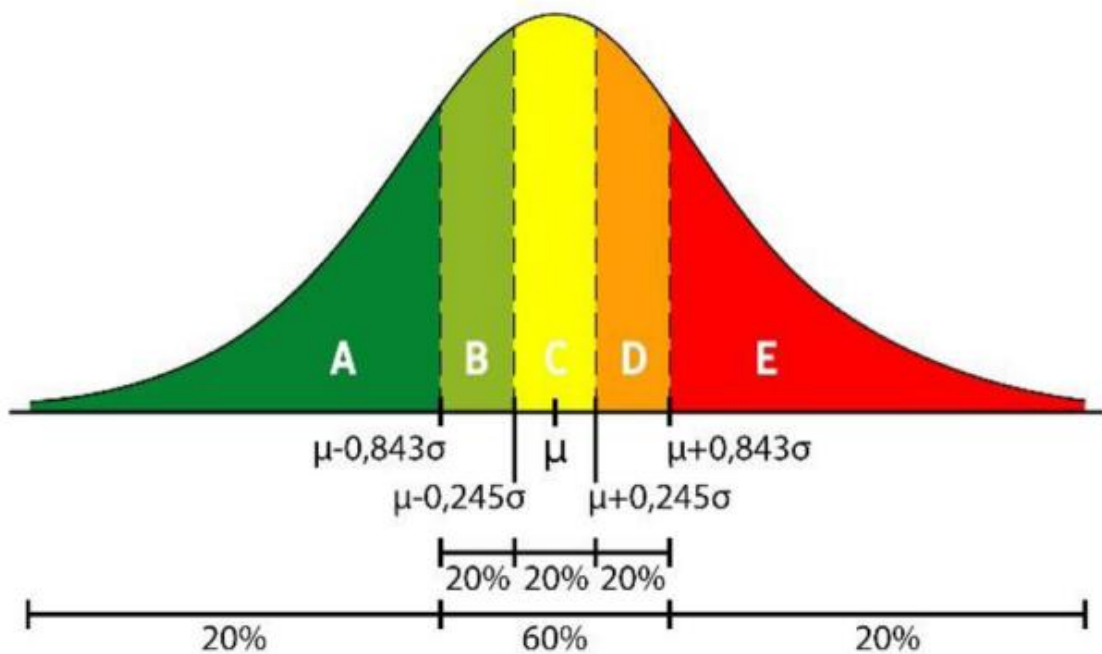
Para definir a classificação de desempenho energética dos edifícios, foi necessário realizar a determinação do indicador energético a ser utilizado. Nesse processo de identificação, encontrou-se nos estudos de edifícios escolares em operação a utilização do EUI relação consumo de energia por usuário por ano, kWh/usuário/ano. Tais estudos foram realizados por Geraldi e Ghisi (2020b), Hong *et al.* (2014), Gnecco *et al.*, 2021, Ouf e Issa (2017), Wang (2019a) e Wang (2019b). E por área por ano, kWh/m<sup>2</sup>/ano, em Geraldi e Ghisi (2022a), Geraldi *et al.*, 2021a; Geraldi *et al.*, 2021b; Gnecco *et al.*, 2021 e Quevedo *et al.*, 2023.

Para a classificação do parque imobiliário, foi calculado, conforme uma adaptação do método de Veloso *et al.* (2020) para cada edifício, um indicador de desempenho energético com sua classificação do *benchmarking*. A escala utilizada

foi a Escala de Classificação de Desempenho para *Benchmark*, sugerida por Veloso *et al.* (2020). Esse processo está descrito na Figura 8, a qual categoriza os EUI de A à E, sendo A pontuado com melhor desempenho energético até E, com menor resultado.

Para esta análise, os dados do parque imobiliário devem possuir distribuição normal, com o objetivo de identificar se as informações das variáveis estão bem modeladas. Assim, a escala é composta por 5 níveis iguais de 20% cada classe, sendo que os limites estão relacionados ao desvio padrão ( $\sigma$ ) e a média ( $\mu$ ), de acordo com o proposto por Veloso *et al.* (2020) e conforme apresentado na Figura 5, a seguir.

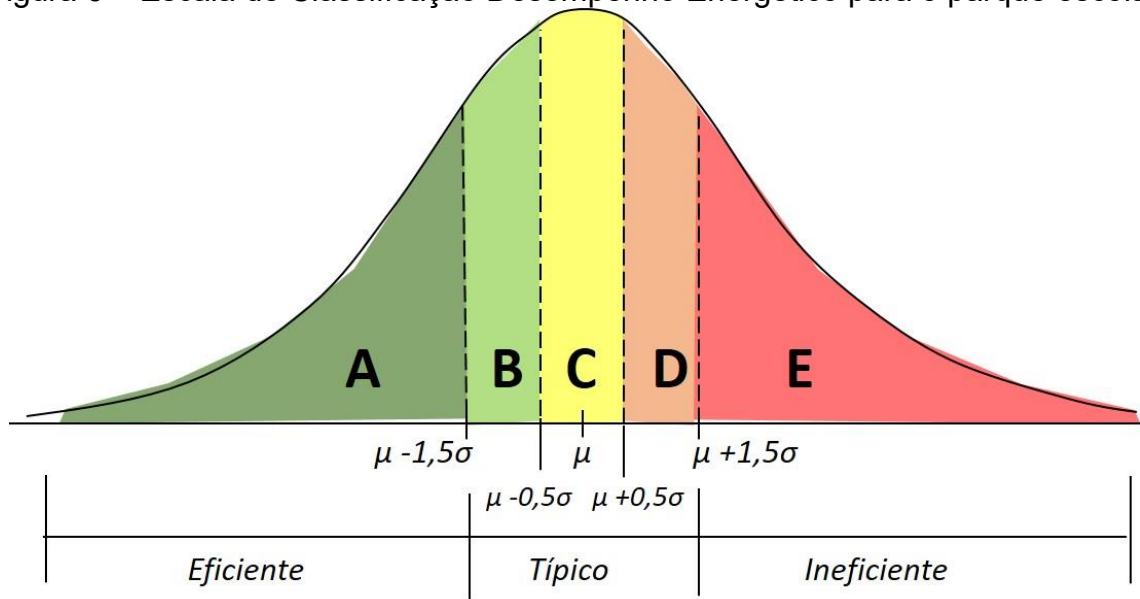
Figura 5 – Escala de Classificação Desempenho Energético



Fonte: Veloso *et al.* (2020)

Na presente tese, foi realizada a adaptação da escala de Veloso *et al.* (2020) e também o método de classificação apresentado pelo CBCS (2022), tendo em vista estas apresentarem características que se complementam. A proposta consistiu em classificar como um edifício *eficiente*, quando o consumo é de  $\mu - 1,5\sigma$  desse intervalo; *típico*, quando o consumo é de  $\mu - 0,5\sigma$  a  $\mu + 0,5\sigma$ ; e edifício *ineficiente*, com um consumo é de  $\mu + 1,5\sigma$  do intervalo, conforme a Figura 6, a seguir.

Figura 6 – Escala de Classificação Desempenho Energético para o parque escolar



Após a classificação os edifícios foram agrupados com categoria em *eficiente*, *típico* e *ineficiente* para futuras proposições de melhorias.

Dessa forma, na presente tese, optou-se por realizar o levantamento e análise da totalidade das unidades escolares municipais de Londrina – ensino infantil, fundamental I e EJA, o que fornecerá aos gestores escolares uma ferramenta de otimização de recursos; por meio de um *benchmarking* energético das edificações de ensino, em uma abordagem *top-down*, com a utilização do *software TS-Sisreg® - Sistema de Regressão Múltipla*. Além de disponibilizar uma equação preditiva de consumo que viabiliza a classificação energética das unidades, para subsidiar futuras intervenções nas escolas. Tendo em vista, que a mitigação no consumo energético proporcionará o uso eficiente dos recursos públicos, pois este processo de rastreamento da qualidade do edifício deve ser seguido pela gestão pública de forma continuada.

## 5 RESULTADOS

Após a aplicação do método e as análises implementadas, o referente capítulo tratará das discussões dos resultados, com a identificação dos objetivos da tese.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A caracterização da amostra da presente tese se refere a totalidade de parque imobiliário de escolas públicas administradas, exclusivamente, pela Secretaria Municipal de Educação da Prefeitura Municipal de Londrina, estado do Paraná. Esta ocorreu por meio de um processo de investigação censitário, do qual se obteve as informações constantes no cadastro da municipalidade.

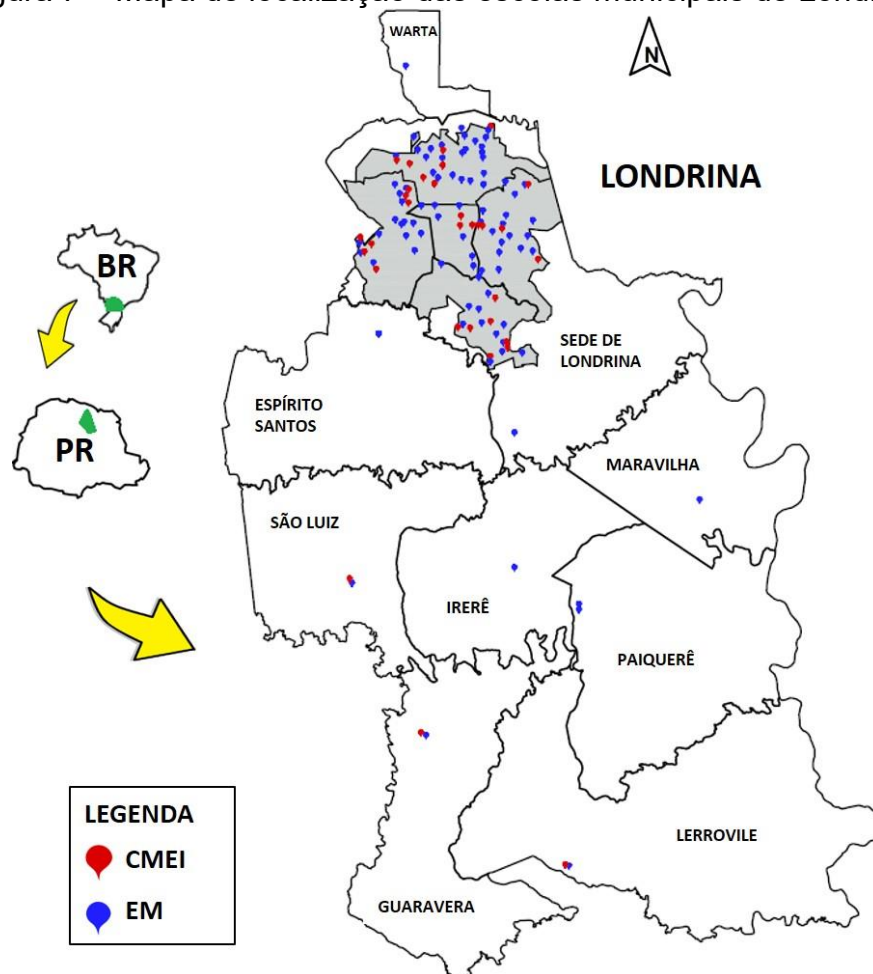
Em Londrina, os estabelecimentos de ensino público básico, fundamental I e o EJA são administrados pela SME. Seu parque imobiliário é composto por 119 escolas, sendo 33 denominadas de CMEI (C)<sup>3</sup> e 86 unidades de EM (E)<sup>4</sup> (LONDRINA, 2023d). A seguir a Figura 7 mostra a localização e a dispersão das escolas dentro da cidade.

---

<sup>3</sup> *Centros Municipais de Educação Infantil* serão denominados na pesquisa com a letra *C*, seguida de um número de referência para cada unidade escolar.

<sup>4</sup> *Escolas Municipais* serão denominados na pesquisa com a letra *E*, seguida de um número de referência para cada unidade escolar. E ainda os *CE-* são unidades composta por *CMEI* e *EM*.

Figura 7 – Mapa de localização das escolas municipais de Londrina



Fonte: Elaborado pela autora.

A prefeitura, no ano de 2022, geriu 119 unidades escolares, que compõe 117 edifícios destinados à educação. O conjunto possui 105 unidades localizadas na zona urbana e 12 nos distritos rurais. O Quadro 13 apresenta a distribuição geográfica das escolas na malha da cidade:

Quadro 13 – Localização das escolas municipais.

LOCALIDADE CLASSIFICAÇÃO	Região Norte	Região Sul	Região Leste	Região Oeste	Região Central	Distritos
EM	28	12	16	11	8	9
CMEI	8	6	7	6	1	3
EM / CMEI	-	1	-	1	-	-
<b>Total Região</b>	<b>36</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>Total Londrina</b>	119 unidades escolares, 86 EMs e 33 CMEIs, sendo 117 edificações					

Fonte: Adaptado de Londrina (2023c; 2023b; 2023d).

Essas edificações foram construídas entre os anos de 1945 e 2021, totalizando 191.831,60 m<sup>2</sup>, sendo 166.011,82 m<sup>2</sup> na região urbana e 25.819,78 m<sup>2</sup> na rural. No ano de 2022, a comunidade acadêmica era constituída por 44.588 usuários, sendo 39.845 estudantes de diferentes idades e 4.743 servidores (LONDRINA, 2023b).

Os CMEIs atendem exclusivamente o ensino de educação infantil para crianças de até cinco anos e as EM são destinadas ao atendimento do 1° ao 5° ano do ensino fundamental e EJA. Foi identificado, ainda, que as edificações, em casos específicos, possuem mais de um grupo de ensino.

Os Centros Municipais permanecem abertos para atendimento no período da manhã e tarde, oferecendo atendimento de ensino em período parcial ou integral. Por sua vez, 34% das EM funcionam nos períodos da manhã, tarde e noite. As demais disponibilizam ensino nos períodos matutino e vespertino. No total dessa tipologia, 3,5% possuem atendimento em ensino de período integral, o que está representado no Quadro 14. Para este estudo optou-se por uma análise total, não separando a demanda de usuários por período, tendo em vista que o foco da tese é o consumo de energia elétrica.

Quadro 14 – Disponibilidade de atendimento por período de ensino

CLASSIFICAÇÃO	MANHÃ	TARDE	NOITE	INTEGRAL
EM	100%	100%	34%	3,5%
CMEI	100%	100%	NÃO ATENDE	100%

Fonte: Adaptado de Londrina (2023b).

A amostra inicialmente avaliada era composta por 119 unidades escolares, sendo 117 edificações, das quais 116 foram utilizadas para o ajuste do modelo, após prévia verificação da análise de dados.

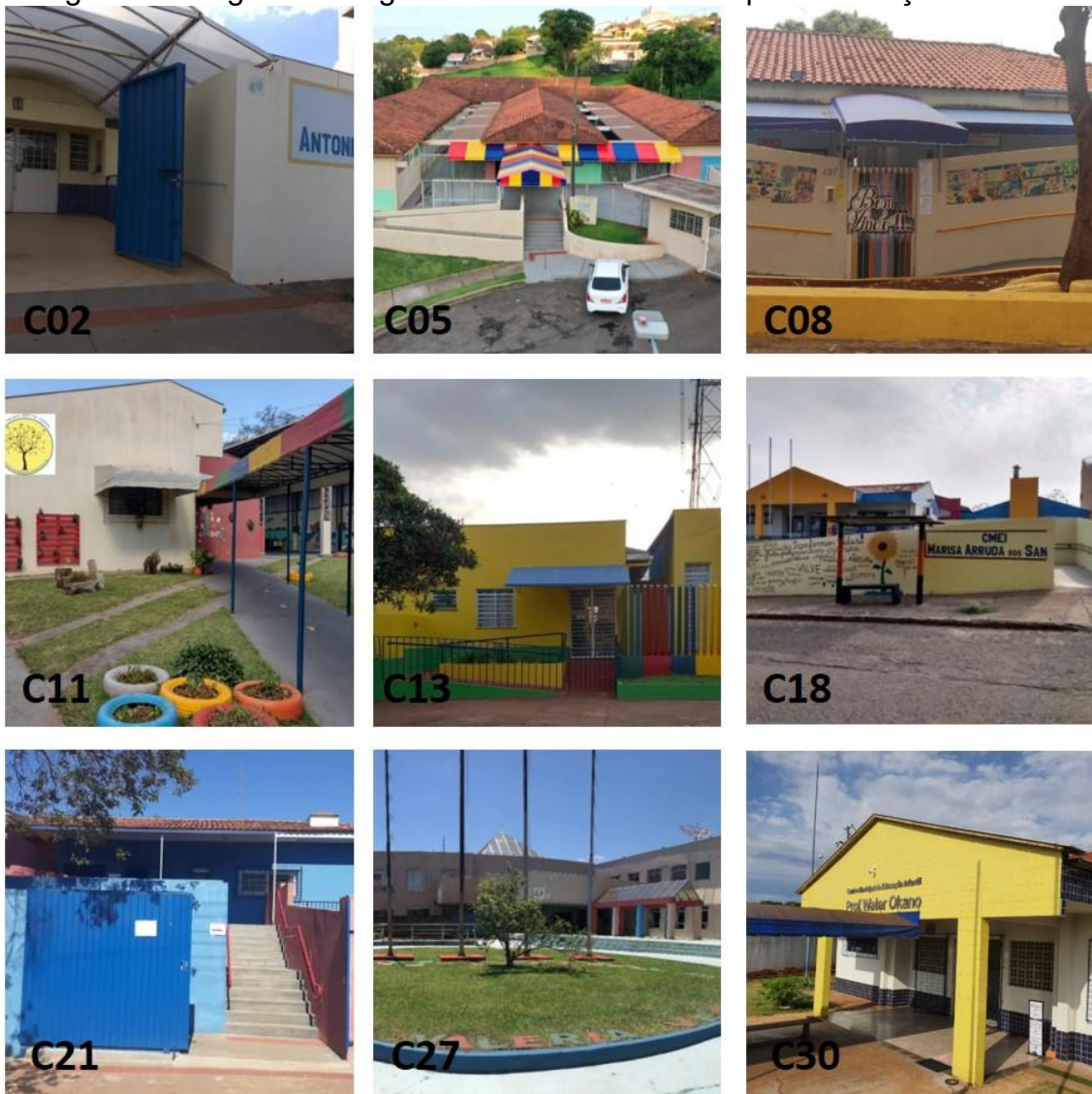
Assim, após as análises estatísticas, a amostra do C27, foi excluída do estudo por se apresentar como um *outlier* extremo, pois encontrava-se dispersa estatisticamente do conjunto, caracterizada como valor excessivo na relação consumo por pessoa e na média dos demais elementos amostrais e, ainda, ponto que influencia com capacidade de alterar os resultados. Assim, as avaliações finais totalizaram 118 instituições de ensino, sendo 116 edifícios ao final do tratamento dos dados.

Esse parque imobiliário é composto por ambientes do setor administrativo, ensino e serviços. Dentro desses, apenas 61,34% das escolas possuem quadra poliesportiva coberta, sendo 3 CMEIs e 68 EMs que estão distribuídas em sua maioria na malha urbana do município. As edificações da SME possuem ventiladores ou ventilação natural. Ainda, onze edifícios têm equipamentos de ar-condicionado instalados em suas dependências, conforme cadastro da PML, representando aproximadamente 9% do parque escolar, sendo as unidades identificadas pelos códigos: C27, E21, E23, E29, E40, E41, E43, E44, E74, E78 e E80.

O parâmetro tipologia construtiva, dentro da amostra, duas edificações são em madeira, 11 possuem composição mista, parte de madeira e alvenaria, e o restante dos edifícios são construídas em alvenaria. Ademais, 97 unidades escolares possuem 1 pavimento em toda sua extensão, 7 instituições são compostas por dois pisos, 13 têm áreas que possuem 1 e 2 níveis no mesmo prédio, uma escola possui de 1 a 3 andares na mesma unidade e apenas 1 colégio tem em sua totalidade 3 pavimentos.

A fim de ilustrar e demonstrar amostras de tipologias construtivas descritas do parque, as Figuras 8 e 9, são apresentados alguns registros fotográficos disponibilizados pela PML de EMs e CMEIs.

Figura 8 – Registros fotográficos de Centros Municipais Educação Infantil



Fonte: Adaptado de Londrina (2023d).

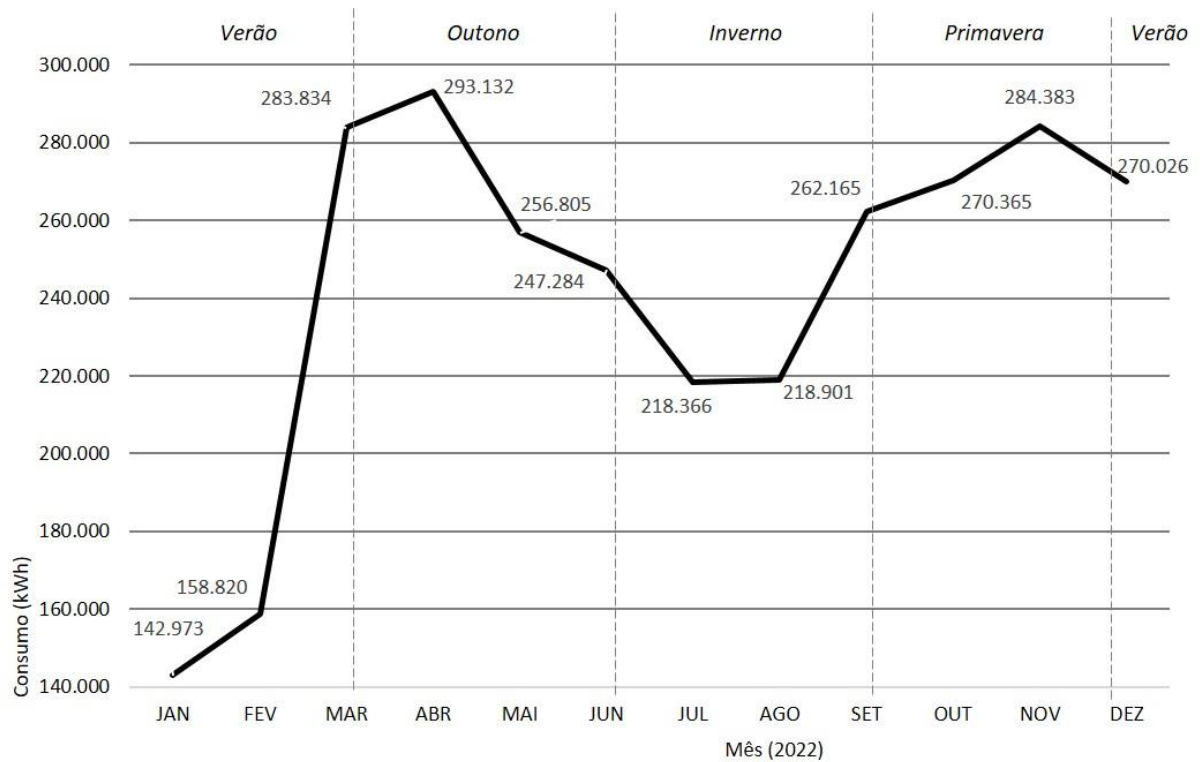
Figura 9 – Registros fotográficos de Escolas Municipais



Fonte: Adaptado de Londrina (2023d).

O consumo de energia elétrica total no parque imobiliário acompanha as atividades letivas das unidades escolares e as estações climáticas. Em janeiro, período de altas temperaturas, apresentou o menor consumo de energia de aproximadamente 140 MWh, fato este, coincide com parte das férias escolares e dos servidores, nas instituições de ensino. O ano letivo municipal em Londrina, teve início no começo em fevereiro de 2022, fato que identifica o salto de consumo do mês de fevereiro para março, com uma ampliação para 265 MWh entre os meses, conforme Gráfico 3.

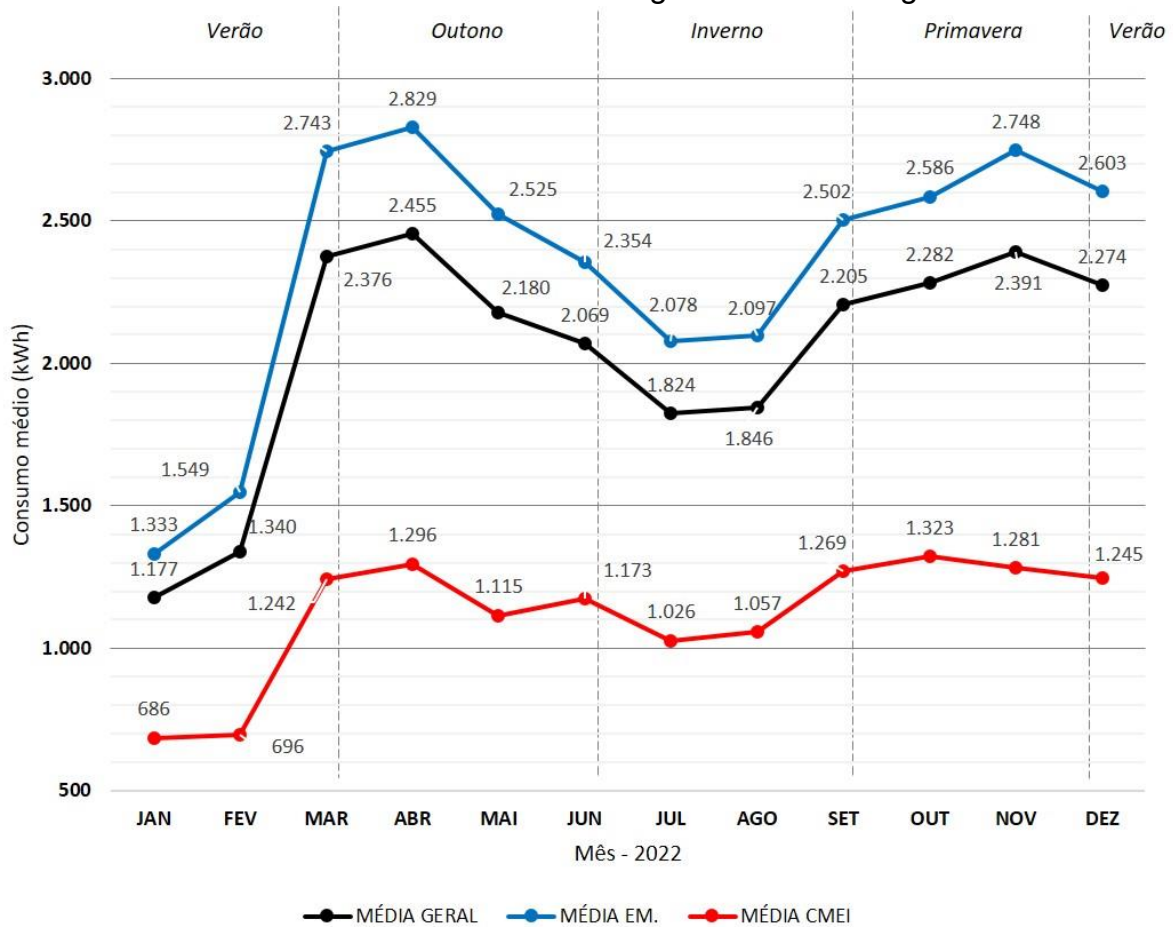
Gráfico 3 – Consumo total mensal de energia elétrica do parque imobiliário ao longo de um ano



Fonte: Elaborado pela autora.

Os períodos do ano com maiores consumos de energia encontram-se no outono e primavera, com média de 275 MWh/mês. No inverno, o consumo teve uma queda entre os meses de julho e agosto, alcançando médias de 218 MWh/mês. No sétimo mês do ano, julho, é o segundo período de férias dos alunos, no entanto, os servidores continuam frequentando o espaço escolar. Em média no ano 2022, as escolas municipais tiveram média mensal de consumo de 240 MWh, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4 – Média de Consumo mensal de energia elétrica ao longo de um ano



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao comparar as médias de consumo mensal de energia da EM, do CMEI e Média Geral é possível identificar semelhança no traçado das curvas em todos os meses do ano. O CMEI está posicionado na base do Gráfico 4, linha vermelha, pois este apresenta consumo inferior comparado ao EM. O conjunto das escolas infantis possuem área construída e número de usuários menores e consequentemente consumo de energia proporcional.

## 5.2 VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA DO MODELO DE BENCHMARKING

Em uma investigação inicial, a pesquisa testou a representatividade de algumas variáveis para o modelo de *benchmarking*, junto ao software *TS-Sisreg®* (2017), entre elas não foram utilizadas para avaliação final da pesquisa a *idade da construção dos imóveis*, *área construída da edificação somada à área da quadra de esporte coberta*, *número de salas de aula*, *localização da escola dentro da cidade* e

### *separação das EM e CMEI.*

Na verificação referente à *idade da construção*, foi identificado que a utilização desta variável poderia induzir ao erro. As escolas da PML-SME vêm recebendo melhorias no decorrer dos anos, fato identificado por meio das análises estatísticas e da coleta de dados com os gestores da Secretaria. Caso se utilizasse a utilizar este indicador poderiam ser produzidos resultados incorretos, pois edificações com *retrofits*, direcionados a melhorias nas edificações, como: substituições de telhado por novos com baixa absorvância solar; melhoramento nos sistemas elétricos e intervenções em esquadrias que facilite a ventilação cruzada nos ambientes, existe a tendência à redução de consumo de energia elétrica. Assim, a variável idade poderia até ser proposta, caso se utilizasse a idade do último *retrofits*, dado que não foi fornecido pela PML. Desta forma, a idade construtiva, para este estudo, não representa a idade real das edificações.

Tendo em vista que a PML tradicionalmente tem realizado investimentos no parque imobiliário da SME, como foi noticiado em veículos de mídia da cidade (CBN, 2017; GLOBO, 2018; LONDRINATUR, 2021; PML, 2009; PML, 2021; PML, 2023; PML, 2024), com base nestas informações definiu-se pela exclusão da variável idade construtiva, pois apresentou baixa correlação com o consumo de energia para este estudo.

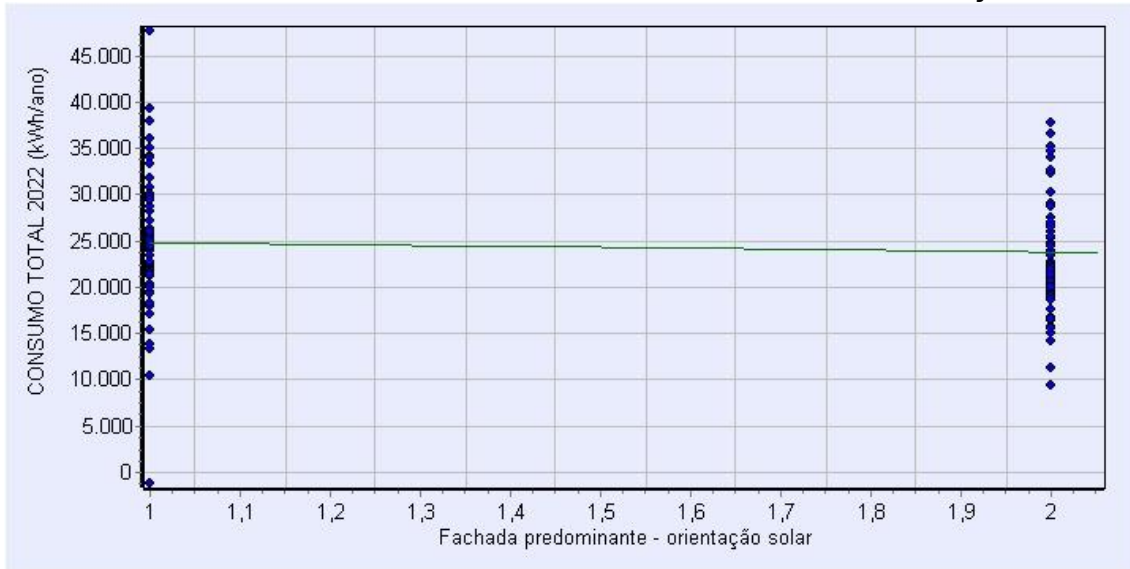
Quanto a variável *número de salas de aula*, também foi excluída, tendo em vista que o número de ambientes de cada unidade escolar está diretamente relacionado à área desta escola, sendo assim, essa variável estaria utilizando as mesmas informações da área construída.

A *localização dentro da cidade*, foi uma variável que não se demonstrou estatisticamente significativa para o estudo, visto que Londrina não apresenta diferenças climáticas que justificasse o uso desta variável, sendo todas as escolas em regiões urbanizadas e consolidadas.

Já a variável *fachada predominante - orientação solar*, apresentou neste estudo a tendência esperada que foi, aumento no consumo para edifícios com maior extensão de fachada leste e oeste, Gráfico 5. Ela é dicotômica isolada, correspondente ao posicionamento da edificação escolar em relação a orientação solar, dado identificado em projeto arquitetônico ou em imagem de Google Earth. A amplitude amostral desta variável seria de 1 e 2, sendo 2 pontuado para edificações com maior extensão de fachada exposta ao norte e sul, e 1 para construções expostas

leste e oeste. No entanto, na análise estatística não apresentaram parâmetros dentro do intervalo de confiança da NBR 14.653-2, sendo assim foi retirada do estudo.

Gráfico 5 – Consumo Total 2022 X Fachada Predominante – orientação solar



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Ainda, foi avaliado estatisticamente se a presença das áreas das quadras esportivas deveria ser contabilizada junto com as edificações escolares. E após as análises verificou-se que estas não tiveram influência significativa. Este levou a uma distorção no modelo, pelas quadras possuírem baixo consumo energético, quando comparado com as demais dependências das escolas. Além disso, foi detectado, nas informações obtidas junto aos gestores da PML-SME, que esse fato ocorre em consequência da relação do tempo de acionamento e quantidade de sistemas que consomem energia dentro das quadras esportivas.

Vale ressaltar ainda, em relação a quadra coberta que sua área construída distorce os resultados, para baixa densidade de carga e grande quantidade de área construída. Fato que caracterizou nesta variável a ausência de influência direta. No entanto, ao utilizar a variável, *existência ou não de quadra*, passou a existir um pequeno impacto no consumo de energia pela existência da quadra. Todavia, em análise estatística que envolve modelagem, uma variável poderá ser incluída nos estudos, mesmo nas ocasiões que não demonstre relevância, mas ainda, assim, favorecer o modelo geral (BARBETTA, 2019).

Já a definição em estudar as *Escolas Municipais e Centros Municipais de Educação Infantil* conjuntamente, foi estabelecida com base nos resultados encontrados, os quais demonstraram que todas as unidades do parque imobiliário deveriam ser avaliadas de forma conjunta, por representarem edifícios escolares, e em função de que as escolas apresentam consumo médio, geral, de energia elétrica por área e usuário por ano são semelhantes em ambos os EUIs, respectivamente de 20,65 kWh/m<sup>2</sup>/ano e 69,66 kWh/usuário/ano.

Os valores médios para as EM são 20,87 kWh/m<sup>2</sup>/ano e 65,73 kWh/usuário/ano, e do CMEI encontra-se em 20,01 kWh/m<sup>2</sup>/ano e 80,61 kWh/usuário/ano. Ainda, vale destacar, que existe uma diferença entre a média do CMEI e EM, para o EUI por usuário. A questão está vinculada com a média da densidade populacional, a relação usuários por área, do CMEI é menor que a média da EM, conforme Quadro 15.

Quadro 15 – Indicadores médios de uso de energia e Densidade Populacional.

	EUI por área (kWh/m <sup>2</sup> /ano)	EUI por Usuário (kWh/Usuário/ano)	Densidade Populacional (usuário/área construída)
<b>CMEI</b>	20,01	80,61	0,25
<b>EM</b>	20,87	65,73	0,33
<b>GERAL</b>	20,65	69,66	0,31

Fonte: Elaborado pela autora.

As variáveis finais foram definidas quando o modelo de regressão linear múltipla, com as variáveis e os dados atenderam simultaneamente todos os parâmetros estatísticos preestabelecidos no método. Desta forma, após as análises iniciais, foi retirada uma amostra do estudo e as variáveis que não permitiam o atendimento de todos os pré-requisitos simultaneamente.

Finalmente, as variáveis que representaram estaticamente o parque imobiliário das escolas da SME-PML foram as seguintes: dependente, o consumo anual de energia por ano (kWh/ano); e independentes, *área construída (m<sup>2</sup>)*, *existência de quadra coberta*, *área do terreno (m<sup>2</sup>)*, *densidade (usuário/área)* e *horas de ocupação (horas)*. Assim, essas variáveis definidas como parâmetros de entrada serão apresentadas no Quadro 16, a seguir:

Quadro 16 – Características das variáveis de entrada

Variável / Parâmetro	Tipo	Expectativa Crescimento	Variável Dependente	Precisão	Descrição
Consumo anual de energia Ano (kWh/ano)	Quantitativa	Positivo	Sim	Casas decimais: 2	Indica o consumo anual de cada edificação, expressa em kWh/ano.
Área construída (m <sup>2</sup> )	Quantitativa	Positivo	Não	Casas decimais: 2	Área total construída, expressa em m <sup>2</sup>
Existência de Quadra Coberta	Dicotômica isolada	Positivo	Não	Casas decimais: 0	Indica a existência de quadra coberta na escola, sendo Não= 0 e Sim = 1
Área Terreno (m <sup>2</sup> )	Quantitativa	Positivo	Não	Casas decimais: 2	Área terreno, expressa em m <sup>2</sup>
Horas de Ocupação (horas)	Quantitativa	Positivo	Não	Casas decimais: 1	Indica o número de horas que a edificação se encontra em funcionamento, expressa em horas por dia.
Densidade (usuários/área)	Quantitativa	Positivo	Não	Casa decimais: 2	Indica a densidade da edificação, expressa em usuários por área construída.

Fonte: Elaborado pela autora.

As variáveis, passaram por tratamento estatístico com objetivo de analisar o contexto do parque imobiliário e gerar interpretações de futuras intervenções junto as edificações.

Dessa forma, o nível de significância adotado para este estudo é igual a 0,05 (5%), isto é, valores de *p-valor* inferiores a 5%, foram considerados estatisticamente significativos. Para a estruturação dos parâmetros estatísticos na obtenção do modelo, uma das análises foi o teste da análise de variância (ANOVA), o qual apresentou um resultado estatisticamente significativo (*p-valor* < 0,01) (BARBETTA, 2019), indicando que o modelo linear é adequado para prever o *Consumo Anual de Energia* das edificações escolares, a partir das variáveis independentes selecionadas previamente, o que demonstra a validade da hipótese, Quadro 17.

Quadro 17 – Modelo linear de regressão – Escala da variável dependente: Y.

<b>FISHER-SNEDECOR</b>		<b>D-WATSON</b>	
F-Calculado	: 66,79159	D-Calculado	: 2,06309
Significância	: < 0,01000	Resultado Teste	: Não auto-regressão 90%
<b>COEFICIENTES</b>		<b>VARIAÇÃO</b>	
Correlação	: 0,866731	Total	: 22152901164,68966
Determinação	: 0,75223	Residual	: 5488851236,34903
Ajustado	: 0,74001	Desvio Padrão	: 7063,89748

Fonte: Elaborado pela autora via *TS-Sisreg*® (2017).

No Quadro 17, o software fornece o valor do teste de Durbin-Watson igual a 2,06309, que indica a independência dos resíduos, atendendo a um dos requisitos para o modelo ajustado.

O Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), indica quanto o modelo explica os valores *observados* numa escala de 0 a 1, assim como o coeficiente de correlação linear (BARBETTA, 2019). Neste caso, o coeficiente de determinação ajustado foi de 0,74 o qual representa que, 74% dos valores são explicados pelo modelo linear, seguido de um coeficiente de correlação linear aproximadamente igual a 87%, que nos mostra o alto índice de correlação entre as variáveis independentes e dependente, conforme mostram os resultados obtidos pelo software, no Quadro 19.

Dessa forma, o consumo anual de energia (kWh/ano) pelas unidades escolares pode ser explicado por meio de uma relação linear que envolve as variáveis área construída ( $X_1$ ), existência de quadra ( $X_2$ ), área do terreno ( $X_3$ ), tempo de funcionamento ( $X_4$ ) e a densidade – pessoas/área ( $X_5$ ).

A distribuição t-Student é o meio mais significativo das distribuições nas ocasiões que se quer inferir as médias dos desvios-padrão desconhecidos (DANTAS, 2012). Para avaliar as variáveis independentes, o Quadro 18, apresenta os resultados dos valores de t-Student Calculado e p-valor de todas as variáveis utilizadas no modelo.

Quadro 18 – Resultados das variáveis.

CÓDIGO	VARIÁVEL	T-Student Calculado	P-valor
X <sub>1</sub>	Área construída 2022 (m <sup>2</sup> )	9,84	< 0,01
X <sub>2</sub>	Existência de Quadra coberta	0,53	0,59
X <sub>3</sub>	Área do terreno (m <sup>2</sup> )	4,31	< 0,01
X <sub>4</sub>	Horas de Ocupação (horas)	0,16	0,87
X <sub>5</sub>	Densidade (usuário/área) 2022	7,77	< 0,01

Fonte: Elaborado pela autora via TS-Sisreg (2017).

Em relação ao comportamento das variáveis foram gerados gráficos demonstrando a relação das variáveis independentes com a variável dependente - Consumo de energia elétrica por ano.

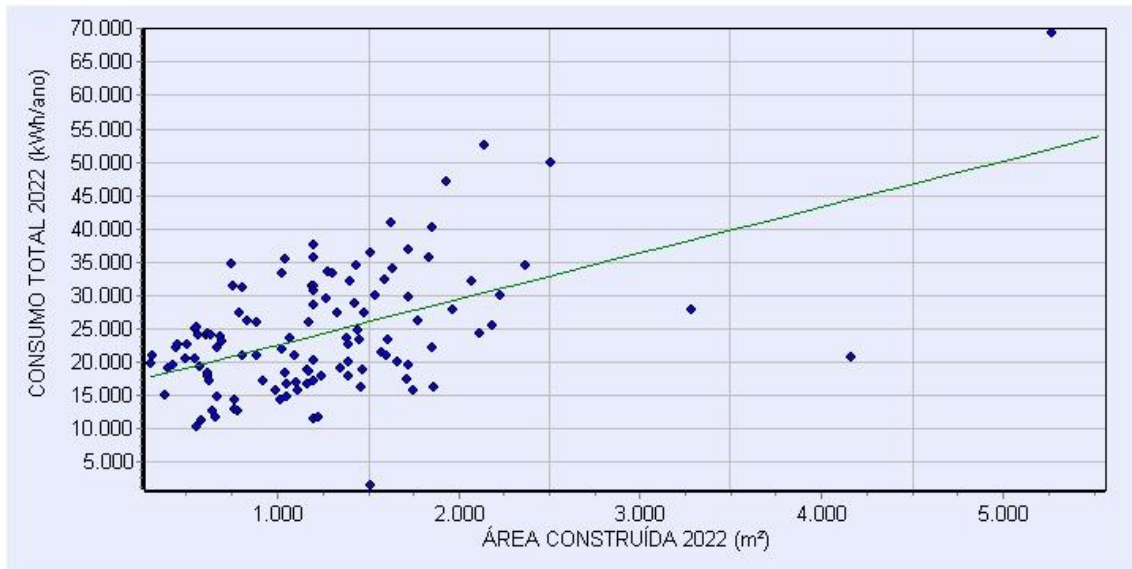
As variáveis foram definidas buscando identificar o contexto das edificações do parque imobiliário da PML, com o objetivo de utilizar elementos amostrais nos quais as características formadoras de consumo de energia elétrica ano dos imóveis avaliados estivessem contidas nos intervalos de características dos elementos amostrais.

Após os tratamentos estatísticos, foi desenvolvido modelo de regressão linear múltipla, em que as seguintes variáveis se mostraram consistentes e significativas:

- **X<sub>1</sub> - Área Construída**

Variável independente, quantitativa, correspondente à *área construída* do imóvel, dado disponível no cadastro da PML. A amplitude amostral quanto à esta variável é de 303,26 m<sup>2</sup> a 5.271,89 m<sup>2</sup>.

Gráfico 6 – Consumo Total 2022 X Área Construída 2022



Fonte: Elaborado pela autora.

Quando ocorre o aumento da variável *área construída 2022* (m<sup>2</sup>), o valor do Consumo Total 2022 (kWh/ano) aumenta, sendo assim, uma correlação positiva, conforme apresentado no Gráfico 6 com a reta verde. Dessa forma, o consumo relaciona-se diretamente com a *área construída*, quanto maior for área da escola, maior será o consumo, pois existirá a ampliação do número de usuários, ambientes com iluminação, refrigeração e uso de equipamentos elétricos.

- **X<sub>2</sub> - Existência de quadra coberta**

Variável independente, dicotômica isolada, correspondente à *existência de quadra esportiva coberta* pertencente a unidade escolar, dado identificado em projeto arquitetônico ou em imagem de Google Earth. A amplitude amostral quanto a essa variável é de 0 e 1, sendo 0 considerado ausente da presença de quadra e 1 para a existência da estrutura.

Gráfico 7 – Consumo Total 2022 X Existência de quadra coberta



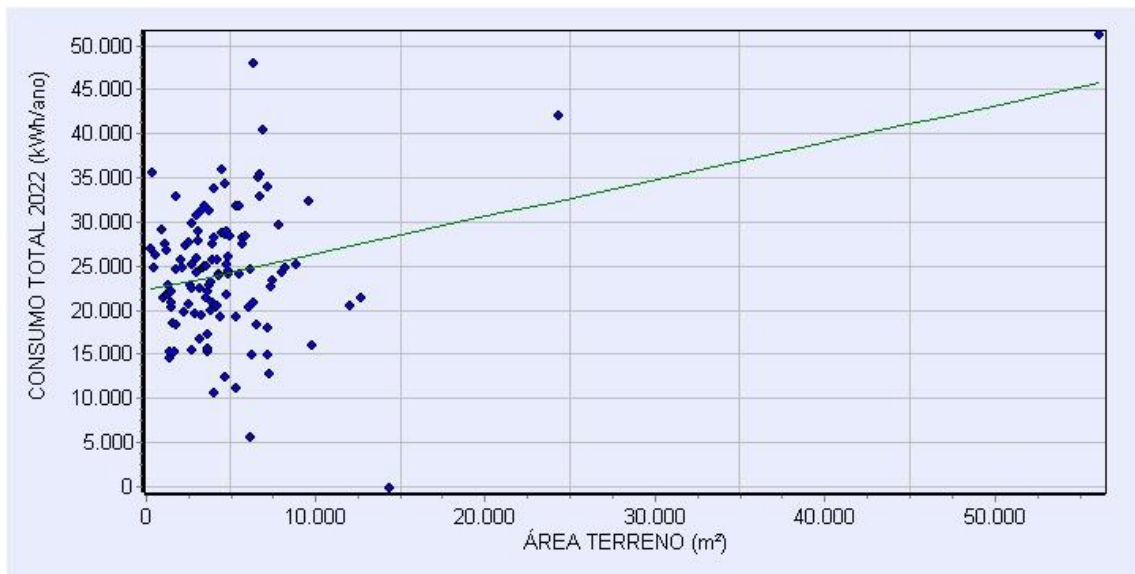
Fonte: Elaborado pela autora.

Nos casos da presença da variável *existência de quadra coberta*, o valor do *consumo total 2022* (kWh/ano) aumenta. Desse modo, uma correlação positiva, conforme apresentado no Gráfico 7 por meio da reta verde. Conforme esperado, vale destacar que esta variável, tem um impacto de incremento no consumo de energia pela existência de quadra. Assim, as unidades que possuem quadra coberta terão um aumento no consumo.

- **X<sub>3</sub> - Área Terreno**

Variável independente, quantitativa, correspondente à *área do terreno* da escola, dado disponível no cadastro da PML. A amplitude amostral quanto a essa variável é de 318,45 m<sup>2</sup> a 56.182,60 m<sup>2</sup>.

Gráfico 8 – Consumo Total 2022 X Área Terreno



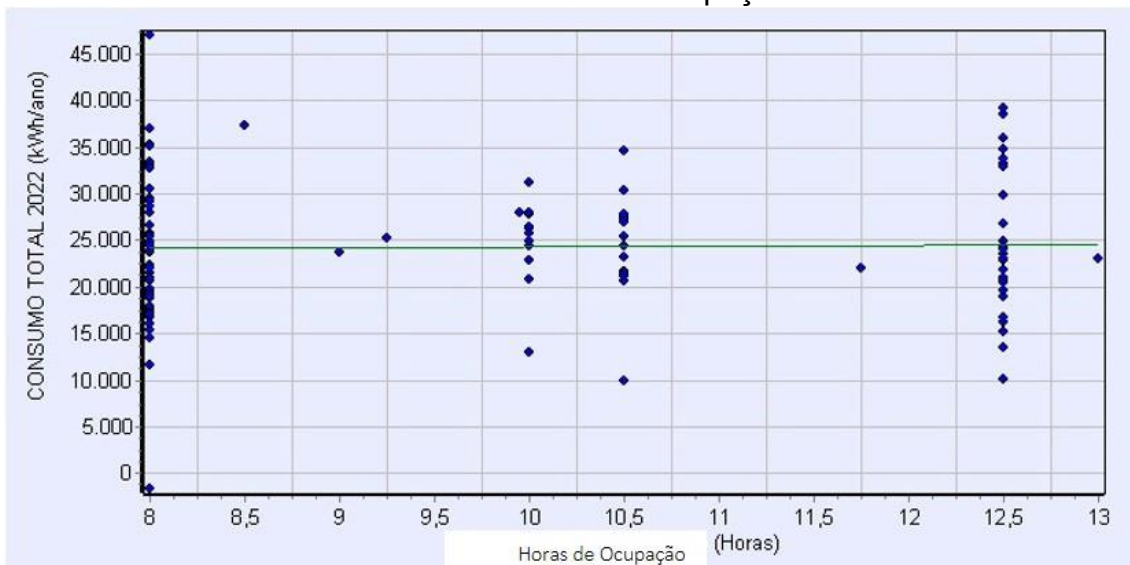
Fonte: Elaborado pela autora.

Nas ocasiões que o aumento da variável *área terreno* ( $m^2$ ), o valor do *consumo total 2022* (kWh/ano) aumenta, sendo assim uma correlação positiva, conforme apresentado no Gráfico 8 por meio da reta verde. Essa tendência crescente no consumo, está relacionada ao aumento de áreas externas a serem iluminadas ou mesmo a usabilidade do espaço.

- **X<sub>4</sub> - Horas de ocupação**

Variável independente, quantitativa, correspondente às *horas de ocupação* que a escola permanece aberta para o atendimento ao público, dado disponibilizado pela SME. A amplitude amostral quanto a essa variável é de 8 a 13 horas de funcionamento.

Gráfico 9 – Consumo Total 2022 X Horas de Ocupação



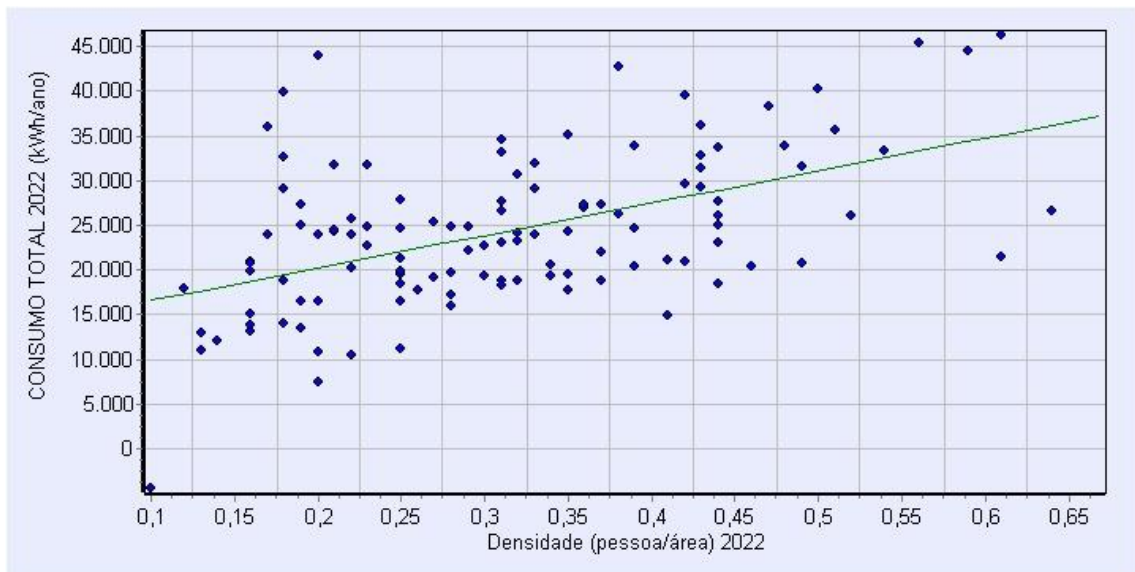
Fonte: Elaborado pela autora.

Por sua vez, quando ocorre o aumento da variável *horas de ocupação* (horas), o valor do *consumo total 2022* (kWh/ano) aumenta, sendo assim uma correlação positiva, conforme apresentado no Gráfico 9. Esta variável também possui a característica de incremento no consumo de energia pela ampliação das horas de ocupação. As unidades que possuem maior tempo abertas ao público terão maiores consumos de energia.

- **X<sub>5</sub> - Densidade Ocupacional**

Variável independente, quantitativa, correspondente a relação entre total de ocupantes da escola por área construída, dado calculado com dados disponibilizados pela SME. A amplitude amostral quanto a essa variável é de 0,10 a 0,64.

Gráfico 10 – Consumo Total 2022 X Densidade 2022



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o aumento da variável *densidade* (pessoa/área) 2022, o valor do *consumo total 2022* (kWh/ano) aumenta, sendo assim uma correlação positiva, conforme apresentado no Gráfico 10. O aumento de consumo está diretamente relacionado ao número de usuários e conseqüentemente a demanda de energia elétrica nos espaços escolares.

- **Y – Consumo Total 2022 (kWh/ano)**

Variável dependente, quantitativa, correspondente ao consumo de energia elétrica das unidades escolares, dado coletado em fatura de energia disponibilizados pela SME. A amplitude amostral quanto a essa variável é de 3.750 a 93.130 kWh/ano.

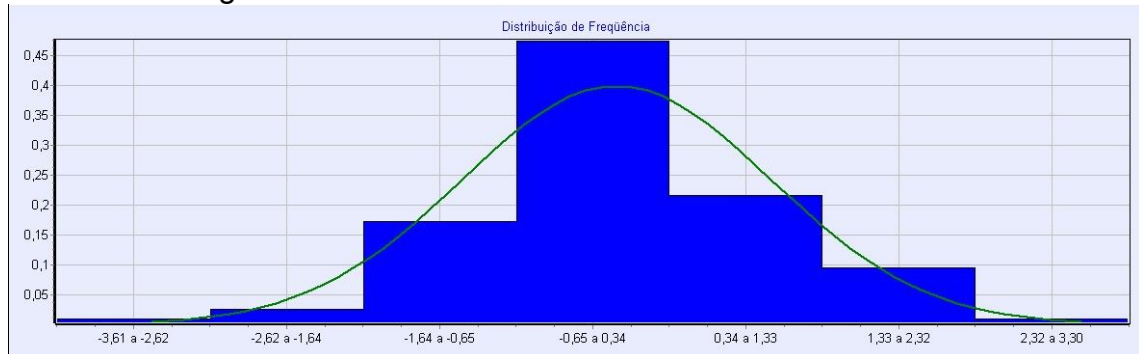
### 5.3 DISTRIBUIÇÃO NORMAL

A avaliação da normalidade é utilizada para definir se os dados de uma variável estão bem modelados em uma distribuição normal, sendo útil para a seleção de modelos, são previsores essenciais para o modelo ajustado ( $p$ -valor  $<0,05$ ), conforme apresentado no Gráfico 11. A distribuição normal é utilizada na inferência estatística. A função  $f(x)$  é representada por uma curva simétrica, unimodal

com forma de sino, que descreve as amostras (DANTAS, 2012).

Para a pesquisa, foi gerado o Gráfico 10. Nele, está contido o histograma de resíduos padronizados sobreposto a curva normal padrão. Tendo como resultado similaridade da curva normal com o histograma.

Gráfico 11– Histograma de Resíduos X Curva Normal Padrão



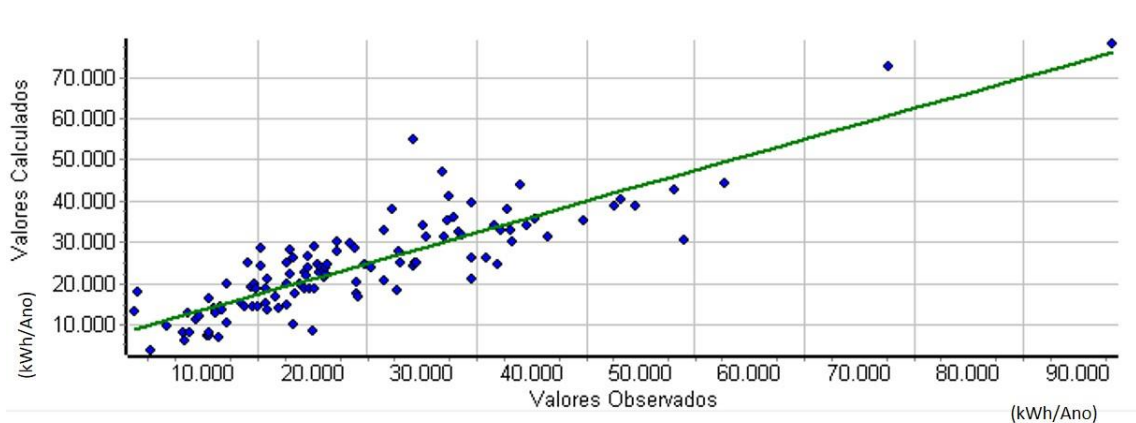
Fonte: Elaborado pela autora.

Pode ser verificado no Gráfico 10, que existe, pelo menos, 95% dos dados entre o intervalo de -2 a 2, o que nos mostra uma ausência de multicolinearidade. Este fato indica que o modelo linear ajustado é adequado para estimar o consumo de energia pelas unidades de ensino.

#### 5.4 ADERÊNCIA

A partir dos dados pesquisados e das variáveis explicativas adotadas, foi gerado e ajustado o seguinte modelo matemático, apresentado no Gráfico 12 de aderência dos *valores observados* contra os *valores calculados*.

Gráfico 12 – Aderência -Valor Observado X Valor Calculado



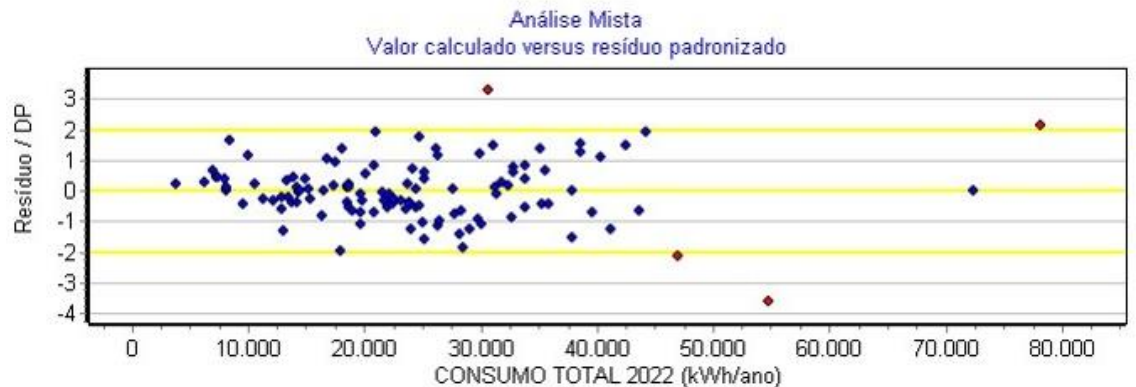
Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 12 de dispersão seguiu os *valores calculados*, apresenta linearidade entre o modelo ajustado com *valores observados*. Ele demonstra, na proximidade dos pontos a reta de referência (linha verde), o ajuste do modelo; caracterizando a aderência adequada.

## 5.5 ANÁLISE DOS RESÍDUOS

No estudo, os resíduos do modelo avaliado estão dispostos de forma aleatória no Gráfico 13. Podendo ser observado o respeito a homocedasticidade, o que significa que as amostras se encontram posicionadas de forma aleatória ao entorno da reta horizontal, estando concentradas de forma retangular. Esse fato determinou segurança para os testes estatísticos realizados.

Gráfico 13 – Distribuição de valores ajustados x Resíduos Padronizados



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 13, dos Resíduos Padronizados é possível verificar outro requisito necessário sendo atendido para o modelo ajustado, a homocedasticidade dos dados.

## 5.6 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

A matriz de correlação faz uma avaliação entre as variáveis, identificando o nível de semelhança entre elas e sendo utilizada para analisar dados (BARBETTA, 2019). Assim, a análise do Quadro 19 reforça o resultado identificado em todos os casos, nos quais foram obtidos valores menores do que 70% aos pares em módulo, garantindo assim a ausência de multicolinearidade, que é um dos pré-requisitos para validação do modelo ajustado.

Quadro 19 – Matriz de correlação entre variáveis (valores em percentual)

VARIÁVEL	Forma Linear	ÁREA CONSTRUÍDA 2022 (m <sup>2</sup> )	EXISTÊNCIA DE QUADRA COBERTA (NÃO=0 E SIM=1)	ÁREA TERRENO (m <sup>2</sup> )	Tempo de Funcionamento (Horas)	Densidade (pessoa/área) 2022	CONSUMO TOTAL 2022 (kWh/ano)
Área Construída (m <sup>2</sup> )	x	32	4	6	65	68	
Existência de quadra coberta (Não=0 e Sim=1)	x	44	9	0	28	5	
Área de terreno (m <sup>2</sup> )	x	43	23	11	1	38	
Densidade (pessoa/área)	x	16	12	22	8	1	
Horas de Ocupação (horas)	x	-14	27	22	14	60	
Consumo de energia/ Ano (kWh/ano)	y	68	48	61	22	40	

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, os pré-requisitos independência dos parâmetros, ausência de multicolinearidade e a homocedasticidade dos dados para obtenção do modelo, foram atendidos e o padrão retangular no Gráfico 9 de análise dos resíduos reforçam os resultados obtidos.

A seguir tem-se o modelo ajustado para determinar o consumo anual de energia das unidades escolares do Município de Londrina, com o auxílio do software *TS-Sisreg*®, apresentando na Equação 7:

Equação 7:

*Consumo de Energia Ano =*

$$-10.046,172498 + 12,058672 * (\text{Área Construída}) + 864,523850 \\ * (\text{Existência de Quadra Coberta}) + 0,584156 * (\text{Área do Terreno}) \\ + 56,509014 * (\text{Horas de Ocupação}) + 48.799,663968 * (\text{Densidade})$$

Em que:

- Área construída: m<sup>2</sup>;
- Existência de quadra coberta: 0 ou 1;
- Área do terreno: m<sup>2</sup>;
- Horas de ocupação: horas;
- Densidade: total de usuários da edificação/área;
- Consumo Anual de energia - unidade escolar: kWh/ano.

Após o cálculo do consumo predito, os valores encontrados são divididos pelas áreas construídas ou número total de usuários, para a identificação dos indicadores de uso de energia (EUI), os *benchmarks*.

Em uma análise comparativa da Equação 7 com as equações desenvolvidas pelo DEO (CBCS, 2023a), *Escola de ensino Infantil e Escola de Ensino Fundamental e Médio*. Em relação a primeira temos como variável dependente semelhante, sendo o consumo total de energia e como variáveis independentes, divergentes, os fatores relacionados clima, características do sistema de iluminação, turno de funcionamento, renovação de ar interna, área de ambientes e total. Já a

outra a equação do DEO (CBCS, 2023b) diverge em sua totalidade, pois trabalha com a variável dependente o consumo total condicionado ou ventilado, e as independentes estão relacionadas clima, características do sistema de iluminação, características térmicas das paredes externas, orientação solar, renovação de ar e existência de elementos de sombreamento nas aberturas.

## 5.7 CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Para alcançar o objetivo desta investigação, o parque imobiliário passou por uma classificação de desempenho energético das edificações de ensino. Inicialmente, foram calculados os indicadores energéticos a serem utilizados, sendo estes o consumo por área (kWh/área/ano) e consumo por usuário (kWh/usuário/ano).

Para tanto, foram determinados os EUIs para os *valores observados* e *valores calculados*. De posse destes resultados, o parque imobiliário passou por análise matemática, cujas constantes estão no Apêndice A, para identificar o grau de dispersão do conjunto de dados presentes no Quadro 20.

Quadro 20 – Valores de Consumo Calculado e Observado.

Parâmetros	EUI kWh/m <sup>2</sup> /ano	Desvio padrão	Média consumo	EUI kWh/Usuário/ano	Desvio padrão	Média consumo
<b>Calculado</b>	7,51 – 47,77	7,51	20,83	13,53 – 125,40	13,53	69,154
<b>Observado</b>	3,31 - 47,94	7,77	20,65	16,56 - 147,68	22,80	69,66

Fonte: Elaborado pela autora.

Foi possível identificar que em alguns casos, uma mesma edificação está classificada com níveis de eficiência energética diferente entre indicadores, entretanto, apresentam uma classificação não distante dos indicadores analisados, sendo identificado quatro exceções. Na amostra há situações de escolas que recebem classificação “B” por um indicador e “E” por outro, como é o caso das escolas C03, C19, E05 e E44, nas quais a divergência ocorre pelo reduzido número de usuários que utilizam a edificação, que dispõem de uma grande área construída. Já a unidade E62, apresenta resultado invertido, tendo em vista possuir um número de usuários

superior e com uma área construída proporcionalmente menor.

Os Gráficos 14 e 15 demonstram a frequência dos indicadores de energia, nos quais as unidades escolares estão em sua maioria no intervalo “B”, “C” e “D”, o que representam as classificações *típicas* das unidades escolares.

Gráfico 14 – Histograma de frequência x Consumo Anual por área (kWh/m<sup>2</sup>/ano)

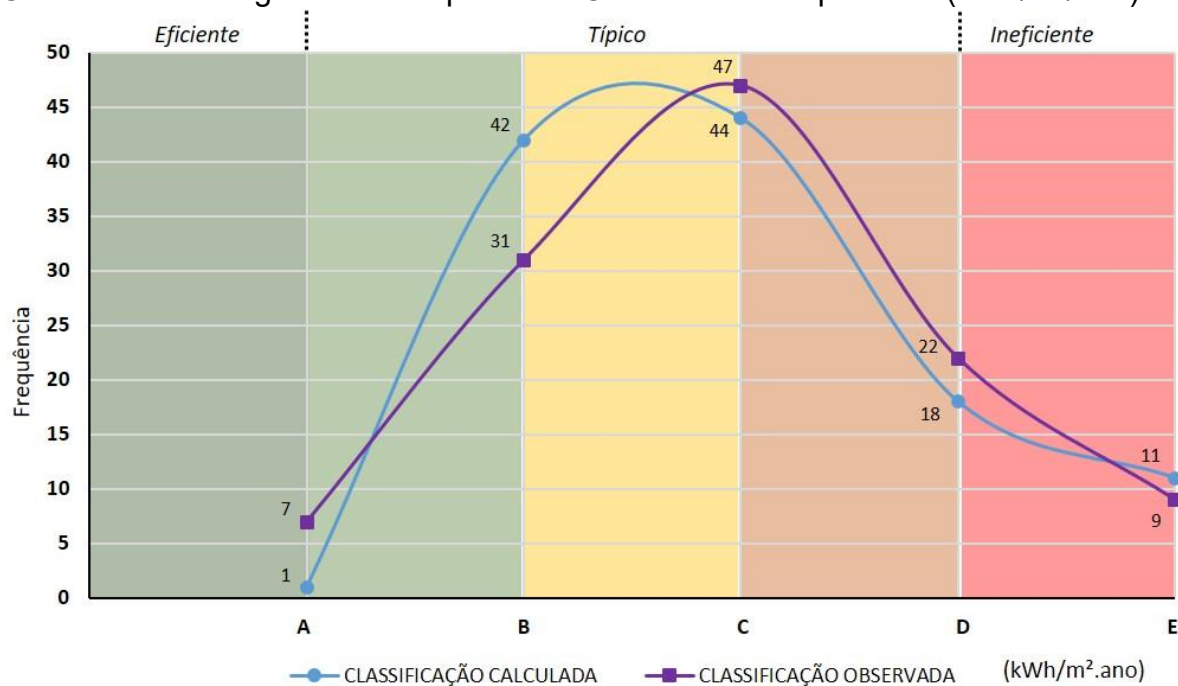
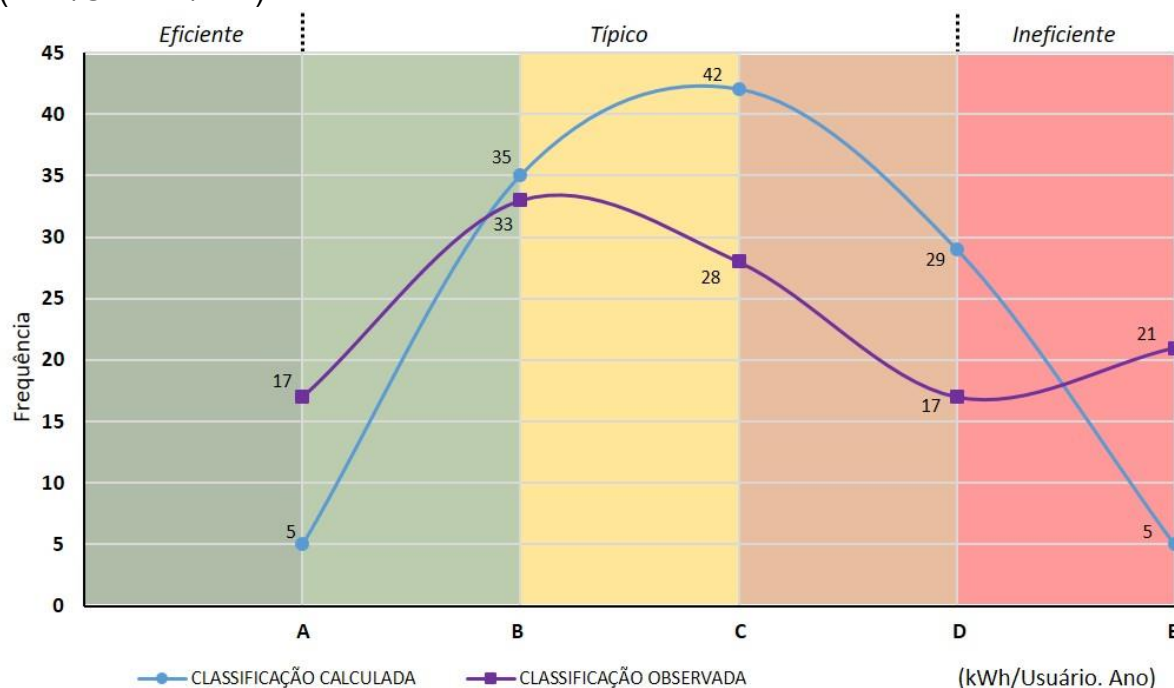


Gráfico 15 – Histograma de frequência x Consumo Anual por usuário (kWh/Usuário/ano)



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar os Gráficos de 13 e 14, foi possível identificar que existem diferenças entre os valores *observados* e os *calculados*. Nestes, a análise de consumo pela área obteve resultados mais próximos do que o consumo por usuário.

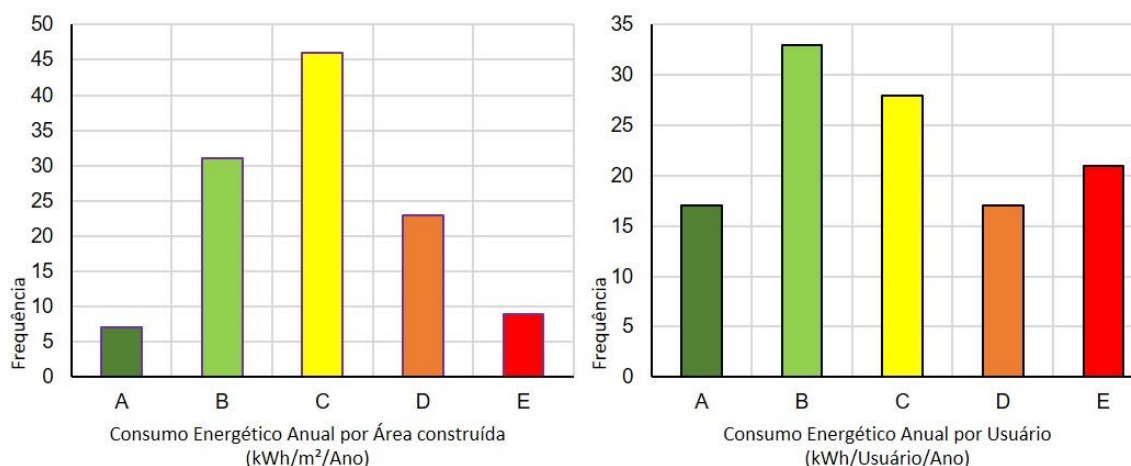
Ao classificar as unidades escolares para o indicador consumo anual por área, foram identificados que 7 escolas receberam A; 31 para B, 47 em C, 22 com D e 9 pontuaram em E. Já ao avaliar para o indicador consumo anual por usuário os resultados de instituições de ensino são 17 para A, 33 unidades B, 28 edifícios C, 17 em D e 21 com E, conforme apresentado no Quadro 21 e Gráfico 16.

Quadro 21 – Quantidades de escolas e suas classificações

Indicador - EUI Observado	A	B	C	D	E
kWh/m <sup>2</sup> /ano	7	31	47	22	9
kWh/aluno/ano	17	33	28	17	21

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 16 – Histograma de frequências de Classificação

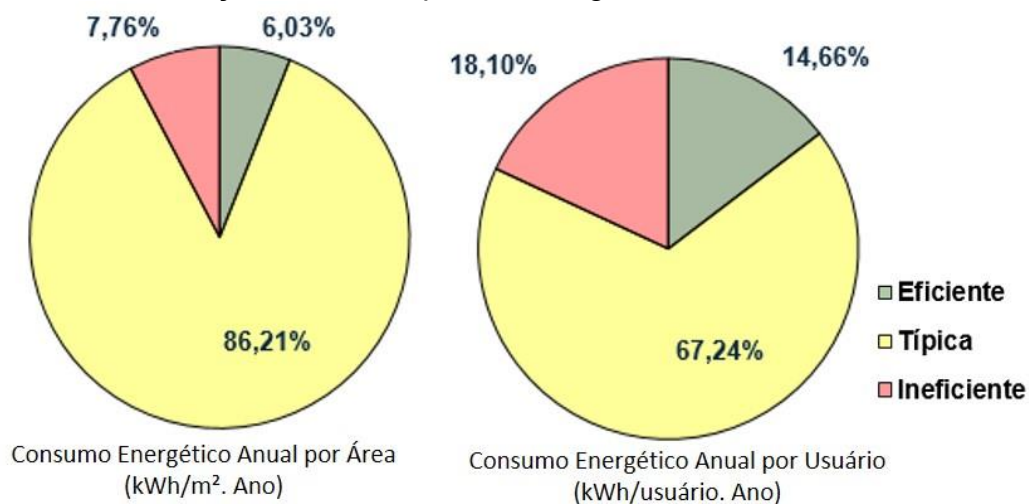


Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, a classificação do desempenho energético, relacionada ao EUI área construída foi identificada, em edificações *eficientes*, 6,03%; *típicas*, 86,21%; e *ineficientes*, 7,76%. Em relação ao consumo anual por usuário dos edifícios, obtiveram 14,66% *eficientes*, 67,24% *típicas* e 18,10% *ineficientes*; conforme apresentado no Gráfico 15. Embora o parque imobiliário seja classificado predominantemente como *típico*, 67,24% e 56,9%, respectivamente EUI área e usuário, as edificações escolares encontram-se em nível C ou inferior, fato que demonstra uma necessidade de intervenções e diagnóstico energético. Após identificadas as unidades escolares com desempenho *ineficientes*, é necessária uma avaliação individualizada de cada edifício, preferencialmente por um *benchmarking bottom-up*, buscando identificar as intervenções necessárias para adequação dos desempenhos. Ainda, é possível afirmar que o EUI-área para este estudo se apresentou como o indicador mais adequado para o contexto da amostra.

Existe a necessidade de priorizar as escolas com categorização *ineficiente* e classificações *E*, por representarem edifícios onde a eficiência energética encontra-se o consumo superior ao *típico*. Sendo deste modo, potencialmente mais eficiente alguma intervenção nestas.

Gráfico 17 – Classificação do Desempenho Energético das escolas



Fonte: Elaborado pela autora.

Vinte e nove unidades escolares foram categorizadas como *ineficiente*, em pelo menos um dos indicadores, sendo que 21 estão localizadas no perímetro urbano do município e oito nos distritos, Gráfico 17. As idades de construção dos edifícios estão no intervalo de 1 a 54 anos. Sendo que a última a ser inaugurada entre estas instituições foi a E52, no ano de 2021. Esse dado é um fator que ratifica a exclusão da variável idade da construção nas análises iniciais do trabalho, visto que já apresentado anteriormente, o PML tem por padrão realizar a manutenção das edificações, não sendo este um fator para a predição do consumo energético das escolas.

A unidade C14 foi a única categorizada como *ineficiente* para ambos os indicadores. Esta escola possui 26 anos, construída em alvenaria, sem a presença de quadra coberta, um único pavimento e não possui equipamentos de condicionamento de ar. Esta edificação é recomendado a prioridade da análise de *benchmarking bottom-up*, visto que, pois existe ineficiência nos dois indicadores energéticos.

Para a categoria *típica*, 65 edificações receberam EUI em ambos os indicadores, sendo B para 19 EUI área e 29 para o EUI para usuário. Foram identificadas que 24 unidades escolares receberam a categorização *eficiente* para um dos EUIs, sendo 17 para usuários e 7 para área, entre elas existe duas CMEIs. Dentro deste de conjunto avaliado 2 estão localizadas na zona rural e as demais na sede do município.

O estoque tem unidades construídas de 1948 a 2021; quatro possuem sistemas construtivo misto alvenaria e madeira, apenas a E16 em madeira, e as demais são de alvenaria; e 77% têm seu funcionamento no período da manhã e tarde. Apenas a amostra E40 possuía equipamentos de ar-condicionado instalados na edificação, registrado no cadastro municipal.

As edificações C28 e E03 foram categorizadas como *eficientes* para os dois indicadores energéticos. Ambas estão na sede urbana do município, possuem idades 6 e 56 anos de construção; não possuem quadra coberta e estão construídas em alvenaria em sua totalidade.

Novamente, foi identificado, nesta pesquisa, que o fator *idade da construção* não teve relação direta com o consumo de energia. Fato verificado nas amostras E73, que possui 1 ano de construção e na E11 com 68 anos; ambas categorizadas como *eficientes* para EUI área.

Quadro 22 – Instituições de ensino brasileiras e suas classificações energéticas

LOCAL	TIPO DE ENSINO	EUI	FONTE
Brasil	Ensino médio e fundamental	30,54 kWh/m <sup>2</sup> /ano	Geraldi e Ghisi (2022b)
	Ensino médio e fundamental	1,07 a 28,68 kWh/m <sup>2</sup> /ano 99,98 a 101,8 kWh/aluno/ano	Geraldi <i>et al.</i> (2021a)
	Ensino médio e fundamental	41,3 a 62 kWh/m <sup>2</sup> ano	Geraldi <i>et al.</i> (2021b)
	Ensino infantil	17,04 a 32,28 kWh/m <sup>2</sup> /ano 58,63 a 105,79 kWh/aluno/ano	Gnecco <i>et al.</i> (2021)
Londrina / Brasil	<b>Ensino infantil, fundamental e EJA</b>	<b>3,31 a 47,94 kWh/m<sup>2</sup>/ano</b> <b>16,56 a 147,68 kWh/usuários/ano</b>	<b>Resultados da Tese</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao comparar os valores dos EUIs dos resultados da tese com os identificados na realidade brasileira (GERALDI, GHISI, 2022b; GERALDI *et al.*, 2021a; GERALDI *et al.*, 2021b; GNECCO *et al.*, 2021), foi possível verificar que nas unidades de ensino administradas pela PML-SME, os valores se encontram na mesma faixa de perfil dos indicadores de uso de energia para área. Já para o EUI usuário, os resultados se destoam dos estudos Geraldi *et al.* (2021a) e Gnecco *et al.* (2021),

conforme anteriormente apresentado no Quadro 22. Vale destacar que, na presente tese, foi utilizado a capacidade total de usuários nas edificações, fato que a diferencia das outras pesquisas, visto que elas usaram desconsideraram os servidores das unidades escolares.

## 6 CONCLUSÕES

A presente tese teve como objetivo desenvolver o *benchmarking* energético em uma abordagem *top-down*, por meio de estatística descritiva e inferência, direcionado aos edifícios públicos da rede básica de ensino público do município de Londrina, no estado do Paraná.

Sua importância encontra-se na avaliação e elaboração de um instrumento para a realidade escolar, levando em consideração a reduzida incidência de pesquisas correlatas, que proporcionem ao mesmo tempo, otimização dos recursos e ampliação da qualidade ambiental.

O trabalho teve como marco inicial, o levantamento e análise da totalidade do parque imobiliário das escolas públicas da municipalidade, englobando ensino infantil, fundamental I e EJA. Para isso, optou-se por construir um *benchmarking* com estratégias que forneçam parâmetros para uma análise comparativa do consumo energético das edificações. A proposta define um nível de consumo que possibilite a avaliação, hierarquização da eficiência energética das escolas, para futuras intervenções.

Desse modo, foi necessário coletar um conjunto de dados reais dos edifícios, elaborar um banco de dados, tratar estatisticamente tais informações, construir uma equação preditiva de consumo de energia, identificar desempenho energético e analisar comparativamente o parque imobiliário para futura utilização do material.

Na apuração dos dados, foi avaliada a representatividade de diferentes variáveis, utilizando o software TS-Sisreg® (2017), e entre os parâmetros finais, a variável dependente foi o consumo anual de energia (kWh/ano). Neste estudo as variáveis independentes ou, os parâmetros de entrada, mais influentes nos resultados de consumo de energia foram: a *área construída* (m<sup>2</sup>); *existência de quadra coberta*; *área do terreno*; *densidade* (usuário/área) e *horas de ocupação* (horas).

A definição da equação preditiva de consumo de energia elétrica ocorreu com a utilização do modelo de regressão linear múltipla, seguiu os pré-requisitos independência dos parâmetros, ausência de multicolinearidade e a homocedasticidade no modelo, indicando que o modelo linear ajustado é adequado para estimar o consumo de energia pelas unidades de ensino.

Posteriormente, foi realizada a classificação do parque imobiliário

para dois indicadores energéticos, consumo por área (kWh/m<sup>2</sup>/ano) e consumo por usuário (kWh/usuário/ano), utilizando uma adaptação do método de Veloso *et al.* (2020) associada ao método de classificação apresentado pelo CBCS (2022).

O processo foi gerado com a realização da classificação de A à E referente aos EUIs determinados, *calculados* e *observados*. Na sequência as edificações foram classificadas como: edifício eficiente, nas ocasiões que o consumo apresenta de  $\mu - 1,5\sigma$  desse intervalo; *típico*, de  $\mu - 0,5\sigma$  a  $\mu + 0,5\sigma$ ; e *ineficiente*, de  $\mu + 1,5\sigma$  como parâmetro para futuras proposições de melhorias. Sendo para o EUI área, encontrado resultados 6,03% *eficiente*; 86,21% *típicos* e 7,76% *ineficiente*, no entanto, 31 escolas encontram-se com classificação D ou inferior. E para o Indicador por usuário, 14,66% *eficiente*; 67,24% *típicos* e 18,10% *ineficiente*, entretanto 19 unidades de ensino estão classificadas como menor ou igual a D.

Para a classificação de desempenho energético das edificações no ano de 2022, os *valores observados* estão entre 3,31 e 47,94 kWh/m<sup>2</sup>/ano; para o indicador de desempenho voltado para usuário por ano e entre 16,56 e 147,68 kWh/usuário/ano, em relação ao *observado*.

Ao avaliar a frequência dos resultados dos EUIs em relação ao consumo anual por área e por usuário, ficou caracterizado as diferenças que existem entre os valores *calculados* e os *observados*. Fato este, que sinaliza a necessidade de uma análise da capacidade das unidades escolares. Visto que, as escolas classificadas com D ou E, podem estar sendo subutilizadas e teriam a capacidade de atender mais usuários.

De posse das análises matemáticas, foi possível identificar que o modelo gerado está adequado para estimar o consumo de energia elétrica das unidades e realizar a hierarquização da eficiência. Tem-se como continuidade desta pesquisa o treinamento da equipe de gestores da PML-SME para a realização de processos de análise contínua do desempenho energético das edificações, seguido de implementações de um processo individualizado das edificações na abordagem *bottom-up*, com vistas na determinação de quais intervenções são necessárias para a constante melhoria da edificação.

Os efeitos dessa proposição poderão ser atingidos com mudanças na mentalidade da sociedade e a realidade escolar constitui um espaço de alto nível de eficiência para a implantação deste tipo de projeto, tendo em vista seu poder formador e disseminador de informação. Ainda, vale ressaltar que os recursos do setor público

são limitados, desta forma deve-se otimizar seu uso.

Ao interpretar o contexto do estudo realizado no parque imobiliário da PML-SME e a construção do *benchmarking*, sugere-se que o método proposto tem potencial de replicação em outras realidades correlatas de outras Secretárias Municipais de Educação no país.

## 6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

- O tempo para realização do trabalho foi o maior limitador encontrado, tendo em vista que a troca de orientador foi necessária e, conseqüentemente, a temática do estudo, o que ocorreu durante o período de um ano;
- Ainda em relação ao fator tempo, na nova frente de pesquisa, ocorreram dificuldades de obter dados de um parque imobiliário, devido a entraves burocráticos, novamente alterando os rumos da tese da pesquisadora. Esse fato comprometeu mais 18 meses de trabalho; e
- As dificuldades encontradas para realização de contatos, coletas de informações e dificuldades de ordem pessoal proporcionadas pelo contexto pandêmico da COVID-19.

## 6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Realização de *benchmarking* energético na abordagem *bottom-up*, com o objetivo de identificar falhas nos sistemas das edificações;
- Sistematização de uma plataforma de banco de dados, com informações de projetos de engenharia das edificações, consumo de energia, características de uso e ocupação;
- Verificação da aplicabilidade do método proposto para outros climas e tipologias do Brasil;
- Desenvolver um estudo com série histórica de dados das edificações para refinamento dos resultados; e
- Estudar o impacto do desempenho energético com as instalações de equipamentos de ar-condicionado, já previstos, para refrigeração dos ambientes escolares.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 14.653-1: Avaliação de Bens. Parte 1 Procedimentos gerais**. Rio de Janeiro, 2001a.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 14.653-2: Avaliação de Bens. Parte 2 Imóveis Urbanos**. Rio de Janeiro, 2001b.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 14.653-3: Avaliação de Bens. Parte 3 Imóveis Rurais**. Rio de Janeiro, 2001c.

AHMAD, T.; CHEN, H.; GUO, Y.; WANG, J. A comprehensive overview on the data driven and large scale based approaches for forecasting of building energy demand: A review. **Energy and Buildings**, v. 165, p. 301-320, 2018.

AHMED, K.; HASU, T.; KURNITSKI, J. Actual energy performance and indoor climate in Finnish NZEB daycare and school buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 56, p. 1-18, 2022.

AHMED, O.; SEZER, N.; OUF, M.; WANG, L.; HASSAN, I. G. State-of-the-art review of occupant behavior modeling and implementation in building performance simulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 185, 113558, 2023.

AKANDEN, O. K.; ODELEYE, D.; CODAY, A.; JIMENEZBESCO, C. Performance evaluation of operational energy use in refurbishment, reuse, and conservation of heritage buildings for optimum sustainability. **Frontiers of Architectural Research**, v. 5, n. 3, p. 371-382, 2016.

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

ALSHIBANI, A. Prediction of the energy consumption of school buildings. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, p. 1-23, 2020.

ALSHIBANI, A.; ALSHAMRANI, O. S. ANN/BIM-based model for predicting the energy cost of residential buildings in Saudi Arabia. **Journal of Taibah University for Science**, v. 11, n. 6, p. 1317-1329, 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711- 728, 2014.

AMASYALI, K.; EL-GOHARY, N. M. A review of data-driven building energy consumption prediction studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1192-1205, 2018.

ASHRAE 90.1-2022. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1–2022. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, ASHRAE: Nova York, Estados Unidos, 2022.

BALOCCO, C.; LEONCINI, L. Energy cost for effective ventilation and air quality for healthy buildings: Plant proposals for a historic building school reopening in the COVID-19 era. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 1-16, 2020.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 9 ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2019.

BERNARDO, H.; GASPAR, A.; ANTUNES, C. H. A Combined Value Focused Thinking-Soft Systems Methodology Approach to Structure Decision Support for Energy Performance Assessment of School Buildings. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 1-19, 2018.

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

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. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Mapping failures in energy and environmental performance of buildings. **Energy and Buildings**, v. 158, p.476-485, 2018.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação. **São Paulo: CBCS**, 2014b.

BRASIL. Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n.10.295, de 17 de outubro de 2001. Estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2001a.

BRASIL. Decreto 9.741 de 29 de março de 2019. Estabelece programação orçamentária e financeira. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2019.

BRASIL. Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001. Estabelece Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2001b.

BURATTI, C.; BARBANERA, M.; PALLADINO, D. An original tool for checking energy performance and certification of buildings by means of Artificial Neural Networks. **Applied Energy**, v. 120, p. 125-132, 2014.

BURMAN, E.; HONG, S.-M.; PATERSON, G.; KIMPIAN, J.; MUMOVIC, D. A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 2 - Bottom-up approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 2, p. 247-261, 2014.

CBCS. **Desempenho Energético Operacional em Edificações**. Disponível em: < <http://www.cbcs.org.br/website/benchmarking-energia/show.asp>> Acesso em 01 de mar. de 2022.

CBCS. **Ficha Técnica**: Equações de benchmark – Tipologia Escola de Ensino Infantil. 2021. Disponível em: < <https://plataformadeo.cbcs.org.br/escola-de-ensino-infantil>> Acesso em 23 de ago. de 2023a.

CBCS. **Ficha Técnica**: Equações de benchmark – Tipologia Escola de Ensino Fundamental e Médio. 2021. Disponível em: <<https://plataformadeo.cbcs.org.br/pdf/T11-Escolas-de-Ensino-Fundamental-e-Medio.pdf>> Acesso em 23 de ago. de 2023b.

CBN. **22 escolas municipais de Londrina estão em reforma para a volta às aulas**. 2017. Disponível em: < <https://cblondrina.com.br/materias/22-escolas-municipais-de-londrina-estao-em-reforma-para-a-volta-as-aulas>> Acesso em 22 de jun. de 2024.

CHANG, C.; ZHU, N.; YANG, K. Using a novel method to obtain heating energy benchmarks in a cold region of China for the preparation of formulating incentive energy policies. **Sustainable Cities and Society**, 56, 102101, 2020.

CHEN, S.; ZHANG, G.; XIA, X.; CHEN, Y.; SETUNGE, S.; SHI, L. The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 45, 101212, 2021.

CHIHIB, M.; SALMERÓN-MANZANO, E.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Benchmarking Energy Use at University of Almeria (Spain). **Sustainability**, v. 12, 1336, 2020.

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

CHUNG, W. Using the fuzzy linear regression method to benchmark the energy efficiency of commercial buildings. **Applied Energy**, v. 95, p. 45-49, 2012.

CUI, B.; FAN, C.; MUNK, J.; MAO, N.; XIAO, F.; DONG, J.; KURUGANTI, T. A hybrid building thermal modeling approach for predicting temperatures in typical, detached, two-story houses. **Applied Energy**, v. 236, p. 101-116, 2019.

DAHLAN, N. Y.; MOHAMED, H.; KAMALUDDIN, K. A.; RAHMAN, N. M.A.; REIMANN, G.; CHIA, J.; IHHAM, N. I. Energy Star based benchmarking model for

Malaysian Government hospitals - A qualitative and quantitative approach to assess energy performances. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 103460, 2022.

DALL'O', G.; SARTO, L. Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 298-308, 2013.

DANTAS, R. A. **Engenharia de avaliações**: uma introdução à metodologia científica. 1ª Ed. São Paulo: Pini, 2012.

DEC. Consulta ao **site Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)**. Disponível em <<https://www.cibsecertification.co.uk/personnel-certification/about-energy-certificates/display-energy-certificates/>> Acesso em 19 de jul. 2022.

DING, Y.; LIU, X. A comparative analysis of data-driven methods in building energy benchmarking. **Energy and Buildings**, v. 209, 109711, 2020.

DING, Y.; ZHANG, Z.; ZHANG, Q.; LV, W.; YANG, Z.; ZHU, N. Benchmark analysis of electricity consumption for complex campus buildings in China. **Applied Thermal Engineering**, v. 131, p. 428-436, 2018.

DIXON, R. K.; MCGOWAN, E.; ONYSKO, G.; SCHEER, R. M. US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities. **Energy Policy**, v.38, p. 6398-6408, 2010.

ENERGY STAR. Environmental Protection Agency - EPA. Consulta ao site **EnergyStar® Portfolio Manager®**. Disponível em <<https://www.energystar.gov/buildings/benchmark>> Acesso em 18 de jul. 2022.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**: Ano base 2021. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em 06 ago. 2022a.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>. Acesso em 14 jul. 2022b.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>>. Acesso em 17 jul. 2023a.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em 18 set. 2023b.

EPE. **TDR nº 16 - Pesquisa do Consumo de Energia no Setor de Serviços**. 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/projeto-de-assistencia-tecnica-dos-setores-de-energia-e-mineral-projeto-meta>> Acesso em 12 fev. 2023c.

ESCRIVÁ-ESCRIVÁ, G.; ÁLVAREZ-BEL, C.; PEÑALVO-LÓPEZ, E. New indices to assess building energy efficiency at the use stage. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 476-484, 2011.

FABI, V.; ANDERSEN, R. V.; CORGNATI, S.; OLESEN, B. W. Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. **Buildings and Environment**, v. 58, p. 188-198, 2012.

FAMUYIBO, A. A.; DUFFYA, A.; STRACHAN, P. Developing archetypes for domestic dwellings-An Irish case study. **Energy and Buildings**, v. 50, p. 150-157, 2012.

FILIPSSON, P.; TRÜSCHEL, A.; GRÄSLUND, J.; DALENBÄCK, J. O. Modelling of rooms with active chilled beams. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 13, n. 4, p. 409-418, 2020.

FOSSATI, M.; SCOLCO, V. A.; LINCZUK, V. C. C.; LAMBERTS, R. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216-1231, 2016.

FOUQUET, D. Policy instruments for renewable energy – From a European perspective. **Renewable Energy**, v.49, p.15-18, 2013.

GALLI, A.; PISCITELLI, M. S.; MOSCATO, V.; CAPOZZOLI, A. Bridging the gap between complexity and interpretability of a data analytics-based process for benchmarking energy performance of buildings. **Expert Systems with Applications**, v. 206, 117649, 2022.

GAO, X.; MALKAWI, A. A new methodology for building energy performance benchmarking: An approach based on intelligent clustering algorithm. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 607-616, 2014.

GERALDI, M. S.; BAVARESCO, M.; GNECCO, V.; DALPAZ, L.; GHISI, E.; FOSSATI M. Análise estatística da intensidade do uso de energia de edificações escolares no Brasil: Proposição de benchmarking simplificado. In: **XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2021**, Palmas - TO. Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2021a.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. Building-level and Stock-level in contrast: a literature review of the energy performance of buildings during the operational stage. **Energy and Buildings**, v. 211, 109810, 2020a.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. Data-driven framework towards realistic bottom-up energy benchmarking using an Artificial Neural Network. **Applied Energy**, v. 306, n. PA, p. 117960, 2022a.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. Integrating evidence-based thermal satisfaction in energy benchmarking: A data-driven approach for a whole-building evaluation. **Energy**, v. 224, 123161, 2022b.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. Mapping the energy usage in Brazilian public schools. **Energy and Buildings**, v. 224, 1100309, 2020b.

GERALDI, M. S.; GNECCO, V.; NETO, A. B.; MARTINS, B. A. M.; GHISI, E.; FOSSATI, M.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Evaluating the impact of the shape of school reference buildings on bottom-up energy benchmarking. **Journal of Building Engineering**, v. 43, 103142, 2021b.

GERSHENFELD, N.; SAMOUHOS, S.; NORDMAN, B. Intelligent infrastructure for energy efficiency. **Science**, v. 327, p. 1086-1088, 2010.

GHAJARKHOSRAVI, M.; HUANG, Y.; FUNG, A. S.; KUMAR, R.; STRAKA, V. Energy benchmarking analysis of multi-unit residential buildings (MURBs) in Toronto, Canada. **Journal of Building Engineering**, v. 27, 100981, 2020.

GIELEN, A.; BOSHELL, F.; SAYGIN, D.; BAZILIAN, M. D.; WAGNER, N.; GORINI, R. The role of regewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategu Reviews**, v. 24, p. 38-50, 2019.

GLOBO. **Escola Municipal Maria Carmelita passa por reformas**. 2018. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/6263807/?s=0s>> Acesso em 22 de jun. de 2024.

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

GNECCO, V. M.; GERALDI, M. S.; FOSSATI, M.; MONTES, M. A. T.; GHISI, E. *Benchmarking* estatístico considerando diferentes indicadores de desempenho energético: estudo em escolas de ensino infantil de Florianópolis. In: **XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2021, Palmas. Cidades e extremos, sua relação com o ambiente construído, 2021. p. 1312-1321.

GUILLÉN, E. E.; SAMUELSON, H. W.; LAURENT J. G. C. Comparing energy and comfort metrics for building benchmarking. **Energy and Buildings**, v. 205, 109539, 2019.

HAMILTON, I.; SUMMERFIELD, A.; ORESZCZYN, T.; RUYSSSEVELT, P. Using epidemiological methods in energy and buildings research to achieve carbon emission targets. **Energy and Buildings**, v. 154, p. 188-197, 2017.

HONG, S. M.; PATERSON, G.; BURMAN, E.; STEADMAN, P.; MUMOVIC, D. A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 – Top-down approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 2, n. 2, p. 119-130, 2013.

HONG, S. M.; PATERSON, G.; MUMOVIC, D.; STEADMAN, P. Improved benchmarking comparability for energy consumption in schools. **Building Research Information**, v. 42, p. 47-61, 2014.

HONG, T.; CHEN, Y.; LUO, X.; LUO, N.; LEE, S. H. Ten questions on urban building energy modeling. **Energy and Buildings**, v. 168, p. 1-16, 2020.

HOWELLS, M.; HERMANN, S.; MANUEL WELSCH, M.; BAZILIAN, M.; SEGERSTRÖM, R.; ALFSTAD, T.; GIELEN, D.; ROGNER, H.; FISCHER, G.; VELTHUIZEN, H. V.; WIBERG, D.; YOUNG, C.; ROEHL, R. A.; MUELLER A.; STEDUTO, P.; RAMMA, I. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 621-626, 2013.

IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>> Acesso em: 17 set. 2023.

IDR-PARANÁ. **Dados Climatológicos de Londrina – anos de 2019 a 2023**. Paraná. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br>> Acesso em: 12 de dez. de 2023.

IEA. Data and statistics, 2021a. Disponível em <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel> > Acesso em: 10 jul. 2022.

IEA. **Key World Energy Statistics 2019**, 2019. Disponível em <[https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Key\\_World\\_Energy\\_Statistics\\_2019.pdf](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Key_World_Energy_Statistics_2019.pdf)> Acesso em: 10 mai. 2020.

IEA. **World Energy Balances 2021**, 2021b. Disponível em <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances> > Acesso em: 10 jan. 2023.

INEP. **Sinopse Estatística da Educação Básica 2022**. Brasília: INEP, 2023a. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/acao-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-basica>>. Acesso em: 06 de jan. de 2024.

INEP. **Sinopse Estatística da Educação Básica 2022**. Brasília: INEP, 2023b. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/acao-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-superior-graduacao>>. Acesso em: 06 de jan. de 2024.

IPARDES. **Caderno Estatístico Município de Londrina 2023**. Disponível em <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=86000&btOk=ok>> Acesso em ago. de 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global Warming of 1.5°C: Summary for policymakers**. Geneva, 2018.

ISO. **ISO 50.001**. Energy management systems - Requirements with guidance for use. Reino Unido: ISO, 2018.

JANNUZZI, G. D. M. Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. **Energy Policy**, v. 33, p. 1753-1762, 2005.

JIANG, P.; DONG, W.; KUNG, Y.; GENG, Y. Analysing co-benefits of the energy conservation and carbon reduction in China's large commercial buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 58, p. 112-120, 2013.

JIANG, P.; TOVEY, N. K. Opportunities for low carbon sustainability in large commercial buildings in China. **Energy Policy**, v. 37, p. 4949-4958, 2009.

JING, R.; WANG, M.; ZHANG, R.; LI, N.; ZHAO, Y. A study on energy performance of 30 commercial office buildings in Hong Kong. **Energy Building**, v. 144, p. 117-128, 2017.

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

KIM, D. W.; KIM, Y. M.; LEE, S. E. Development of an energy benchmarking database based on cost-effective energy performance indicators: Case study on public buildings in South Korea. **Energy and Buildings**, v. 191, p. 104-116, 2019.

KONTOKOSTA, C. E. Modeling the energy retrofit decision in commercial office buildings. **Energy and Buildings**, v. 131, p. 1-20, 2016.

LAGE, W. M.; LAGE, M. H. M.; LAGE, B. L. M. Aplicação da gestão energética como ferramenta de redução estratégica de custos nas escolas públicas municipais de Belo Horizonte/MG. In: **XXII Congresso Brasileiro de Custos, 2015**, Foz do Iguaçu- PR. Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC, 2015, 2015.

LARA, R. A.; PERNIGOTTO, G.; CAPPELLETTI, P.; ROMAGNONI, P.; GASPARELLA, A. Energy audit of schools by means of cluster analysis. **Energy and Buildings**, v. 95, p. 160-171, 2015.

LI, D. H. W.; YANG, L.; LAM, J. C. Zero energy buildings and sustainable development implications – A review. **Energy**, v. 54, p. 1-10, 2013.

LI, W.; ZHOU, Y.; CETIN, K.; EOM, J.; WANG, Y.; CHEN, G.; ZHANG, X. Modeling urban building energy use: A review of model approach and procedures. **Energy**, v. 141, n. 15, p. 2445-2457, 2017.

LI, X.; WEN, J. Review of building energy modeling for control and operation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 517-537, 2014.

LI, Z.; HAN, Y.; XU, P. Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: An overview. **Applied Energy**, v. 124, n. 1, p. 325-334, 2014.

LIU, J.; CHEN, H.; LIU, J.; LI, Z.; HUANG, R.; XING, L.; WANG, J.; LIA, G. An energy performance evaluation methodology for individual office building with dynamic energy benchmarks using limited information. **Applied Energy**, v. 206, p. 193-205, 2017.

LIZANA, J.; SERRANO-JIMENEZ, A.; ORTIZ, C.; BECERRA, J. A.; CHACARTEGUI, R. Energy assessment method towards low-carbon energy schools. **Energy**, v. 159, p. 310-326, 2018.

LONDRINA. **Balço Anual 2018-2022** - Natureza de Despesa. Prefeitura Municipal de Londrina. Disponível em: <<http://portaltransparencia.londrina.pr.gov.br:8080/transparencia/mapa>> Acesso em mar. de 2023a.

LONDRINA. **Dados das escolas municipais de Londrina 2018 a 2023**. 2023b. Documentos enviados por e-mail por [edu.estagio@londrina.pr.gov.br](mailto:edu.estagio@londrina.pr.gov.br).

LONDRINA. Histórico de Site oficial do **Município de Londrina- Secretaria Municipal de Educação de Londrina**. Disponível em <<https://portal.londrina.pr.gov.br/paginas/conteudo/secretarias/sec-educacao>>. Acesso em: 15 de mar. 2023c.

LONDRINA. **Site Secretaria de Educação de Londrina**. Prefeitura Municipal de Londrina. Disponível em < <https://portal.londrina.pr.gov.br/todos-artigos/secretarias/sec-educacao>> Acesso em jan. de 2023d.

LONDRINATUR. **Prefeitura de Londrina investe quase R\$ 70 milhões em obras para Educação**. 2021. Disponível em: <<https://www.londrinatur.com.br/noticia/prefeitura-de-londrina-investe-quase-r-70-milhoes-em-obras-para-educacao/>> Acesso em 22 de jun. de 2024.

MARRONE, P.; GORI, P.; ASDRUBALI, F.; EVANGELISTI, L.; CALCAGNINI, L.; GRAZIESCHI, G. Energy Benchmarking in Educational Buildings through Cluster Analysis of Energy Retrofitting. **Energies**, v. 11, p. 1-20, 2018.

MATA, É.; KALAGASIDIS, A. S.; JOHNSON, F. Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK. **Building and Environment**, v. 81, p. 270-282, 2014.

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

MONTGOMERY, C. D. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro/RJ: LTC, 2008.

MYLONAS, G.; AMAXILATIS, D.; TSAMPAS, S.; POCERO, L. A Methodology for Saving Energy in Educational Buildings Using an IoT Infrastructure. 10th International Conference on Information, Intelligence, **Systems and Applications**, IISA 2019, IISA, 2019.

NABERS. Consulta ao site **Nabers**. Disponível em <<https://www.nabers.gov.au/>> Acesso em 19 de jul. 2022.

NAGELER, P.; KOCH, A.; MAUTHNER, F.; LEUSBROCK, I.; MACH, T.; HOCHENAUER, C.; HEIMRATH, R. Comparison of dynamic urban building energy models (UBEM): Sigmoid energy signature and physical modelling approach. **Energy and Buildings**, v. 179, p. 333-343, 2018.

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, p. 1-22, 2019.

NIKOLAOU, T.; KOLOKOTSA, D.; STAVRAKAKIS, G. Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings. **Advances in Building Energy Research**, v. 5, p. 53-70, 2011.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2019. 210 p.

NOUVEL, R.; MASCTRUCCI, A.; LEOPOLD, U.; BAUME, O.; COORS, V.; EICKER, U. Combining GIS-based statistical and engineering urban heat consumption models: Towards a new framework for multi-scale policy support. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 204-212, 2015.

Ó BROIN, E.; MATA, E.; GÖRANSSON, A.; JOHNSON, F. The effect of improved efficiency on energy savings in EU-27 buildings. **Energy**, v. 57, p. 134-148, 2013.

OMER, A. M. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 9, p. 2265-2300, 2008.

ÖSTERBRING, M.; MATA, E.; THUVANDER, L.; MANGOLD, M.; JOHNSON, F.; WALLBAUM, H. A differentiated description of building-stocks for a georeferenced urban bottom-up building-stock model. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 78-84, 2016.

OTTO, A.; GÖPFERT, C.; THIEKEN, A. H. Are cities prepared for climate change? An analysis of adaptation readiness in 104 German cities. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. v. 8, p. 26-35, 2021.

OUF, M. M.; ISSA, M. H. Energy consumption analysis of school buildings in Manitoba, Canada. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6 n. 2, p. 359-371, 2017.

PALMER, K.; WALLS, M. Can Benchmarking and Disclosure Laws Provide Incentives for Energy Efficiency Improvements in Buildings? **Resources for the Future Discussion Paper**, n. 15-09, 2015.

PAPADOPOULOS, A. M.; AVGELIS, A. Indoor environmental quality in naturally ventilated office buildings and its impact on their energy performance. **International Journal of Ventilation**, v. 2, n. 3, p. 203-212, 2003.

PAPADOPOULOS, S.; BONCZAK, B.; KONTOKOSTA, C. Pattern recognition in building energy performance over time using energy benchmarking data. **Applied Energy**, v. 221, p. 576-586, 2018.

PAPADOPOULOS, S.; KONTOKOSTA, C. E. Grading buildings on energy performance using city benchmarking data. **Applied Energy**, p. 233-234, 2019.

PEREIRA, L. D.; RAIMONDO, D.; CORGNATI, S. P.; SILVA, M. G. Energy consumption in schools - A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 911-922, 2014.

PÉREZ-LOMBARD, L. P.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 394-398, 2008.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ-FALCÓN, R.; MAESTRE, I. M. A review of benchmarking, rating and labeling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 272-278, 2009.

PML. **Prefeitura constrói nova Escola Nina Gardemann para substituir estrutura em madeira**. 2024. Disponível em:

<<https://blog.londrina.pr.gov.br/?p=174378#:~:text=A%20Prefeitura%20de%20Londrina%2C%20por,ainda%20possu%C3%ADa%20estrutura%20em%20madeira>>  
Acesso em 22 de jun. de 2024.

PML. **Prefeitura de Londrina vai inaugurar três obras da Educação até outubro.** 2021. Disponível em:  
<<https://blog.londrina.pr.gov.br/?p=108677#:~:text=Com%20obras%20em%20fase%20final,a%20reforma%20da%20Maternidade%20Municipal>> Acesso em 22 de jun. de 2024.

PML. **Prefeitura realiza obras em 18 escolas municipais.** 2009. Disponível em:  
<<https://blog.londrina.pr.gov.br/?p=5825>> Acesso em 22 de jun. de 2024.

PML. **Prefeitura vai construir cinco novas escolas para substituir unidades de madeira.** 2023. Disponível em:  
<<https://blog.londrina.pr.gov.br/?p=169453#:~:text=As%20licita%C3%A7%C3%B5es%20j%C3%A1%20est%C3%A3o%20abertas,duas%20da%20d%C3%A9cada%20de%2080&text=A%20Prefeitura%20de%20Londrina%20vai,atualmente%20t%C3%AAm%20estrutura%20de%20madeira>> Acesso em 22 de jun. de 2024.

PROCEL. **DEO: Desempenho Energético Operacional.** Disponível em: <  
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B802B0029-14D0-4BD8-A9C0-EE7B1D8B8A73%7D#>> Acesso em 03 de mar. de 2023.

PROJETEEE. **Dados Climáticos de Londrina** em: <  
[http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos/?cidade=PR+-Londrina&id\\_cidade=bra\\_pr\\_londrina.837680\\_inmet](http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos/?cidade=PR+-Londrina&id_cidade=bra_pr_londrina.837680_inmet)> Acesso em 03 de jan. de 2024.

QUEVEDO, T. C.; GERALDI, M. S.; MELO, A. P. Applying machine learning to develop energy benchmarking for university buildings in Brazil. **Journal of Building Engineering**, v. 63, 105468, 2023.

REINHART, C. F., DAVILA, C. C. Urban building energy modeling - A review of a nascent field. **Building and Environment**, v. 97, n. 15, p. 196-202, 2016.

REIS, E.; MELO, P.; ANDRADE, R.; CALAPEZ, T. **Estatística Aplicada**. 1. 6ª Edição. Lisboa: Sílabo, 2015.

RODRIGUES, T. T. V.; CARLO, J. C. MO Modelo representativo para a tipologia de supermercados de médio porte na região Sudeste do Brasil. In: **XIX ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2022, Canela - RS. Anais do XIX Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 2022.

ROSA, M.; BIANCO, V.; SCARPA, F.; TAGLIAFICO, L. A. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach. **Applied Energy**, v.53, p. 1032-1045, 2014.

RUPARATHNA, R.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. Improving the energy efficiency of the existing building stock: A critical review of commercial and institutional buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.53, p. 1032-1045, 2016.

SAIDEL, M. A.; FAVATO, L. B. Gestão pública de energia elétrica: o programa permanente para o uso eficiente de energia na USP. 2007, **Anais**. Vitória: Associação Brasileira de Eficiência Energética, 2007.

SANTAMOURIS, M. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 100–113, 2014.

SARAIVA, T. S.; SILVA, E. M.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. Comparative Study of Comfort Indicators for School Constructions in Sustainability Methodologies: Schools in the Amazon and the Southeast Region of Brazil. **Sustainability**, v. 11, p. 1-14, 2019.

SCHAEFER, A.; GHISI, E. Method for obtaining reference buildings. **Energy and Buildings**, v. 128, n. 15, p. 66-672, 2016.

SEKKI, Tiina; AIRAKSINEN, Miimu; SAARI, Arto. Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 105–115, 2015.

SHENG, Y.; MIAO, Z.; ZHANG, J.; LIN, X. MA, H. Energy consumption model and energy benchmarks of five-star hotels in China. **Energy and Buildings**, v. 165, p. 286-292, 2018.

SILVA, S. A. P. **Manual do usuário TS-Sisreg**: Sistema de regressão- versão 1.2.3. Porto Alegre, 2005, 66 p.

SINGH, M. K. OOKA R.; RIJAL, H. B; KUMAR, S. KUMAR A.; MAHAPATRAG S. Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. **Energy and Buildings**, v. 188-189, p. 149-174, 2019.

SOLEIMANI-MOHSENI, M.; NAIR, G.; HASSELROT, R. Energy simulation for a high-rise building using IDA ICE: Investigations indiferente climates. **Building Simulation**, v. 9, n. 6, p. 629-640, 2016.

STANKOVIC, D. Psycho-developing needs of children and spatial features for children's stay. **Architecture and Civil Engineering**, v. 5, n. 1, p. 71-75, 2007.

STANKOVIC, D.; TANIC, M.; KOSTIC, A.; VRECIC, S.; KEKOVIC, A.; CEKIC, N., NIKOLIC, V.; VRECIC, S. Resurgence of Indoor Environment of Preschool Building. **Procedia Engineering**, v. 117, p. 737-750, 2015.

SUN, F.; YU, J. Improved energy performance evaluating and ranking approach for office buildings using Simple-normalization, Entropy-based TOPSIS and K-means method. **Energy Reports**, 7, p. 1560-157, 2021.

SWAN, L. G.; UGURSAL, I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 1819-1835, 2009.

TANVEER, A.; HUANXIU, C.; YABIN, G.; JIANGYU, W. A comprehensive overview on the data driven and large scale based approaches for forecasting of building energy demand: A review. **Energy and Buildings**, v. 165, p. 301-320, 2018.

TAYLOR, J.; LIU, Y.; LIN, B.; BURMAN, E.; HONG, S.; YU, J.; WANG, Z.; MUMOVIC, D.; SHRUBSOLE, C.; VERMEER, D.; DAVIES, M. Towards a framework to evaluate the “total” performance of buildings. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 39, n. 5, p. 609-631, 2018.

THEWES, A.; MAAS, S.; SCHOLZEN, F.; WALDMANN, D.; ZÜRBE, A. Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg. **Energy and Buildings**, v. 68, p. 460-470, 2014.

TIMMA, L.; SKUDRITIS, R.; BLUMBERGA, D. Benchmarking analysis of energy consumption in supermarkets. **Energy Procedia**, v. 95, p. 435-438, 2016.

TS-SISREG. Sistema de Regressão Múltipla. Versão 1.6.8: Tecsys Engenharia, 2017.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2022, 2022**. Disponível em <<https://www.un.org/ht/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100>> Acesso em: 12 mar. 2023.

VAISI, S.; FIROUZI, M.; VARMAZYARI, P. Energy benchmarking for secondary school buildings, applying the Top-Down approach. **Energy and Buildings**, v. 279, 112689, 2023.

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

VELOSO, A. C. O.; FILHO, C. R. A.; SOUZA, R. V. G. S. The potential of mixed-mode ventilation in office buildings in mild temperate climates: An energy benchmarking analysis. **Energy and Buildings**, v. 297, 113445, 2023.

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.

VELOSO, A. C.; DEGANI, C.; MELO, A. P.; AMARAL, D.; LETTI, A.; KANASHIRO, E.; CURSINO, A.; LAMBERTS, R.; SUIZU, C.; MOURA, K. **Relatório interno: Convênio de cooperação técnico-financeira entre a Eletrobrás e o CBCS**,

**destinado ao desenvolvimento de benchmarks energéticos no âmbito do PROCEL: Relatório elaborado pelos colaboradores do CBCS, 2021.**

WANG, E.; SHEN, Z.; ALP, N.; BARRY, N. Benchmarking energy performance of residential buildings using two-stage multifactor data envelopment analysis with degree-day based simple-normalization approach. **Energy Conversion and Management**, v. 106, p. 530-542, 2015.

WANG, J. C. Analysis of energy use intensity and greenhouse gas emissions for universities in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, 118363, 2019a.

WANG, J. C. Energy consumption in elementary and high schools in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1107-1116, 2019b.

WANG, N.; GOEL, S.; MAKHMALBAF, A.; LONG, N. Development of building energy asset rating using stock modelling in the USA. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 11, p. 4-18, 2016.

WANG, S.; YAN, C. XIAO, F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 873-888, 2012.

WILDE, P. Building Performance Analysis. **John Wiley & Sons, Ltd** 2018.

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

WRI BRASIL. **4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor**. Disponível em: < <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>> Acesso em 15 de jun. 2023.

YANG, Z.; ROTH, J.; JAIN, R. K. DUE-B: Data-driven urban energy benchmarking of buildings using recursive partitioning and stochastic frontier analysis. **Energy and buildings**, v. 163, p. 58-69, 2018.

YIBO, C.; HPMGWEI, T.; BERNARDI, U. A data-driven approach for building energy benchmarking using the Lorenz curve. **Energy and Buildings**, v. 169, p. 319-331, 2018.

ZAJACS, A.; BORODINECS, A. Assessment of development scenarios of district heating systems. **Sustainable Cities and Society**, v. 48, p. 1-12, 2019.

ZERROUG, A.; DZELZITIS, E. A Study of Modeling Techniques of Building Energy Consumption. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 10, p. 5191-5194, 2020.

ZHANG, L.; WEN, J. A systematic feature selection procedure for short-term data-driven building energy forecasting model development. **Energy and Buildings**, v. 183, n. 15, p. 428-442, 2019.

ZHANG, Y.; O'NEILL, Z.; DONG, B.; AUGENBROE, G. Comparisons of inverse modeling approaches for predicting building energy performance. **Building and Environment**, v. 86, p. 177-190, 2015.

ZHAO, D.; MIOTTO, A. B.; SYAL, M.; CHEN, J. Framework for Benchmarking green building movement: a case of Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 48, 101545, 2019.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Classificação de Desempenho Energético

PARÂMETROS				CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR ÁREA (kWh/área/ano)						CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR USUÁRIO (kWh/Usuário/ano)					
				VALOR CALCULADO			VALOR OBSERVADO			VALOR CALCULADO			VALOR OBSERVADO		
Un.	Id.	Valor Observado (kWh/ano)	Valor Calculado (kWh/ano)	EUI	DP	Class.	EUI	DP	Class.	EUI	DP	Class.	EUI	DP	Class.
C1	10	10.485,00	7.363,30	16,33	-0,60	B	23,26	0,32	C	75,14	0,44	C	106,99	2,80	E
C2	9	17.614,00	19.781,42	32,39	1,54	E	28,84	1,07	D	75,50	0,47	C	67,23	-0,14	C
C3	2	12.129,00	10.538,50	11,84	-1,20	B	13,62	-0,96	B	101,33	2,38	E	116,63	3,51	E
C4	26	10.527,00	7.288,70	12,87	-1,06	B	18,59	-0,30	C	63,94	-0,38	C	92,34	1,72	E
C5	7	14.159,00	25.090,67	11,86	-1,19	B	6,70	-1,88	A	88,66	1,44	D	50,03	-1,41	B
C6	8	17.659,00	14.874,17	23,92	0,41	C	28,40	1,01	D	83,56	1,07	D	99,21	2,22	E
C7	2	17.015,00	13.852,57	15,56	-0,70	B	19,11	-0,23	C	73,29	0,31	C	90,03	1,54	E
C8	22	15.083,00	14.128,37	23,01	0,29	C	24,57	0,50	C	73,59	0,33	C	78,56	0,70	D
C9	26	6.671,00	9.538,55	24,75	0,52	D	17,31	-0,47	C	97,33	2,08	E	68,07	-0,08	C
C10	10	9.425,00	11.303,14	28,47	1,02	D	23,74	0,39	C	92,65	1,74	E	77,25	0,60	D
C11	6	8.148,00	8.118,09	10,60	-1,36	B	10,63	-1,36	B	79,59	0,77	D	79,88	0,79	D
C12	9	19.298,00	18.596,29	17,84	-0,40	C	18,51	-0,31	C	70,17	0,08	C	72,82	0,27	C
C13	10	5.213,00	3.690,24	8,76	-1,61	A	12,38	-1,13	B	54,27	-1,10	B	76,66	0,56	D
C14	26	24.202,00	16.752,84	22,23	0,19	C	32,11	1,50	E	70,69	0,11	C	102,12	2,44	E
C15	8	27.749,00	18.057,12	15,02	-0,77	B	23,09	0,30	C	72,52	0,25	C	111,44	3,13	E
C16	11	11.661,00	14.125,96	25,93	0,68	D	21,41	0,08	C	77,62	0,63	D	64,07	-0,37	C
C17	28	15.843,00	13.357,28	19,40	-0,19	C	23,01	0,29	C	77,21	0,60	D	91,58	1,66	E
C18	10	24.009,00	17.530,94	14,59	-0,83	B	19,98	-0,11	C	76,89	0,57	D	105,30	2,67	E
C19	28	10.597,00	7.933,75	11,87	-1,19	B	15,85	-0,66	B	74,15	0,37	C	99,04	2,21	E
C20	9	15.735,00	15.216,86	21,76	0,12	C	22,50	0,22	C	74,96	0,43	C	77,51	0,62	D
C21	10	11.231,00	12.859,61	26,16	0,71	D	22,84	0,27	C	82,43	0,98	D	71,99	0,21	C
C22	9	8.331,00	6.171,76	20,35	-0,06	C	27,47	0,89	D	86,93	1,32	D	117,34	3,56	E
C23	8	9.689,00	12.070,35	19,57	-0,17	C	15,71	-0,68	B	78,89	0,72	D	63,33	-0,43	C
C24	7	21.161,00	21.551,57	33,91	1,74	E	33,30	1,66	E	80,42	0,83	D	78,96	0,73	D
C25	6	14.859,00	18.607,43	15,48	-0,71	B	12,36	-1,13	B	82,33	0,98	D	65,75	-0,25	C
C26	6	8.661,00	12.921,39	21,05	0,03	C	14,11	-0,89	B	75,56	0,48	C	50,65	-1,37	B
C28	6	3.974,00	17.910,61	14,90	-0,79	B	3,31	-2,33	A	74,63	0,41	C	16,56	-3,89	A
C29	8	20.137,00	18.582,48	15,46	-0,72	B	16,75	-0,54	B	66,60	-0,19	C	72,18	0,22	C
C30	10	24.003,00	20.139,59	16,76	-0,54	B	19,97	-0,11	C	66,03	-0,23	C	78,70	0,71	D
C31	22	13.807,00	14.257,95	31,95	1,48	D	30,94	1,35	D	88,01	1,40	D	85,23	1,19	D
E1	1	39.074,00	43.674,23	27,23	0,85	D	24,36	0,47	C	52,81	-1,21	B	47,25	-1,62	A
E2	40	29.388,00	25.075,26	18,86	-0,26	C	22,11	0,17	C	61,16	-0,59	B	71,68	0,19	C
E3	56	3.750,00	13.023,95	19,36	-0,20	C	5,58	-2,03	A	69,28	0,01	C	19,95	-3,64	A
E4	72	18.450,00	17.328,38	21,86	0,14	C	23,28	0,33	C	65,89	-0,24	C	70,15	0,08	C
E5	37	16.691,00	16.507,55	13,77	-0,94	B	13,92	-0,92	B	88,75	1,45	D	89,74	1,52	E
E6	42	20.157,00	29.030,34	13,30	-1,00	B	9,23	-1,55	A	84,39	1,13	D	58,60	-0,78	B
E7	37	19.307,00	18.452,18	13,23	-1,01	B	13,84	-0,93	B	73,22	0,30	C	76,62	0,55	D
E8	12	23.413,00	29.805,57	18,47	-0,31	C	14,51	-0,84	B	49,43	-1,46	B	38,83	-2,24	A
E9	21	27.376,00	37.921,28	22,16	0,18	C	16,00	-0,64	B	50,43	-1,38	B	36,40	-2,42	A
E10	30	18.277,00	26.281,50	15,04	-0,77	B	10,46	-1,38	B	74,03	0,36	C	51,48	-1,30	B
E11	68	11.048,00	13.772,62	11,80	-1,20	B	9,47	-1,51	A	73,65	0,33	C	59,08	-0,74	B
E12	46	20.623,00	22.806,29	16,72	-0,55	B	15,26	-0,74	B	63,32	-0,43	C	57,77	-0,84	B
E13	45	26.609,00	32.659,87	17,58	-0,43	C	14,32	-0,87	B	56,70	-0,92	B	46,20	-1,70	A
E14	62	19.543,00	23.604,72	20,29	-0,07	C	16,80	-0,54	B	59,61	-0,70	B	49,35	-1,46	B
E15	51	31.944,00	46.930,69	14,30	-0,87	B	9,73	-1,48	B	57,58	-0,85	B	39,20	-2,21	A
E16	50	15.950,00	20.828,97	12,07	-1,17	B	9,24	-1,54	A	85,02	1,17	D	65,10	-0,30	C
E17	34	33.445,00	32.343,88	15,57	-0,70	B	16,10	-0,63	B	57,65	-0,85	B	59,62	-0,70	B
E18	38	19.666,00	26.436,27	23,99	0,42	C	17,85	-0,40	C	58,62	-0,78	B	43,61	-1,89	A
E19	38	34.507,00	26.243,50	18,76	-0,28	C	24,67	0,51	D	56,08	-0,97	B	73,73	0,34	C
E20	37	20.084,00	8.421,39	11,27	-1,27	B	26,88	0,81	D	61,92	-0,53	B	147,68	5,81	E
E21	51	15.373,00	24.025,50	43,20	2,98	E	27,64	0,91	D	88,33	1,42	D	56,52	-0,93	B
E22	9	13.498,00	15.276,54	30,28	1,26	D	26,76	0,79	D	81,69	0,93	D	72,18	0,23	C
E23	50	19.764,00	18.530,64	16,84	-0,53	B	17,96	-0,38	C	68,13	-0,07	C	72,66	0,26	C
E24	55	34.517,00	39.546,67	17,76	-0,41	C	15,50	-0,71	B	45,40	-1,75	A	39,63	-2,18	A
E25	2	19.482,00	21.726,60	13,75	-0,94	B	12,33	-1,13	B	71,00	0,14	C	63,67	-0,40	C
E26	41	21.107,00	21.461,26	18,21	-0,35	C	17,91	-0,39	C	68,13	-0,07	C	67,01	-0,16	C
E27	38	32.455,00	41.188,53	39,15	2,44	E	30,85	1,34	D	61,29	-0,58	B	48,30	-1,54	A
E28	26	17.753,00	24.991,86	31,98	1,49	D	22,72	0,25	C	69,42	0,02	C	49,31	-1,47	B
E29	22	11.425,00	6.907,58	12,50	-1,11	B	20,67	-0,02	C	67,06	-0,15	C	110,92	3,09	E
E30	33	48.192,00	40.302,95	21,91	0,14	C	26,20	0,72	D	50,44	-1,38	B	60,32	-0,65	B
E31	42	24.797,00	24.468,99	17,62	-0,43	C	17,86	-0,40	C	59,25	-0,73	B	60,04	-0,67	B
E32	9	14.648,00	19.695,45	29,78	1,19	D	22,15	0,18	C	80,06	0,81	D	59,54	-0,71	B
E33	51	35.928,00	26.131,42	20,42	-0,05	C	28,07	0,97	D	58,85	-0,76	B	80,92	0,87	D
E34	9	34.517,00	20.893,00	17,56	-0,44	C	29,01	1,09	D	76,53	0,55	D	126,44	4,24	E
E35	47	15.321,00	28.415,08	23,19	0,32	C	12,51	-1,11	B	56,05	-0,97	B	30,22	-2,88	A
E36	41	57.696,00	44.219,97	17,62	-0,43	C	22,99	0,29	C	45,82	-1,72	A	59,79	-0,69	B
E37	26	21.085,00	23.136,48	15,81	-0,67	B	14,41	-0,86	B	84,13	1,11	D	76,67	0,56	D
E38	11	18.221,00	9.954,82	12,36	-1,13	B	22,62	0,24	C	68,65	-0,04	C	125,66	4,18	E
E39	53	27.986,00	25.102,74	23,40	0,34	C	26,09	0,70	D	64,20	-0,36	C	71,58	0,18	C
E40	5	32.388,00	35.227,46	24,46	0,48	C	22,49	0,22	C	47,93	-1,57	A	44,07	-1,85	A
E41	38	49.509,00	38.565,31	20,81	-0,00	C	26,71	0,78	D	49,38	-1,46	B	63,39	-0,42	C
E42	26	18.801,00	19.684,68	14,11	-0,90	B	13,48	-0,98	B	69,56	0,03	C	66,43	-0,20	C
E43	54	44.801,00	35.099,50	33,70	1,72	E	43,02	2,96	E	57,17	-0,88	B	72,97	0,28	C
E44	25	37.179,00	32.737,47	13,82	-0,93	B	15,70	-0,68	B	82,46	0,99	D	93,65	1,81	E
E45	11	20.482,00	24.454,97	44,37	3,14	E	37,16	2,18	E	82,62	1,00	D	69,20	0,00	C
E46	18	36.727,00	33.861,57	22,00	0,16	C	23,86	0,40	C	50,62	-1,37	B	54,90	-1,05	B
E47	42	39.583,00	33.826,24	22,39	0,21	C	26,20	0,72	D	47,44	-1,60	A	55,52	-1,01	B
E48	54	30.471,00	31.344,37	17,67	-0,42	C	17,18	-0,49	C	54,89	-1,05	B	53,36	-1,17	B
E49	52	21.435,00	24.657,60	22,21	0,18	C	19,31	-0,20	C	69,26	0,01	C	60,21	-0,66	B
E50	77	15.765,00	18.558,31	13,32	-1,00	B	11,32	-1,27	B	73,35	0,31	C	62,31	-0,50	B
E51	52	40.336,00	35.530,91	22,31	0,20	C	25,33	0,60	D	50,18	-1,40	B	56,97	-0,90	B
E52	1	36.999,00	24.723,81	12,76	-1,08	B	19,09	-0,23	C	74,69	0,41	C	111,78	3,15	E
CE2	28	72.635,00	72.383,96	47,77	3,59	E	47,94	3,61	E	78,42	0,69	D	78,69	0,71	D
E53	23	20.724,00	23.877,80	16,26	-0,61	B	14,11	-0,89	B	65,78	-0,25	C	57,09	-0,89	B

E59	55	11.803,00	13.457,86	16,61	-0,56	B	14,57	-0,83	B	76,03	0,51	D	66,68	-0,18	C
E60	37	38.079,00	32.727,31	20,03	-0,11	C	23,30	0,33	C	51,30	-1,32	B	59,68	-0,70	B
E61	42	38.347,00	29.954,49	29,23	1,12	D	37,42	2,21	E	58,97	-0,75	B	75,49	0,47	C
E62	38	53.173,00	42.494,93	26,03	0,69	D	32,57	1,56	E	46,85	-1,65	A	58,63	-0,78	B
E63	42	14.465,00	18.879,16	24,70	0,52	D	18,92	-0,25	C	71,24	0,16	C	54,58	-1,08	B
E64	42	33.640,00	31.735,69	25,02	0,56	D	26,52	0,76	D	51,94	-1,27	B	55,06	-1,04	B
E65	42	29.252,00	24.195,32	28,86	1,07	D	34,89	1,87	E	67,21	-0,14	C	81,26	0,90	D
E66	42	18.031,00	22.010,01	34,30	1,79	E	28,10	0,97	D	81,22	0,89	D	66,54	-0,19	C
E67	26	30.159,00	33.819,11	23,26	0,32	C	20,74	-0,01	C	52,76	-1,21	B	47,05	-1,63	A
E68	54	47.815,00	38.598,20	32,24	1,52	E	39,77	2,52	E	53,09	-1,19	B	65,50	-0,27	C
E69	26	21.306,00	23.833,46	23,48	0,35	C	20,99	0,02	C	75,42	0,46	C	67,42	-0,13	C
E70	52	26.631,00	20.779,13	14,59	-0,83	B	18,69	-0,28	C	67,46	-0,12	C	86,46	1,28	D
E71	74	22.335,00	27.740,40	22,23	0,19	C	17,90	-0,39	C	57,20	-0,88	B	46,05	-1,71	A
E72	33	19.367,00	22.400,28	22,55	0,23	C	19,50	-0,18	C	66,87	-0,17	C	57,81	-0,84	B
E73	1	29.281,00	54.798,50	13,16	-1,02	B	7,03	-1,84	A	125,40	4,16	E	67,00	-0,16	C
E74	9	41.550,00	31.115,80	18,08	-0,37	C	24,14	0,44	C	58,71	-0,77	B	78,40	0,68	D
E75	20	21.293,00	22.151,59	20,95	0,02	C	20,14	-0,09	C	69,88	0,05	C	67,17	-0,15	C
E76	42	32.949,00	35.845,25	18,19	-0,35	C	16,72	-0,55	B	51,28	-1,32	B	47,14	-1,63	A
E77	42	23.915,00	28.322,93	17,07	-0,50	B	14,42	-0,85	B	61,31	-0,58	B	51,76	-1,28	B
E78	27	53.952,00	30.607,16	14,27	-0,87	B	25,15	0,58	D	72,87	0,28	C	128,46	4,39	E
E79	77	10.590,00	16.260,18	28,11	0,97	D	18,31	-0,34	C	80,90	0,87	D	52,69	-1,22	B
E80	26	25.369,00	23.754,56	18,17	-0,35	C	19,40	-0,19	C	57,52	-0,86	B	61,43	-0,57	B
E81	54	12.142,00	19.695,29	34,15	1,77	E	21,05	0,03	C	77,24	0,60	D	47,62	-1,59	A
E82	21	18.005,00	28.147,01	15,11	-0,76	B	9,66	-1,49	B	69,84	0,05	C	44,68	-1,81	A
E83	7	22.302,00	30.000,46	32,59	1,57	E	24,22	0,45	C	73,89	0,35	C	54,93	-1,05	B
E84	38	8.810,00	8.128,77	25,94	0,68	D	28,11	0,97	D	91,33	1,64	E	98,99	2,21	E
CE1	26	93.130,00	78.080,57	14,81	-0,80	B	17,67	-0,42	C	82,54	0,99	D	98,45	2,17	E

**Observação 1:**

Un. – Unidade Escolar; Id. – Idade da Edificação; EUI- Intensidade de Uso de Energia; DP- Desvio Padrão e Class. – Classificação Energética