BENCHMARKING ESTATÍSTICO CONSIDERANDO DIFERENTES INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO: ESTUDO EM ESCOLAS DE ENSINO INFANTIL DE FLORIANÓPOLIS

Veronica Gnecco (1); Matheus Geraldi (2); Michele Fossati (3); Maria Andrea Triana (4); Enedir Ghisi (5)

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, veronicamgnecco@gmail.com

(2) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, matheus.s.geraldi@gmail.com

(3) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, michele.fossati@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

(4) Doutora, Arquiteta, mandreat@hotmail.com

(5) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

RESUMO

Escolas de ensino infantil são edificações de baixa complexidade e importantes para a estruturação das comunidades, com gasto energético representativo a nível municipal. A classificação do desempenho energético dessas edificações auxilia na escolha de estratégias de eficiência energética a serem implementadas. Esse artigo tem como objetivo analisar a classificação energética de edificações de ensino infantil de Florianópolis por meio de dois indicadores: (1) consumo energético anual por área e (2) consumo energético anual por número de alunos. As escolas de ensino infantil foram classificadas em uma escala de A até E, considerando um método de *benchmarking* estatístico. Os resultados mostraram que a amostra classificada pelo indicador relativo à área adequou-se melhor à distribuição normal e teve menor desvio padrão. Para a utilização do indicador relativo ao número de alunos, deve-se realizar uma calibração dos dados, considerando alunos em período integral e meio período de maneira específica. Ao se analisar uma edificação em específico, deve-se interpretar os resultados dos dois indicadores em conjunto, pois mesmo com área e número de alunos reduzidos existe o Consumo Energético Basal para o funcionamento da edificação, também influente na sua classificação. Antes da escolha do indicador a ser utilizado em um estudo, é recomendável o conhecimento do estoque e do objetivo das análises que serão feitas e, caso seja prevista a implementação de estratégias de eficiência energética, um estudo individualizado do projeto.

Palavras-chave: *Benchmarking*. Escala de Desempenho Energético. Intensidade de Uso Energético.

ABSTRACT

Kindergarten schools are low-complex buildings which represents a significative share of energy consumption for the municipal administration. Labelling the energy performance of these buildings helps to choose the energy efficiency strategies to be implemented. This article aims to analyse the energy classification of kindergarten buildings in Florianópolis, using two indicators: (1) annual energy consumption per floor-plan area and (2) annual energy consumption per number of students. The buildings were rated on a scale from A to E, considering a statistical benchmarking method and the two performance indicators tested. The results showed that the sample classified according to the floor-plan area was better adapted to the normal distribution and had lower standard deviation. As for the indicator related to the number of students, data calibration must be performed, considering full-time and part-time students in a specific way. When analysing a specific building, the results of both indicators must be interpreted together, because even with a reduced floor-plan area or number of students, there is a Basal Energy Consumption for the building to function, which also influences this classification. Before choosing the indicator to be used for further studies, it is recommended to know the building stock and the objective of the analyses and, if it is meant to implement energy efficiency strategies, an individualized study of the building should be carried out.

Keywords: Benchmarking. Energy Performance Labelling. Energy Use Intensity.

1. INTRODUÇÃO

As edificações representaram 52% do total de energia elétrica consumida no Brasil em 2019, sendo 8,5% edificações públicas (EPE, 2020). As escolas públicas são edificações de baixa complexidade pelos sistemas que as compõem. Essas edificações servem como estrutura de comunicação com alunos e suas famílias (EPBD, 2016) e possuem grande representatividade no consumo energético do município, pelo número de unidades existentes (CBCS, 2018). Em Florianópolis, por exemplo, 36,64% do consumo energético total das edificações da administração municipal em 2018 ocorreu em escolas infantis e básicas.

Projetos de escolas de ensino infantil devem considerar aspectos específicos desta tipologia, como a proposta pedagógica para as crianças e também a percepção diferenciada dos seus usuários com relação ao conforto ambiental. De fato, crianças e adultos reportam níveis de conforto diferentes em relação às mesmas condições ambientais (RUPP; VASQUÉZ; LAMBERTS, 2015). Gajic *et al.* (2019) conduziram uma pesquisa em duas edificações de ensino infantil representativas na Bósnia e Herzegovina usando dados de questionários com alunos, medição de dados *in loco* e faturas de energia. Os autores concluíram que as escolas de ensino infantil devem ser introduzidas como uma tipologia específica nas normativas, com indicadores condizentes com a sua realidade, diferente de demais edificações educacionais.

O estudo de estratégias de eficiência e dos fatores que contribuem para o consumo energético em escolas de ensino infantil pode contribuir para redução do consumo energético dessas edificações.

O Anexo 53 do IEA EBC (*International Energy Agency – Energy and Buildings Community*), em seu relatório final, define os seis principais fatores que impactam o consumo de energia em edificações, sendo eles: condição climática; envelope; sistemas do edifício; operação e manutenção; comportamento dos usuários; e condições ambientais internas (EBC IEA, 2013). No caso da tipologia escolar, assim como a próprias características construtivas da edificação avaliada (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015), a etapa educacional também afeta a demanda energética (HONG *et al.*, 2013), tornando as edificações de ensino infantil particulares e com demandas próprias. A envoltória da edificação influencia na quantidade de calor absorvido e transmitido para o interior da edificação e devem respeitar a orientação e o clima local da edificação (STANKOVIC *et al.*, 2015).

O entendimento do desempenho energético de uma edificação auxilia na identificação de padrões de consumo e pode levar a melhorias nas edificações e conscientização no uso energético dos usuários (WILDE, 2018). Para avaliação do desempenho energético da edificação, geralmente é utilizado o nível de intensidade de uso energético, do inglês *Energy Intensity Use* (EUI), que avalia o consumo energético da edificação por um fator, normalmente a área construída (kWh/m².ano). Alguns estudos avaliaram o uso do EUI nas tipologias escolares, realizando também análises de consumo energético por outros fatores. Por exemplo, Butala e Novak (1999) apresentaram os resultados de consumo energético em kWh/m², kWh/m³ e kWh/alunos, para diferentes sistemas em 24 escolas da Eslovênia. Observou-se que qualquer um deles poderia ser utilizado, dependendo da análise a ser realizada. Pereira et al. (2014) discutiram os mesmos indicadores por alunos e por volume condicionado, por meio de um *benchmarking* estatístico com dados de diversos países, e concluíram que a escolha do indicador depende do objetivo da análise.

Hong *et al.* (2014) aplicaram uma análise de regressão na comparação dos EUI considerando a área e o número de alunos, em escolas de ensino fundamental e médio do Reino Unido. Os resultados mostraram que o EUI em relação à área construída representava melhor o comportamento das escolas, mas o EUI por aluno foi mais adequado, quando considerado apenas o consumo de energia elétrica. Quando consideradas fontes fósseis, o indicador de consumo energético pela área construída se mostrou mais preciso.

Jota, Souza e Silva (2017) questionaram a avaliação do consumo energético em escolas, por meio da verificação de quatro indicadores: (1) consumo energético anual por aluno (kWh/aluno.ano); (2) consumo energético anual por turno (kWh/turno.ano); (3) consumo energético anual por sala de aula (kWh/sala.ano); (4) consumo energético anual pelo número de aulas (kWh/aula.ano). Segundo os autores, a utilização de mais de um indicador ajuda a compreender o comportamento do estoque. Geraldi e Ghisi (2020a) realizaram um estudo com dados de consumo energético de 5.321 escolas básicas de 15 estados brasileiros, integrando os dados das faturas com questionários respondidos por 419 gestores. Os autores demonstraram que o indicador considerando o consumo anual energético por aluno caracterizava melhor as escolas brasileiras do que o consumo por área construída, devido principalmente à falta de condicionamento artificial de ar nas escolas do país.

Diante do exposto, uma ampla análise do estoque de edificações é importante para mensurar o desempenho geral das edificações que o compõem, identificando valores típicos de desempenho, e para proporcionar subsídios para uma comparação de desempenho entre as edificações. O *benchmarking* energético é uma forma de análise do estoque, o qual estabelece valores característicos (*benchmarks*) de desempenho (CHUNG, 2011). É importante que os *benchmarks* sejam obtidos por meio de análise baseada

em dados, uma vez que o *benchmarking* é, por natureza, uma medida de desempenho operacional (BORGSTEIN; LAMBERTS; HANSEN, 2016).

O *benchmarking* energético deve ser realizado por meio de método próprio, não se tratando de uma comparação pura e simples do consumo de energia. Devem-se usar indicadores adequados e devem-se aplicar métodos específicos, considerando parâmetros que impactam no consumo de energia para cada tipologia. Existem diversos métodos para desenvolvimento de um *benchmarking* energético.

Um método simplificado e útil é o *benchmarking* estatístico, que se baseia na distribuição estatística dos dados do estoque (GOLDSTEIN; ELEY, 2014). Este método parte dos valores característicos das variáveis de interesse, como média e desvio padrão, e realiza a classificação do desempenho com base em faixas dentro da distribuição dos dados do estoque, podendo ser quartis ou percentis. O trabalho de Veloso, Souza e Santos (2020) utilizou esta abordagem para realizar o *benchmarking* de edificações comerciais em Belo Horizonte. Apesar de simples, este método é assertivo para desenvolvimento de *benchmarkings* energéticos focados em uma região que compartilha as mesmas características climáticas (GERALDI; GHISI, 2020b).

Portanto, apesar de ser importante a análise do estoque de edificações de forma diferenciada e adequada para cada tipologia, ainda há uma lacuna desse tipo de análise para edificações de ensino infantil no Brasil. Além disso, como evidenciado na literatura, a avaliação de indicadores de desempenho energético é importante para determinar a classificação de desempenho de forma precisa, assim como a discussão de indicadores adequados para esta tipologia. Dessa forma, este trabalho propõe suprir estas lacunas encontradas na literatura e aprofundar indicadores simplificados de desempenho em escolas infantis de Florianópolis.

2. OBJETIVO

Este estudo busca avaliar os indicadores de desempenho energético operacional de edificações de ensino infantil de Florianópolis, por meio de análise de *benchmarking* energético estatístico.

3. MÉTODO

3.1 Análise de dados

Os dados de consumo energético, área construída e alunos foram fornecidos pela Prefeitura de Florianópolis, para 79 escolas de ensino infantil do município. Os valores de consumo energético anual, número de alunos e área construída foram analisados, com retirada de valores inconsistentes e espúrios, esse último pelo método descrito por Barbetta (2014), com limites calculados por meio das Equações 1 e 2. Além disso, foi realizada uma análise estatística inicial, determinando-se média, desvio padrão, valores mínimos e máximos e a distribuição no formato de histograma para a caracterização da amostra utilizada.

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

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

3.2 *Benchmarking* energético estatístico

A partir da análise inicial dos dados, dois indicadores de desempenho energético foram calculados para cada edificação, sendo o primeiro o quociente entre o consumo energético anual e a área construída (expresso em kWh/m²/ano); e o segundo o quociente entre o consumo energético anual e o número de alunos (expresso em kWh/aluno/ano). Os valores das duas classificações foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk, para o teste de normalidade.

O *benchmarking* energético foi realizado por meio de duas abordagens: (1) ordenando-se as edificações do menor para o maior valor do indicador em função da área construída; e (2) ordenando-se da mesma forma pelo indicador por aluno.

O método para classificação foi baseado em uma análise estatística dos dados, conforme metodologia realizada por Veloso, Souza e Santos (2020), que considera uma divisão em cinco classificações, de "A" até "E". Os limites de cada classe são funções da média (μ) e do desvio padrão (σ) da distribuição de dados utilizada (que deve ser uma distribuição normal), e são demonstrados por meio da Figura 2.

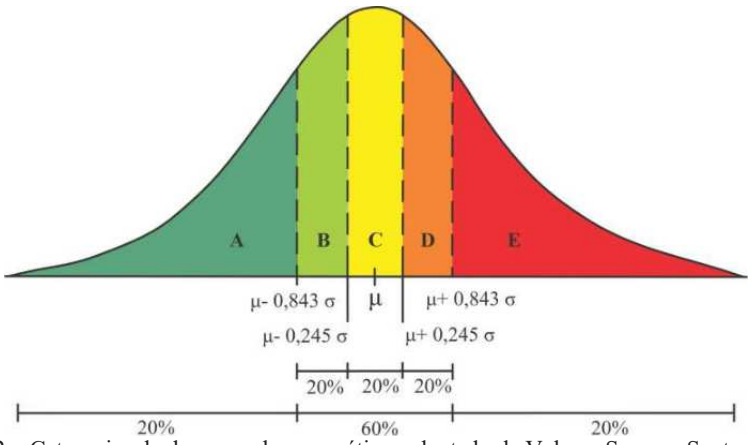


Figura 2 – Categorias de desempenho energético, adaptado de Veloso, Souza e Santos (2020).

Nesta abordagem, há uma adaptação da ISO 52003-1 (CEN, 2017), originalmente com uma escala de A até G, para que estivesse em mais conformidade com a classificação de eficiência energética em edificações brasileiras. As edificações "A" possuem melhor desempenho energético e, aquelas com classificação "E", pior. Cada classe de eficiência apresenta 20% das edificações quando a distribuição segue perfeitamente a distribuição normal.

A partir dos valores obtidos, os dados foram organizados em uma tabela que apresenta cada edificação, seu indicador de desempenho em função da área construída, do número de alunos e suas respectivas classificações de *benchmarking* com base em cada classificação. Essa tabela permitiu que ambas as classificações fossem comparadas para cada edificação.

3.3 Análise de resultados

Após a classificação dos dados realizada em função dos dois indicadores, os resultados de *benchmarking* estatístico foram confrontados de forma a avaliar qual classificação cada edificação teria segundo cada indicador diferente. As edificações que apresentaram classificações muito diferentes foram motivo de análise mais profunda. Por exemplo, segundo um indicador a escola foi classificada como eficiente e noutro como ineficiente. Para analisar estes casos, dois projetos, disponibilizados por meio do projeto "Cidades Eficientes" do CBCS (CBCS, 2019) foram estudados para compreensão das condições construtivas das edificações avaliadas, e de qual dos indicadores pode melhor traduzir a realidade das edificações de ensino infantil de Florianópolis, em relação ao seu desempenho energético.

4. RESULTADOS

4.1 Análise de dados

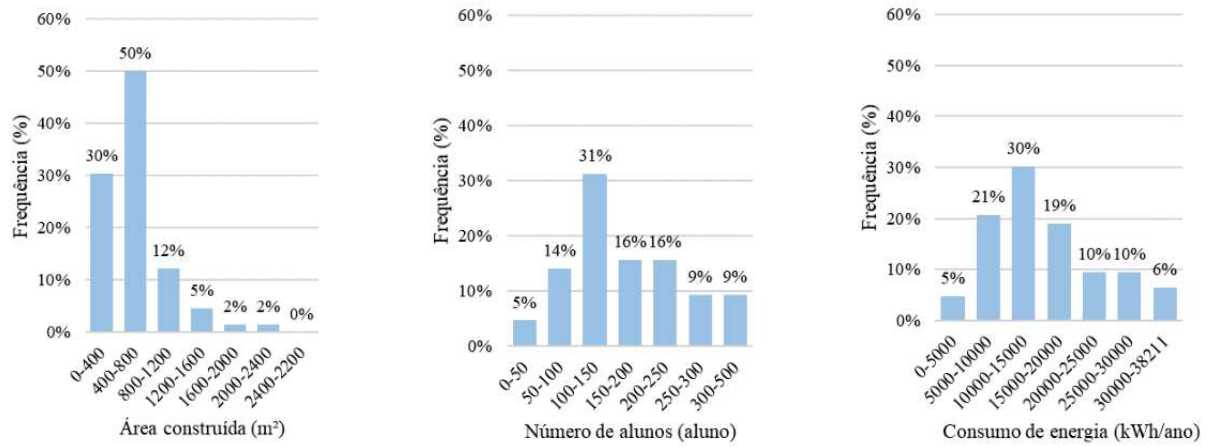
Após a tabulação das informações, as escolas que possuíam dados incompletos ou inconsistentes foram retiradas da análise, resultando em 64 edificações na base de dados da amostra filtrada. A amostra analisada é variada e representa 81% da população total de escolas de ensino infantil no município. As medidas de síntese estatística da amostra filtrada estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de síntese estatística da amostra

Variável	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão
Área construída (m²)	2.117,00	143,80	597,75	388,14
Número de alunos (aluno)	443	41	175	91
Consumo energético (kWh/ano)	89.616,00	1.170,00	16.705,12	12.197,62

Para as análises seguintes, os dados foram organizados de duas formas distintas: (1) consumo energético anual por unidade de área e (2) consumo energético anual por aluno. Os valores considerados espúrios foram retirados da base de dados caso extrapolassem os limites inferior (Equação 1) e superior (Equação 2) de consistência de dados, calculados de acordo com a orientação de Barbetta (2014).

A Figura 1 apresenta um histograma das variáveis que caracterizam a amostra do estoque de edificações de ensino infantil analisado.



(a) (b) (c)

Figura 1 – Histograma das variáveis (a) Área construída, (b) Número de alunos (aluno), e (c) Consumo Energético (kWh/ano).

4.2 *Benchmarking* estatístico

Inicialmente, um teste estatístico foi realizado para assegurar que os dados seguem uma distribuição normal após a retirada dos espúrios. Conforme o teste de Shapiro Wilk, a hipótese nula assume que os dados seguem a distribuição normal, portanto os resultados devem ser maiores que 0,05 para assumir normalidade. Quando classificados por meio do indicador de consumo energético anual por área, o teste retornou o resultado 0,425 e quando por consumo energético anual por número de alunos, 0,803. Assim, pode-se dizer que ambas as amostras seguem uma distribuição normal. Os valores limites entre as classes para os dois indicadores estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores limites entre as classes das duas escalas propostas

Base da escala	Unidade	Entre classes A e B	Entre classes B e C	Entre classes C e D	Entre classes D e E
Área construída	kWh/m²/ano	17,04	22,44	26,87	32,28
Número de alunos	kWh/aluno/ano	58,63	75,35	89,06	105,79

A partir dos dados levantados, foi realizada a classificação das escolas conforme as duas escalas (Tabela 3). Foi atribuída classificação "zero" àquelas edificações retiradas da escala devido aos seus dados de consumo serem espúrios. Essas edificações apresentaram um consumo excessivo em relação ao restante da amostra, utilizando o critério estabelecido no método. Dessa forma, as edificações classificadas como espúrias em alguns dos indicadores seriam menos eficientes que a classe "E".

Tabela 3 – Classificação das escolas de ensino infantil segundo as duas escalas propostas.

Escolas de Ensino Infantil	EUI (kWh/m²/ano)	Classificação	EUI (kWh/aluno/ano)	Classificação
Escola 1	61,60	0	98,82	D
Escola 2	52,23	0	147,75	0
Escola 3	112,32	0	107,18	E
Escola 4	147,28	0	91,14	D
Escola 5	65,97	0	183,26	0
Escola 6	177,59	0	673,80	0
Escola 7	48,47	0	113,37	E
Escola 8	74,19	0	224,99	0
Escola 9	50,06	0	145,52	0
Escola 10	51,28	0	221,05	0
Escola 11	16,82	A	57,84	A
Escola 12	6,51	A	124,48	E
Escola 13	13,44	A	49,95	A
Escola 14	16,05	A	61,37	B
Escola 15	13,40	A	75,30	B
Escola 16	6,20	A	41,36	A
Escola 17	2,29	A	14,81	A
Escola 18	16,51	A	61,24	B
Escola 19	12,41	A	76,36	C
Escola 20	19,66	B	69,37	B
Escola 21	21,02	B	82,89	C
Escola 22	17,65	B	177,08	0

Escola 23	20,24	B	47,06	A
Escola 24	19,27	B	68,06	B
Escola 25	18,45	B	61,90	B
Escola 26	18,64	B	72,31	B
Escola 27	18,48	B	108,11	E
Escola 28	17,93	B	35,02	A
Escola 29	18,43	B	84,55	C
Escola 30	18,88	B	170,06	0
Escola 31	21,12	B	89,60	D
Escola 32	26,05	C	109,43	E
Escola 33	23,39	C	110,49	E
Escola 34	23,69	C	43,00	A
Escola 35	25,41	C	78,34	C
Escola 36	22,99	C	77,49	C
Escola 37	22,96	C	69,58	B
Escola 38	23,01	C	55,36	A
Escola 39	23,40	C	73,13	B
Escola 40	26,80	C	103,08	D
Escola 41	25,58	C	60,32	B
Escola 42	31,47	D	63,73	B
Escola 43	28,11	D	107,13	E
Escola 44	28,66	D	109,56	E

Tabela 3 – Classificação das escolas de ensino infantil segundo as duas escalas propostas (continuação).

Escolas de Ensino Infantil	EUI (kWh/m²/ano)	Classificação	EUI (kWh/aluno/ano)	Classificação
Escola 45	31,96	D	77,79	C
Escola 46	27,72	D	116,57	E
Escola 47	30,25	D	84,04	C
Escola 48	29,96	D	122,39	E
Escola 49	29,21	D	108,38	E
Escola 50	27,86	D	100,00	D
Escola 51	30,12	D	78,96	C
Escola 52	26,89	D	64,04	B
Escola 53	28,35	D	100,34	D
Escola 54	31,49	D	131,15	E
Escola 55	30,02	D	34,20	A
Escola 56	27,29	D	159,21	0
Escola 57	42,57	E	87,65	C
Escola 58	41,12	E	141,93	E
Escola 59	39,05	E	110,19	E
Escola 60	40,58	E	154,57	0
Escola 61	33,72	E	151,92	0
Escola 62	41,19	E	119,13	E
Escola 63	38,95	E	44,26	A
Escola 64	38,27	E	83,19	C

4.3 Variabilidade de resultados

Após realizada a classificação utilizando os dois indicadores, algumas observações podem ser feitas. O número de escolas dentro dos limites estabelecidos na retirada de valores espúrios não apresenta grande variabilidade entre os dois indicadores. Caso as distribuições fossem perfeitamente normais, cada classificação teria exatamente 20% da amostra. Entretanto, percebe-se que, além dos valores serem diferentes de 20% nos dois indicadores, quando os dados são classificados pelo consumo energético anual pelo número de alunos, a tendência é que mais escolas estejam na classe E. Uma análise mais aprofundada deve ser realizada para entender se tal fato acontece pelo número reduzido de alunos por escola de ensino infantil ou pelo elevado consumo energético. Uma síntese da caracterização efetuada para cada classificação é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparativo das características levantadas nas classificações por meio da área construída e número de alunos

Característica	Consumo energético anual por área construída	Consumo energético anual por número de alunos
Nº de escolas dentro dos limites dos espúrios (un)	54	53

Valor Mínimo	2,29 kWh/m²/ano	14,81 kWh/aluno/ano
Valor Máximo	42,57 kWh/m²/ano	141,93 kWh/aluno/ano
Desvio Padrão	9,04 kWh/m²/ano	27,97 kWh/aluno/ano
Curtose	12,48	33,35
Coeficiente Percentílico de Curtose	0,269	0,228
Média	24,66 kWh/m²/ano	87,21 kWh/aluno/ano
Escolas classificadas como A (%)	16,67	18,87
Escolas classificadas como B (%)	22,22	22,64
Escolas classificadas como C (%)	18,52	18,87
Escolas classificadas como D (%)	27,78	11,32
Escolas classificadas como E (%)	14,81	28,30

Na Tabela 4 é possível verificar as medidas estatísticas dos indicadores de desempenho testados. Observa-se que o desvio-padrão do indicador por número de alunos foi maior que o desvio-padrão do indicador por área construída (27,97 > 9,04), evidenciando maior variabilidade daquele. Os dados do indicador por área construída também se assemelham mais à curva normal, pelo valor de 0,269 no Coeficiente Percentílico de Curtose, que deve ser de 0,263 para se adequar totalmente à distribuição normal. Percebe-se também que a porcentagem de escolas classificadas no nível E é relativamente maior para o indicador relativo ao número de alunos (28,30%) do que aquele relativo à área (14,81%).

Analisando mais profundamente as escolas classificadas como nível E nas duas classificações, percebe-se que algumas escolas, apesar de possuírem baixo consumo energético, possuem também baixo número de alunos ou de área. Na Tabela 5, foram estabelecidas as ordens na amostra para a área e consumo energético, na ordem crescente de desempenho, para as escolas com classificação E. De mesma forma, foi feito na Tabela 6 com o número de alunos e consumo energético anual, nas escolas classificadas como E.

Tabela 5 – Características para as escolas de classificação E, quando ordenadas por kWh/área/ano

Escola de Ensino Infantil	Área (m²)	Ordem crescente (área)	Consumo energético (kWh/ano)	Ordem crescente (consumo energético)	**EUI (kWh/área/ano)**
Escola 61	504,63	21	17015	40	33,72
Escola 64	300,00	6	11480	21	38,27
Escola 63	**200,00**	**2**	**7790**	**7**	**38,95**
Escola 59	570,00	36	22259	47	39,05
Escola 60	400,00	11	16230	38	40,57
Escola 58	566,00	35	23276	48	41,12
Escola 62	731,79	41	30141	52	41,19
Escola 57	280,00	5	11920	23	42,57

Percebe-se que, para a Escola 63, em negrito na Tabela 5, apesar de baixo consumo energético anual, a área também é reduzida, fazendo com que o indicador EUI (kWh/área/ano) seja mais elevado. Para as Escolas 12 e 33, em negrito na Tabela 6, mesmo com consumo energético anual reduzido em relação ao restante da amostra, como o número de alunos também é baixo, o indicador fica mais elevado (kWh/aluno/ano). Pode-se inferir que o consumo energético de escolas possui um valor residual, não dependente diretamente da área ou do número de alunos. De fato, a presença de um consumo energético residual vem sendo explorado na literatura, e foi denominado Consumo Energético Basal, representando o consumo referente às cargas que de certa forma independem do tamanho ou da operação da edificação (GERALDI *et al*., 2021). Citam-se como exemplo de equipamentos que são responsáveis pelo consumo energético basal os refrigeradores e freezers, e os computadores e equipamentos da rede lógica para a parte administrativa da edificação escolar. Assim, ao realizar uma classificação utilizando esses indicadores, deve-se buscar entendê-los, evitando conclusões errôneas.

A eficiência energética de uma edificação não pode ser feita com base na análise apenas do consumo energético da mesma, uma vez que uma edificação eficiente também deve garantir o conforto dos seus usuários (GUILLÉN; SAMUELSON; LAURENT, 2019). Para uma análise mais aprofundada, deveriam ser aplicados questionários aos ocupantes e inferir se o uso energético corresponde ao nível de conforto e consumo energético adequado.

Tabela 6 - Características para as escolas de classificação E, quando ordenadas por kWh/aluno/ano

Escola de Ensino Infantil	Número de alunos	Ordem crescente (alunos)	Consumo energético	Ordem crescente (consumo	**EUI (kWh/aluno/ano)**

			(kWh/ano)	energético)	
Escola 43	69	3	7392	6	107,13
Escola 3	262	44	28080	50	107,17
Escola 27	202	33	21839	45	108,11
Escola 49	136	18	14740	33	108,38
Escola 32	280	47	30640	52	109,43
Escola 44	132	15	14462	32	109,56
Escola 59	202	33	22259	46	110,19
Escola 33	**71**	**4**	**7845**	**8**	**110,49**
Escola 7	146	24	16552	38	113,37
Escola 46	120	13	13988	29	116,57
Escola 62	253	42	30141	51	119,13
Escola 48	142	22	17379	39	122,39
Escola 12	**46**	**2**	**5726**	**4**	**124,48**
Escola 54	97	8	12722	25	131,15
Escola 58	164	25	23276	47	141,92

4.4 Características projetuais e particulares de duas escolas de ensino infantis

Os projetos das escolas de ensino infantil, ou NEIMs (Núcleos de Ensino Infantil Municipal), de número 27 e 22 foram adotados para uma análise mais aprofundada, para uma investigação dos motivos que levaram às diferenças de classificação nos dois indicadores.

A Escola 27 (Figura 3) obteve na classificação realizada nível "B", no indicador de consumo energético anual por área construída e "E", quando classificada por consumo energético anual por alunos. Quando dividida a área construída da Escola 27 pelo número de alunos, o valor obtido é de 5,85 m²/aluno, ou seja, a 49ª escola de 53 na ordem crescente de área da amostra. O número de alunos é o 33º de 54 na ordem crescente de número de alunos da amostra.

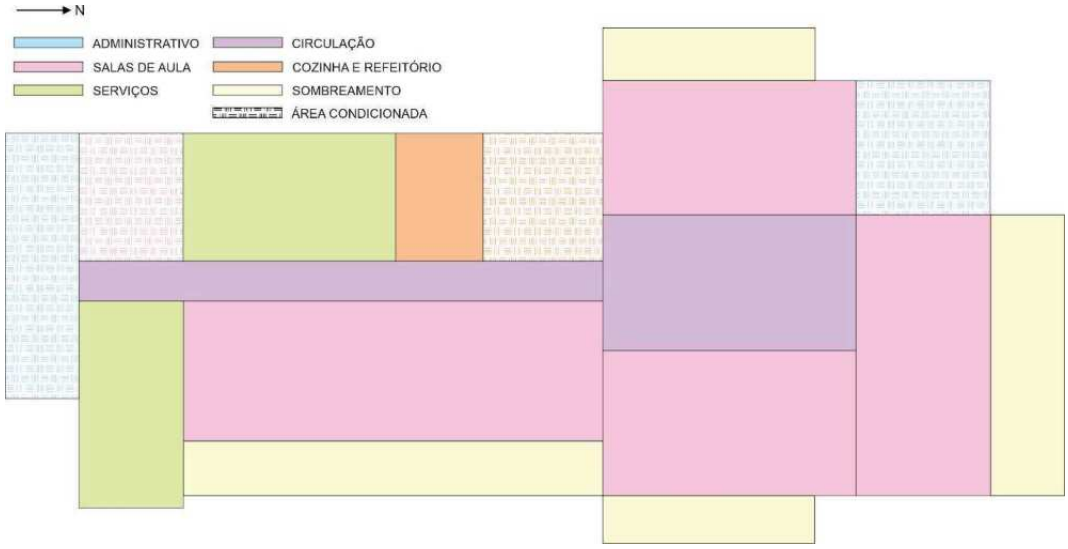


Figura 3 – Planta Baixa Esquemática Adaptada da Escola 27. Fonte: Prefeitura de Florianópolis

No caso das escolas de ensino infantil, utilizar o número de alunos para criação de um indicador de classificação energética também pode levar a análises equivocadas dos dados, uma vez que muitas crianças permanecem na escola em turno integral, porém são contabilizadas apenas uma vez na contagem de dados. No caso de escolas básicas, tal influência ocorre de maneira menos significativa, uma vez que menos vagas são ofertadas na modalidade integral para esse nível de educação. Dessa forma, é importante ressaltar que os resultados de desempenho energético de uma escola de ensino infantil não são comparáveis a escolas de ensino fundamental. Informações do número de alunos em regime integral deveriam ser disponibilizadas para realização de uma calibração dos dados antes da execução da classificação.

Observando o esquema da planta baixa da escola 27 (Figura 3), algumas explicações para o maior consumo energético seriam o uso de condicionadores de ar, não comum nas demais edificações de escolas de ensino infantil em Florianópolis, o que indica que uma calibração anterior à classificação, separando escolas

condicionadas e não condicionadas também seria necessária, uma vez que essa informação estivesse disponível. O aquecimento de água para os banheiros infantis é realizado por meio de coletores solares, com apoio de *boilers* elétricos. Os *boilers* podem ter perdas energéticas elevadas, considerando o baixo uso dos chuveiros pelos alunos, segundo relatado pelas coordenadoras em auditoria energética realizada na edificação. Além disso, uma estratégia indicada para redução do consumo energético da Escola 27 é o sombreamento das janelas das salas condicionadas voltadas a Oeste e a Norte. Para as salas de aula, que não são condicionadas, deve-se buscar o uso de ventiladores para redução do desconforto dos usuários.

A Escola 22 tem organização de espaços muito semelhante à Escola 27, porém não possui condicionamento artificial (Figura 4). Ela obteve classificação "B" pelo indicador de consumo energético anual por área construída e foi retirada da amostra por estar acima dos limites estabelecidos pelos espúrios na classificação por consumo energético anual pelo número de alunos. A escola de ensino infantil possui 10,04 m²/aluno, valor 6,41 maior que a média dos valores dentro da amostra. Tal indicador pode explicar as duas classificações: área elevada e número reduzido de alunos. Quando classificada em relação à amostra do consumo energético anual pela área construída, a escola de ensino infantil é a 53ª com a maior área e a 51ª com o maior consumo da amostra.

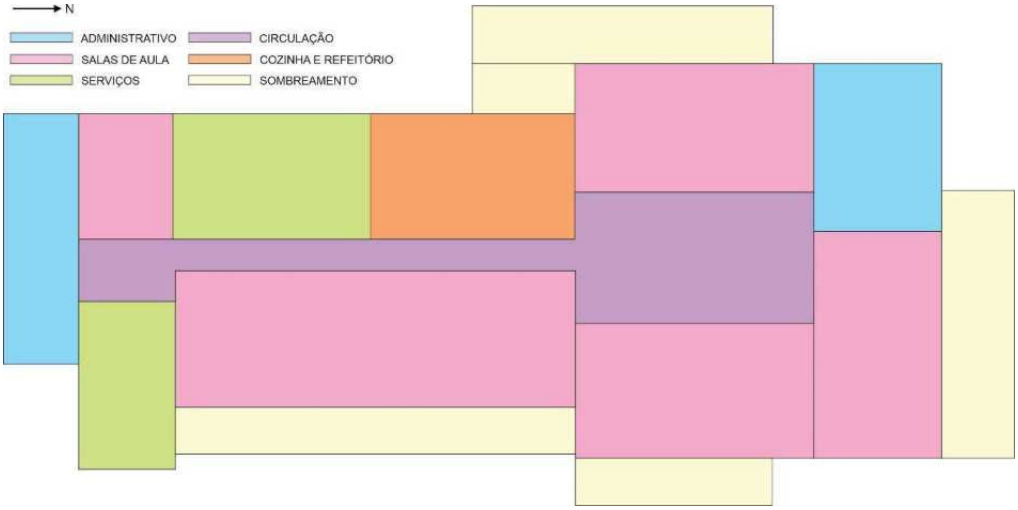


Figura 4 – Planta Baixa Esquemática Adaptada da Escola 22. Fonte: Prefeitura de Florianópolis

5. CONCLUSÕES

A classificação do desempenho energético de edificações pode auxiliar no estudo para a implantação de estratégias de eficiência energética, pois é possível classificar o desempenho de cada edificação em relação ao estoque. Dentre os dois indicadores analisados, é possível dizer que ambos representam interpretações diferentes do consumo de energia em relação a características das edificações. Entretanto, para a amostra realizada, o consumo energético anual por área construída adequou-se melhor à curva normal, fator importante para o método utilizado na classificação.

Pode-se verificar que quando o consumo energético anual é dividido pelo número de alunos, é importante que seja realizada uma calibração entre os alunos em meio período e em período integral na instituição. Por exemplo, os alunos presentes em período integral, em uma instituição onde também existem alunos em meio período, deveriam ser multiplicados por dois, uma vez que permanecem nos dois turnos. Uma calibração no mesmo sentido deve ser feita para edificações que possuem ou não ambientes condicionados, visto que o aumento no consumo energético pode ser expressivo. Neste caso, pode-se dividir as análises para edificações sem e com condicionamento ou utilizar um índice com base na área condicionada. Entretanto, essa informação é mais difícil de ser obtida do que as apresentadas nesse estudo.

Quando uma escola for analisada para realização da implantação de estratégias de eficiência energética, o entendimento dos indicadores deve ser realizado com cuidado, para evitar interpretações errôneas. Além disso, os resultados deste estudo evidenciam a existência de um consumo energético mínimo, denominado Consumo Energético Basal, também evidenciado por outros estudos na literatura. Ou seja, o consumo energético da edificação não é proporcional à área construída ou ao número de alunos. Por isso, quando uma escola de ensino infantil possuir classificações baixas na escala atribuída, mas área ou número de alunos baixos em relação ao restante da amostra, é importante a realização de uma investigação mais aprofundada para o entendimento desse resultado e se ele realmente traduz a realidade daquela escola. Mais indicadores, com maior complexidade, podem ser utilizados em estudos futuros, para melhor caracterização das edificações estudadas. Por exemplo, identificar o uso de condicionamento de ar e relacioná-lo com o conforto térmico dos usuários para elucidar a classificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Nacional Energético (BEN) 2020: Ano Base 2018, 2019. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> Acesso em: mar. 2021.

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. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018

BUTALA, V.; NOVAK, P. Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. Energy and Buildings, v. 29, n. 3, p. 241-246, jan. 1999. Elsevier BV. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00062-0

CBCS [Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis]. Projeto Cidades Eficientes: Capacitação de Gestores Públicos - Florianópolis/SC. Florianópolis. 2018. Disponível em: <http://cidadeseficientes.cbcs.org.br/wp-content/uploads/pdf/Analise-dados-edificios_FLP.pdf>.

CBCS Projeto Cidades Eficientes 2019 – Florianópolis. 2021. Disponível em: http://cidadeseficientes.cbcs.org.br/ Acesso em: 04/03/2021.

CHUNG, W. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. Applied Energy, v. 88(5), p. 1470–1479, 2011. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.022

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

EBC IEA. Annex 53 - Total energy use in buildings. Final Report Annex 53. Disponível em: <http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/images/Pictures/EBC_Annex_53_Main_Report.pdf>.

EPBD. Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). 2015. Disponível em: <https://www.epbd-ca.eu/outcomes/2011-2015/CA3-BOOK-2016-A-web.pdf>.

GAJIC, D.; STUPAR, D.; ANTUNOVIC, B.; JANKOVIC, A. Determination of the energy performance indicator of kindergartens through design, measured and recommended parameters. Energy and Buildings, v. 204, p. 109511-109523, dez. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109511.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. Mapping the energy usage in Brazilian public schools. Energy and Buildings, v. 224, p. 110209, 2020a. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110209

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, p. 109810. 2020b Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109810

GERALDI, M.; BAVARESCO, M. V.; TRIANA, M. A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Addressing the impact of COVID-19 lockdown on energy use in municipal buildings: a case study in Florianópolis, Brazil. Sustainable Cities and Society, [S.L.], 2021. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102823

GOLDSTEIN, D. B., ELEY, C. A classification of building energy performance indices. Energy Efficiency, v. 7(2), p. 353–375, 2014. https://doi.org/10.1007/s12053-013-9248-0

GUILLÉN, E. E., SAMUELSON, H. W.; CEDEÑO LAURENT, J. G. Comparing energy and comfort metrics for building benchmarking. Energy and Buildings, v. 205, 2019. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109539

HONG, S.; PATERSON, G.; MUMOVIC, D.; STEADMAN, P. Improved benchmarking comparability for energy consumption in schools. Building Research and Information, v. 42, n. 1, p. 47-61, ago. 2013.

JOTA, P. R. S.; SOUZA, A. P. A.; SILVA, V. R. B. Energy performance indexes: analysis in public schools in brazil. Energy Efficiency, v. 10, n. 6, p. 1433-1451, 31 maio 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s12053-017-9530-7.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, Ro. A review of human thermal comfort in the built environment. Energy and Buildings, v. 105, p. 178-205, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047.

STANKOVIC, D.; TANIC, M.; KOSTIC, A.; TIMOTIJEVIC, M.; JEVREMOVIC, L.; JOVANOVIC, G.; VASOV, M.; SOKOLOVSKII, N. Revitalization of Preschool Buildings: a methodological approach. Procedia Engineering, v. 117, p. 723-736, 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.201.

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.

WILDE, P. Building Performance Analysis. 3 jun. 2018. John Wiley & Sons, Ltd. http://dx.doi.org/10.1002/9781119341901.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES (Coordenação de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro desta pesquisa. Além disso, agradecem à administração municipal da cidade de Florianópolis, que colaborou com informações essenciais para a condução da pesquisa. Os dados usados foram fornecidos pelo Projeto "Cidades Eficientes", conduzido pelo CBCS ("Conselho Brasileiro de Construção Sustentável") e financiado pelo iCS ("Instituto Clima e Sociedade").