



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.11: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Escola de Ensino Fundamental e Médio

PROJETO: ECV – PRFP 003B/2020

CONVÊNIO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA ENTRE A ELETROBRAS E O CBCS,
DESTINADO AO DESENVOLVIMENTO DE BENCHMARKS ENERGÉTICOS NO ÂMBITO DO
PROCEL

**Relatório elaborado pelos colaboradores do CBCS CONSELHO BRASILEIRO
DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL:**

Ana Carolina Veloso
Ana Paula Melo
Anderson Letti
Arthur Cursino
Camila Suizu

Clarice Degani
Daniel Amaral
Eduardo Kanashiro
Matheus Geraldi
Roberto Lamberts
Kleber Moura

Coordenação Eletrobras/Procel: Elisete Cunha

Publicado em 18/03/2021

Relatório da atividade 2A com a finalidade de descrever as auditorias energéticas que subsidiaram a configuração dos arquétipos, os dados de entrada das simulações e as escalas de *benchmark* para a tipologia de Escola de Ensino Fundamental e Médio.

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA.....	2
Método geral adotado para o convênio	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE.....	6
Características gerais.....	7
Ocupação.....	8
Cargas especiais	10
Intensidade de Uso de Energia (EUI).....	10
Iluminação artificial.....	12
Características construtivas	13
4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS	14
Características gerais.....	14
Ocupação.....	16
Cargas especiais	16
Condicionamento de ar.....	17
Iluminação.....	19
Cargas de tomada.....	20
Análise dos usos finais.....	20
5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS	21
Validação do arquétipo e variáveis relevantes	21
Comparação do consumo real com os consumos estimados	22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) é uma organização da sociedade civil, sem fins lucrativos, que tem por objetivo contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável, por meio da geração e disseminação de conhecimento e da mobilização da cadeia produtiva do setor da construção civil, de seus clientes e consumidores.

Dentre outras atuações, o CBCS tem desenvolvido ações de *benchmarking* de consumo energético, desde 2013, quando lançou o projeto Desempenho Energético Operacional (DEO) e desenvolveu uma metodologia de *benchmarking* para agências bancárias, para edifícios de escritórios corporativos e para edifícios públicos administrativos.

Em 2018, o CBCS firmou este convênio de cooperação com a Eletrobras, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, que inclui o projeto intitulado “Estruturação do setor de edificações por meio de estudos e desenvolvimentos de base de dados com indicadores”. O Convênio firmado também tem total aderência com as atividades do Procel Edifica – Eficiência Energética em Edificações, que coordena tecnicamente o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica, do Inmetro, programa que define classes de desempenho energético para construções novas.

É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações mais eficientes, a aplicação de *benchmarks* revela-se um excelente ponto de partida.

Deste modo, o objetivo do convênio é desenvolver *benchmarks* e indicadores de desempenho energético para 15 tipologias de edificações em uso e operação, privadas e públicas, visando o futuro desenvolvimento de uma base de dados de consumo energético e de um programa nacional de gestão energética para edificações em uso, semelhante ao já existente para novas construções.

MÉTODO GERAL ADOTADO PARA O CONVÊNIO

A metodologia adotada para o convênio teve como ponto de partida o estudo da base de dados do projeto META (Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral) da EPE (Empresa de Pesquisa em Energia Elétrica), detalhado no relatório RT1A.01, a partir do qual obteve-se informações para a caracterização de grande parte das diferentes tipologias alvo deste convênio.

No transcorrer do convênio, dados de caracterização do estoque para cada tipologia foram obtidos, tratados e analisados – seja por meio de auditorias ou de bancos de dados já existentes – e foram usados para a construção dos arquétipos e a realização de simulações para cada tipologia. As simulações fundamentaram a construção das equações de *benchmark* e os dados de caracterização do estoque disponível foram utilizados para a validação destas equações. O fluxograma do método é apresentado na

Erro! Fonte de referência não encontrada..

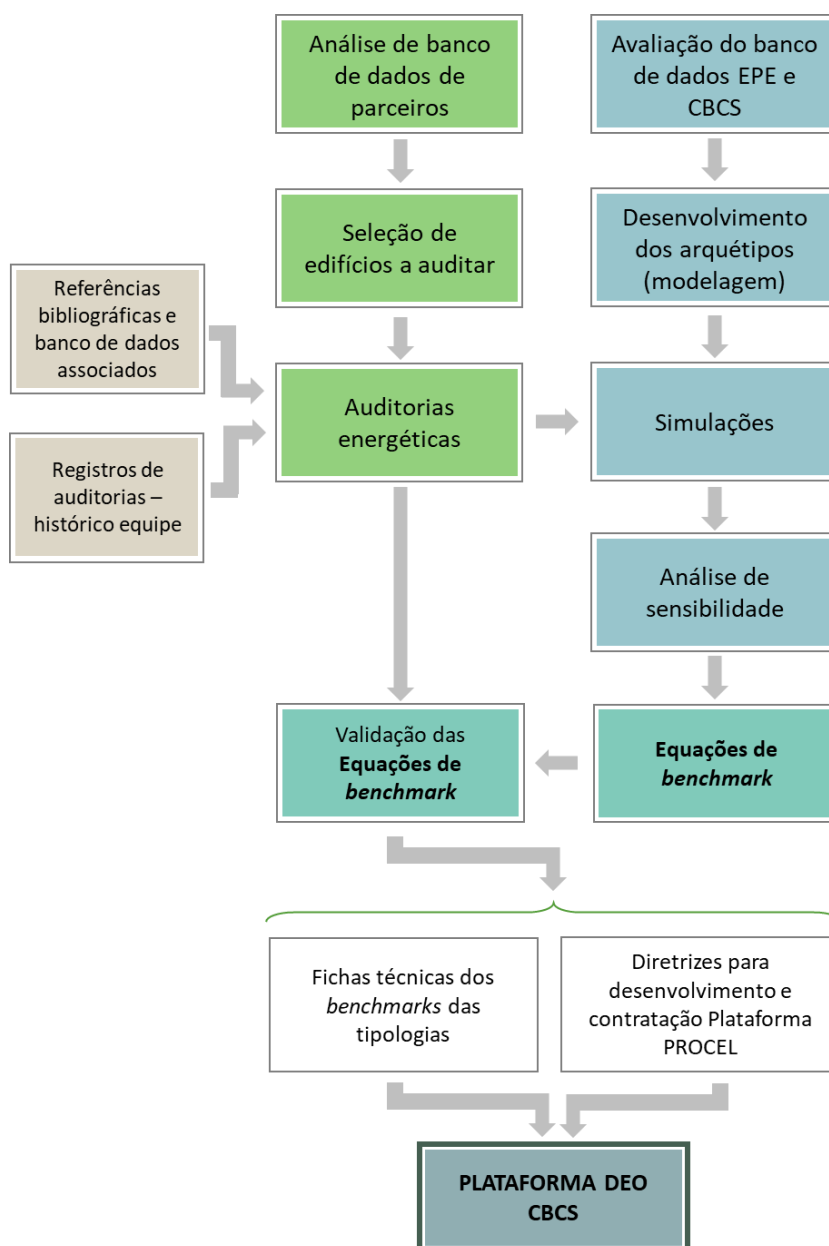


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** a partir da análise de banco de dados e das auditorias energéticas. Registram-se neste relatório todos os métodos utilizados para a realização destas análises, bem como as principais variáveis identificadas para esta tipologia e os seus valores representativos.

A análise de banco de dados foi feita a partir de informações representativas do grupo de edificações dessa tipologia no Brasil, delineando as principais características construtivas, as estatísticas de consumo de energia e a relação dessas características com a região geográfica de uma quantidade extensiva de edificações - denominada de estoque.

As auditorias energéticas são levantamentos de dados coletados por meio de visitas técnicas nas edificações auditadas. Seu objetivo é compreender as especificidades e as variações inerentes de uma amostra de edificações e, dessa forma, enriquecer a caracterização do estoque realizada sobre os bancos de dados extensivos, adicionando a perspectiva da realidade. As auditorias energéticas realizadas no âmbito do presente convênio são simplificações das práticas de diagnóstico energético, as quais geralmente são executadas com a finalidade de medir o desempenho energético de uma edificação, identificar seus usos finais de energia e prospectar medidas de eficiência energética aplicáveis (ISO 50002,2019).

Deste modo, a caracterização da tipologia é uma das etapas da metodologia para o desenvolvimento das equações de *benchmark*, com o objetivo de identificar e entender o padrão construtivo, operacional e de consumo energético das edificações a partir de estudos de caso reais. Estas informações obtidas em campo contribuem para o refinamento dos arquétipos, para a definição dos tipos de sistemas e dos padrões de uso considerados nas simulações, para a calibração dos modelos de simulação e, posteriormente, para as análises de sensibilidade e validação das equações de *benchmark*.

Sempre que possível, o processo de caracterização da tipologia seguiu as seguintes etapas:

- 1) Análise do banco de dados existente;
- 2) Levantamento preliminar de dados adicionais e complementares;
- 3) Análise dos dados preliminares e seleção dos edifícios para visita técnica;
- 4) Realização das visitas técnicas;
- 5) Tabulação das informações levantadas durante visita técnica e análise de dados utilizando a planilha de auditoria energética CBCS-DEO¹;
- 6) Análise da estimativa de consumo de energia elétrica por usos finais;
- 7) Elaboração do relatório de análise de consumo destinado ao parceiro.

Em fevereiro de 2020, a declaração da pandemia de COVID-19 implicou em medidas de isolamento e distanciamento sociais para conter o espalhamento do novo coronavírus pelo país. Em virtude dessas restrições, o acesso de pessoas em geral e da equipe de auditores às edificações foi impedido, e as visitas técnicas em algumas tipologias não puderam acontecer. Para suprir esta lacuna, as visitas técnicas impossibilitadas tiveram como alternativa de levantamento de dados:

- i. Análise de resultados de auditorias energéticas reportadas em pesquisas acadêmicas e em arquivos de profissionais de mercado;

¹ Baseada no TM22 - Memorando Técnico 22 (do inglês: *Technical Memoranda 22 - Energy Assessment and Reporting Method*), desenvolvido pelo CIBSE (do inglês: *Chartered Institution of Building Services Engineers*) publicado em 2006;

- ii. Análise de plantas e memoriais descritivos de projetos de arquitetura, elétrica, luminotécnica e sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) de edificações existentes; e
- iii. Entrevistas por videoconferência com gerentes de instalações prediais.

A tabulação das informações, a análise dos dados e a estimativa do consumo de energia por uso final foi feita por meio da planilha eletrônica desenvolvida para este projeto, denominada **Planilha de auditoria energética CBCS-DEO**. Seu método de cálculo leva em consideração a quantidade, a potência, as horas de operação ao longo do ano e o fator de uso dos equipamentos presentes nas edificações, apresentando a estratificação dos consumos por sistema, quando não há medição setorizada na edificação ou quando não foi possível realizar a sub medição durante a visita *in loco*.

O modelo da **Planilha de auditoria energética CBCS-DEO** é apresentado nos relatórios técnicos **RT1A.02** e **RT1B.01** deste convênio.

3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE

A análise de banco de dados para a caracterização da tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** foi feita com base nas amostras descritas no projeto META e por meio do compartilhamento voluntário de dados do estoque de parceiros. O banco de dados do estoque apresenta informações pertinentes à caracterização construtiva e ao consumo de energia, com dados de edificações em 18 das 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por dados de 21.250 unidades de edificações, representando escolas de ensino fundamental, escolas de ensino médio e escolas com níveis de estudo misto. Nela, o estado do Mato Grosso do Sul contribuiu com dados de 5.852 edificações, representando aproximadamente 28% do banco de dados, seguido pelo estado de São Paulo com 24% dos dados da amostra.

Filtros para a retirada de valores espúrios de área construída e consumo de energia foram aplicados na amostra bruta, resultado em uma amostra tratada final com 11.678 unidades. Destas 11.678 unidades, 2.989 unidades (aproximadamente 26%) apresentaram informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: idade de construção, quantidade de funcionários, quantidade de salas de aula e de refrigeradores.

Dados de quatro edifícios com auditorias energéticas realizadas durante o convênio são analisados e apresentados separadamente neste relatório.

A Tabela 1 apresenta o resumo do estoque para esta tipologia.

Tabela 1 - Resumo dos dados disponíveis do estoque da tipologia de Escola de Ensino Fundamental e Médio

RESUMO DO BANCO DE DADOS	
Amostra bruta	21.250 unidades
Amostra tratada (sem valores espúrios)	11.678 unidades
Amostra selecionada (dados completos)	2.989 unidades
Unidades Federativas contendo dados	18
Variáveis Contidas	<ul style="list-style-type: none"> – Dados básicos (Estado, município e parceiro); – Área construída; – Histórico consumo total de energia de (12 meses) – Idade de construção; – Ocupação; – Quantidade de refrigeradores; – Quantidade de salas de aula.
Auditorias energéticas	4 unidades

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A Tabela 2 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra selecionada para a tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio**.

Tabela 2 – Medidas de síntese estatística das variáveis do estoque para a tipologia de Escola de Ensino Fundamental e Médio

VARIÁVEIS	VALOR MÍN.	1º QUARTIL (25%)	MEDIANA (50%)	MÉDIA	3º QUARTIL (75%)	VALOR MÁX.
Ano de construção	1.948	1.985	1.999	1.992	2.002	2.013
Número de Funcionários	5	12	18	26	29	147
Número de Funcionários por 100 m ²	-	-	-	1	1	60
Número de Salas de Aula	2	4	6	9	12	36
Número de Geladeiras e Freezers	1	1	1	2	2	11
Área média de salas de aula	20	40	50	53	65	85
Área Total [m ²]	25,0	700,0	1.241,0	1.497,0	2.006,5	10.000,0
EUI [kWh/m ² /ano]	0,1	6,5	14,2	28,0	27,9	628,9

A partir da razão entre consumo de energia de 12 meses e área construída, pode-se calcular o EUI (do inglês: *Energy Use Intensity*, Intensidade de Uso de Energia) de todas as edificações do estoque tratado. A intensidade de uso de energia é um indicador amplamente utilizado para quantificar o uso de energia de uma edificação em relação à sua área construída. Nota-se, que o estoque possui um EUI médio de 28,0 kWh/m²/ano, variando de 6,5 a 27,9 kWh/m²/ano entre o primeiro e o terceiro quartil.

Com relação à área total construída, a amostra apresenta área construída média de 1.497 m², mediana de 1.241 m² e desvio padrão de 1.392,45 m². A Figura 2 apresenta um histograma da área construída. Observa-se que até 56% das edificações têm área construída de até 1.500 m².

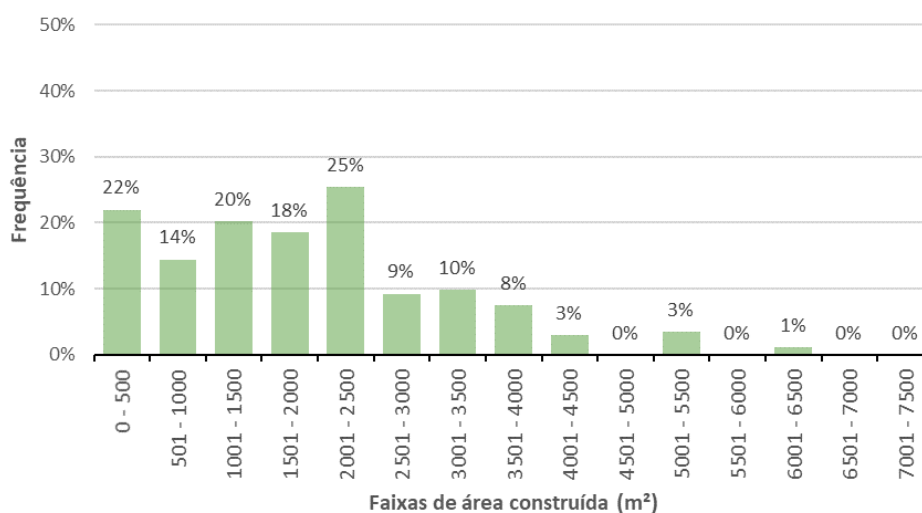


Figura 2 - Histograma da área construída total

Além da área construída, outras características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especialmente para a tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio**, a quantidade de

salas de aula e a quantidade de refrigeradores foram identificadas como sendo estes fatores, dentre as demais variáveis presentes na base de dados. A Figura 3 apresenta o comportamento das variáveis importantes que caracterizam esta tipologia para as edificações que apresentaram essas informações.

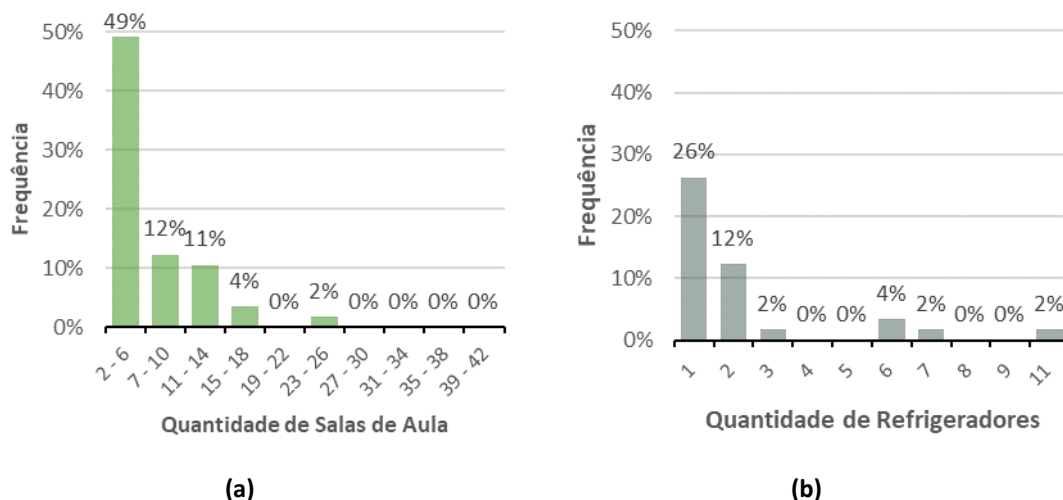


Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação

Nota-se que em relação à quantidade de salas de aula, há uma média de 9 salas por edificação, com até 72% das edificações contendo até 14 salas de aula. Já com relação à quantidade de refrigeradores, a amostra da base de dados do projeto META apresenta diversos tipos de refrigeradores e aqui foram considerados refrigeradores como sendo as geladeiras domésticas e os freezers verticais e horizontais. Esses equipamentos são utilizados pela escola para armazenamento de mantimentos usados na preparação de merendas diariamente. A média é de 2 refrigeradores por edificação, mas há uma frequência de 40% das edificações que apresentaram até 3 refrigeradores.

OCUPAÇÃO

A ocupação das tipologias **de Escola de Ensino Fundamental e Médio** é uma variável composta por duas parcelas: a de funcionários e a de alunos. A Figura 4 apresenta o histograma da quantidade de funcionários ocupantes das edificações analisadas no estoque.

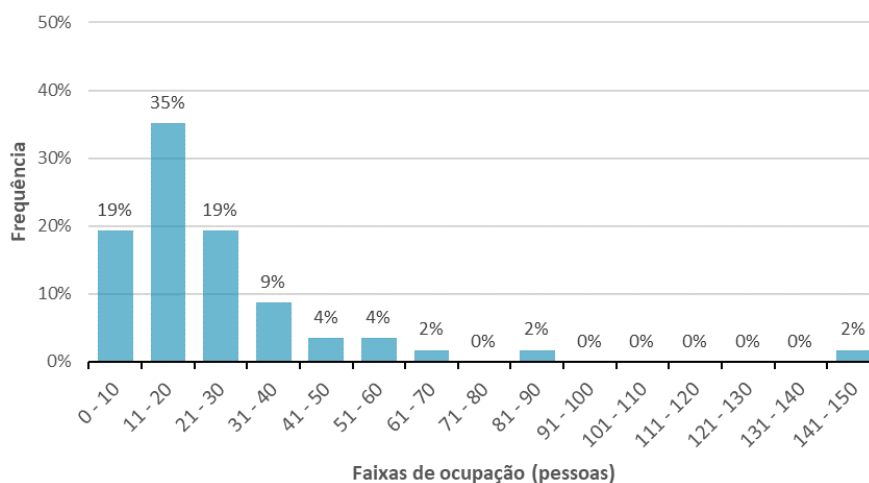


Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários

A quantidade de edificações com até 30 funcionários corresponde a maior parte do estoque, cerca de 73% das edificações. Em média, uma edificação desse tipo possui 25 funcionários. A proporção de área por funcionário é de 60 m², considerando a área construída média.

No que se refere à quantidade de alunos, a Figura 5 apresenta um histograma dessa variável de acordo com as informações disponíveis.

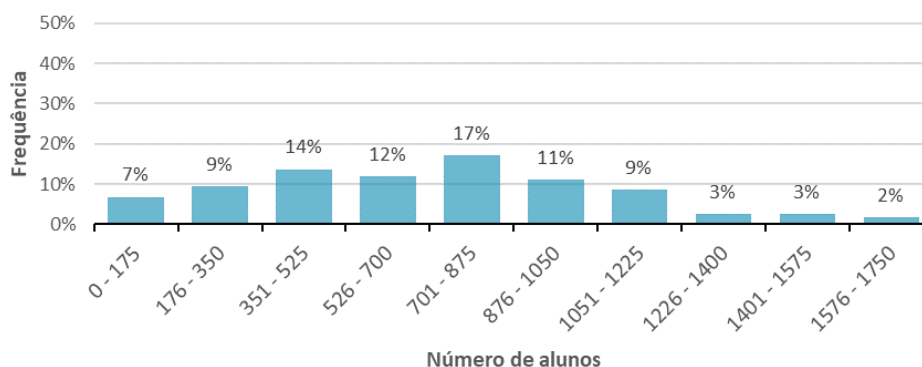


Figura 5 – Histograma da ocupação por alunos

No estoque analisado, uma edificação de tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** tem em média 720 alunos, resultando em uma ocupação média de 2 m² por aluno, considerando a área construída média. A partir da quantidade de funcionários média e a quantidade de alunos reportada, o estoque analisado resulta em uma ocupação de 2,00 m² por pessoa.

Com relação à forma de ocupação dos edifícios, a Figura 6 apresenta a proporção de edificações do estoque se ocupando um único edifício ou mais de um edifício e os seus turnos de uso.

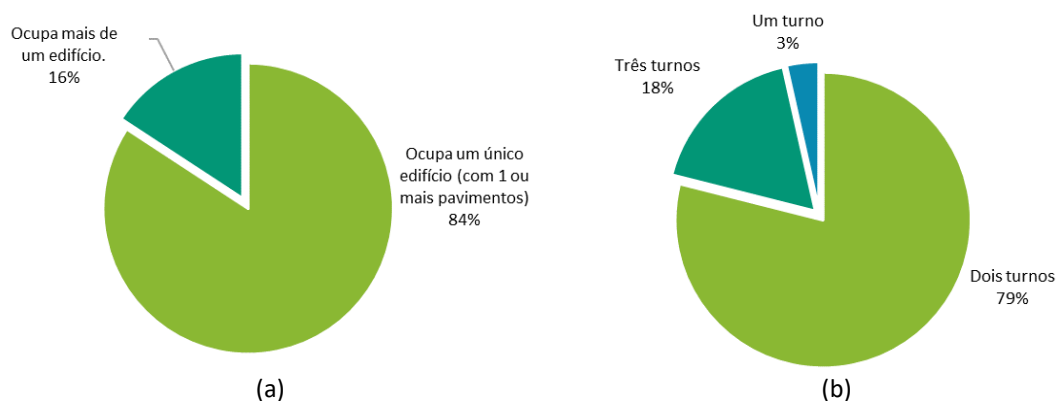


Figura 6 – Ocupação do edifício em termos de (a) número de edificações e (b) turnos de operação

Como grande parte do estoque (84 %) ocupa um único edifício, pode-se dizer que esta tipologia é representada majoritariamente por edificações monousuário. Além disso, a operação ocorre principalmente em dois turnos (matutino e vespertino).

A Figura 7 apresenta a proporção de edificações em relação ao número de andares. É possível perceber que, no estoque estudado, há variabilidade no número de andares e presença significativa de edificações verticalizadas, de até 3 andares. O número máximo de andares observado na amostra foi 5 andares.

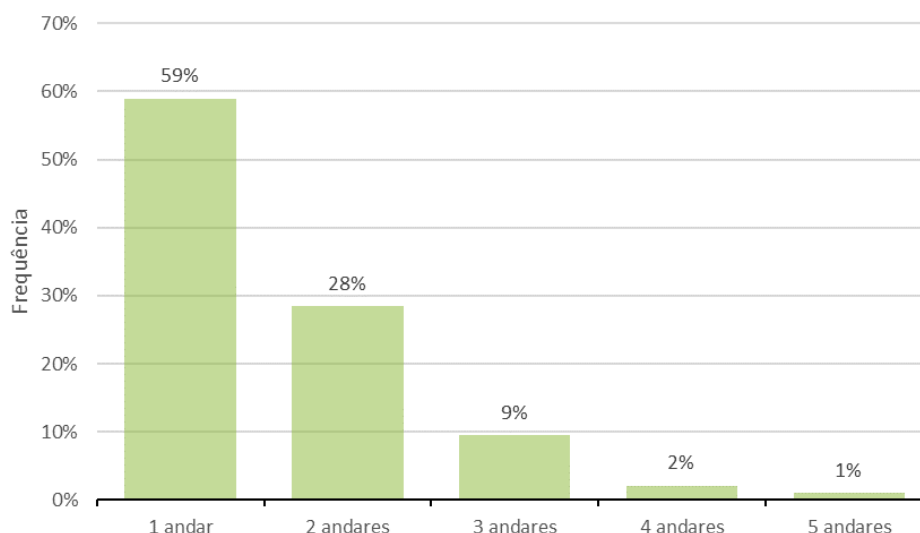


Figura 7 – Histograma do número de pavimentos das edificações

Portanto, a partir das frequências de faixas de ocupação, forma de ocupação e número de pavimentos identificados no estoque, pode-se dizer que uma edificação de tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** típica é uma edificação de diversos pavimentos, bloco único, com aproximadamente 1.497 m² de área construída, ocupação média de 25 funcionários e 720 alunos, com operação em dois turnos.

CARGAS ESPECIAIS

Poucas edificações do estoque analisado da tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** apresentavam cargas especiais. Noventa e sete edificações apresentavam elevador como cargas especiais, representando cerca de 0,5% do estoque total.

Não foram disponibilizados dados de Centrais de Processamento de dados (CPDs) na base de dados analisada.

INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA (EUI)

O EUI médio para a tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** na amostra analisada foi de 28,0 kWh/m²/ano e a mediana 14,2 kWh/m²/ano, com um desvio padrão de 15,84 kWh/m²/ano. A Figura 8 apresenta uma análise da distribuição desta variável. A maior parte das edificações (59%) possui consumos de até 20 kWh/m²/ano, entretanto, há uma pequena parcela que chegam a consumos de até 50 kWh/m²/ano. Nestes casos, supõe-se que se trata de edifícios com grande uso de equipamentos de condicionamento de ar ou outros equipamentos específicos da unidade de ensino.

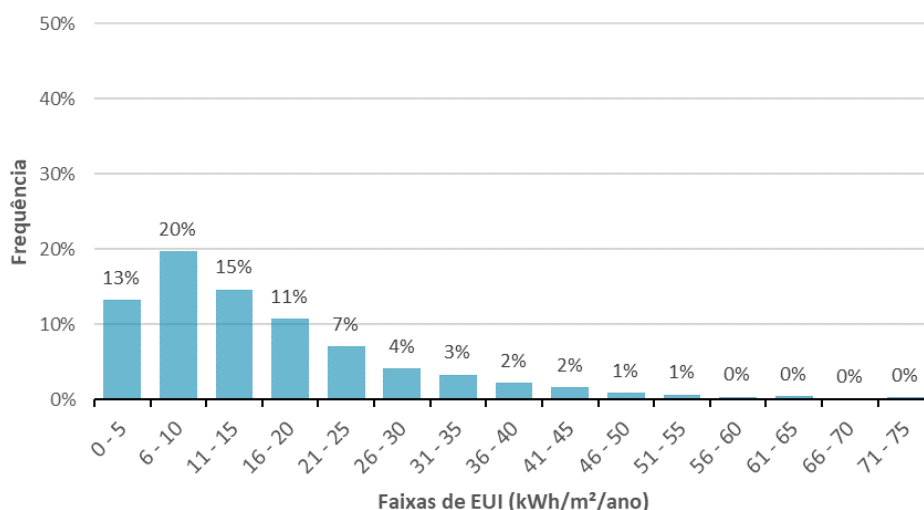


Figura 8 – Histograma da variável EUI

Verificou-se que a variável EUI não possui uma distribuição normal, a partir do teste de Anderson-Darling a 95% de confiança, o qual resultou em um valor de probabilidade de 2×10^{-5} (rejeitando-se a hipótese da normalidade). Porém, é possível observar que a variável segue uma distribuição que se assemelha à log-normal.

Sabe-se que o desempenho do sistema de condicionamento de ar é dependente do clima no qual a edificação está inserida. O Grau-Hora de Resfriamento (GHR) é um indicador utilizado para caracterizar a relação da necessidade de resfriamento do ambiente interno com as condições médias climáticas de uma região, de forma simplificada. Este indicador é obtido por meio da somatória total anual da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base - adotada 15°C.

A Figura 9 ilustra a média de GHR em cada estado do Brasil e associa a média de EUI das edificações do estoque analisado.

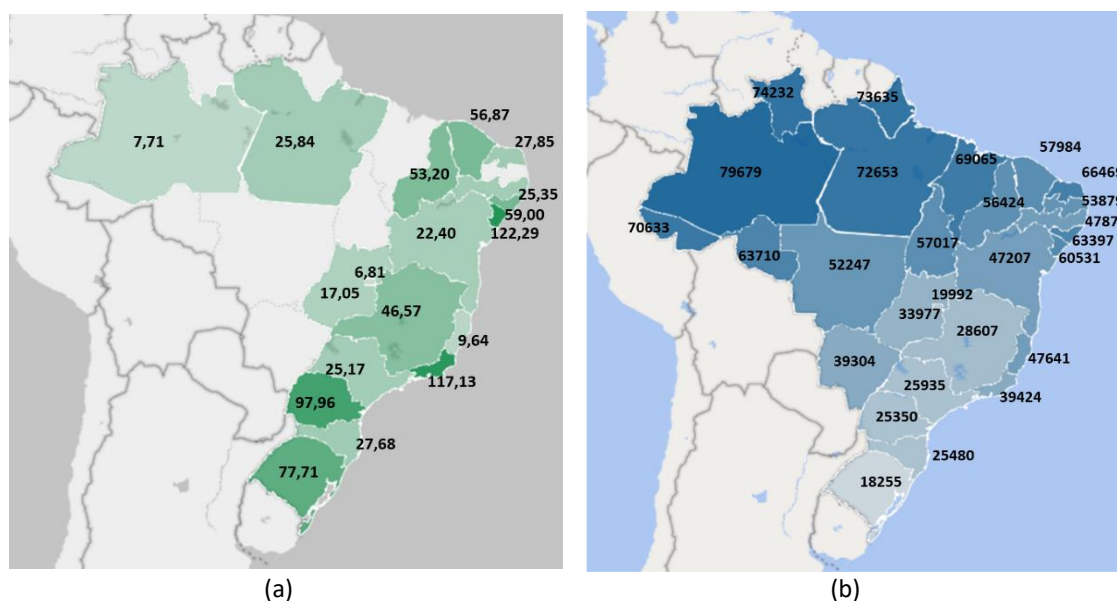


Figura 9 – Comparação entre (a) Média de EUI da amostra e (b) Média de GHR, por estado da federação brasileira.

A Figura 9 evidencia que não necessariamente os estados com maior GHR apresentaram maior EUI médio, o que pode significar que o uso dos equipamentos de condicionamento de ar não necessariamente

acompanha as condições climáticas e/ou que o seu uso final (a fração de consumo correspondente a estes sistemas em relação ao consumo total da edificação) não é tão relevante quanto seriam, por exemplo, o consumo referente à iluminação. Ressalta-se que a Figura 9.a apresenta apenas o EUI médio nos estados brasileiros dos quais o banco de dados havia informações (18 unidades federativas).

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial para a tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** foi caracterizado por meio do banco de dados do Projeto META, no qual há informações sobre o padrão de uso da iluminação artificial em relação à disponibilidade de luz natural externa (Figura 10).

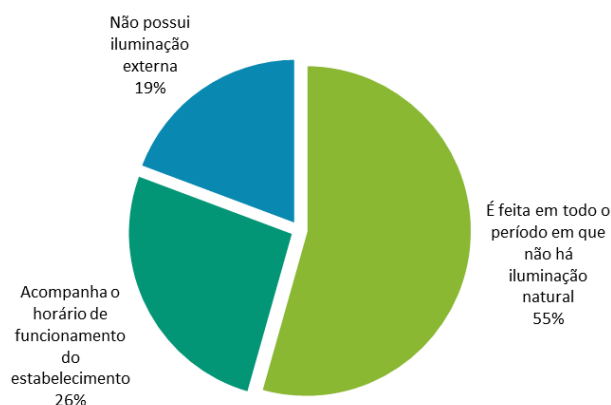


Figura 10 – Padrão de aproveitamento da iluminação natural

Percebe-se que pouco mais da metade (55%) das edificações que apresentaram essa informação tendem a aproveitar a iluminação natural externa durante o dia. No entanto, 26% responderam que há utilização de iluminação artificial durante todo o horário de funcionamento da edificação, o que indica que a iluminação se mantém acionada continuamente e há uma fração significativa (19%) sem acesso à luz natural.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A Figura 11 apresenta as características construtivas típicas do estoque analisado para a tipologia de Escola de Ensino Fundamental e Médio.

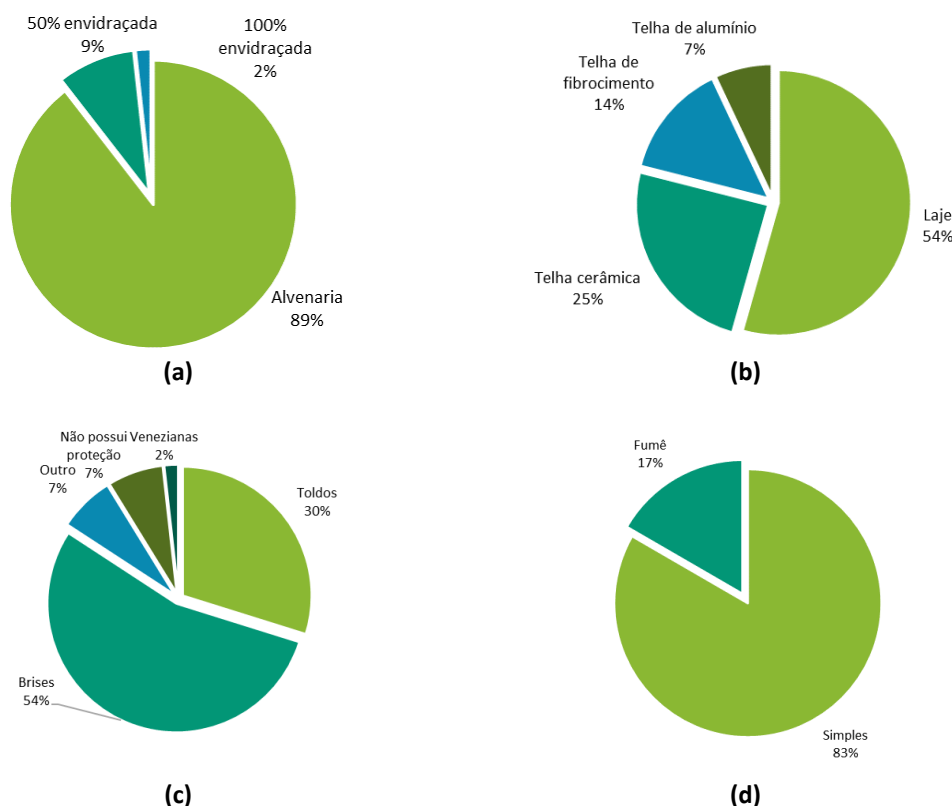


Figura 11 – Características construtivas típicas do estoque – Composição das (a) fachadas, (b) coberturas, (c) sombreamento das fachadas e (d) vidros externos

As características construtivas das vedações externas (fachadas), coberturas, tipos de vidro das esquadrias externas e sombreamentos constituem os elementos da envoltória, que é a interface entre o interior do ambiente construído com o exterior. As propriedades da envoltória são determinantes para o desempenho termo-lumínico-energético da edificação, pois são as propriedades térmicas que vão definir o fluxo de calor entre a edificação e o meio, e é o tamanho e translucidez do vidro que vão determinar a quantidade e qualidade da iluminação natural que adentra o edifício.

Por meio da Figura 11, percebe-se que a maior parte das edificações têm fachadas de alvenaria (89%), coberturas em laje (54%), elementos de sombreamento do tipo brises (54%) e as esquadrias são compostas por vidros simples incolores (83%).

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

As quatro auditorias energéticas descritas a seguir foram realizadas a partir de visitas *in loco* em quatro edificações.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados principais das edificações analisadas.

Tabela 3 – Dados principais das edificações auditadas

Edificação	A	B	C	D
Número de Pavimentos	1	1	1	1
Município	São Paulo	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis
Estado	SP	SC	SC	SC
Pé-Direito¹ [m]	N/D	3,00	2,95	3,00
Perfil de ocupação²	Monousuário	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	Manhã/Tarde	Manhã/Tarde	Manhã/Tarde	Manhã/Tarde
Área construída [m²]	2.143,01	1.428,50	2.448,16	1.492,10
Área Útil³ [m²]	2.143,01	1.428,50	2.448,16	1.492,10
Área Privativa⁴ [m²]	1234,10	877,70	1330,95	732,01
Área Comum⁵ [m²]	908,91	550,80	488,00	760,09
Taxa de Ocupação⁶ [%]	57%	61%	72%	86%
Densidade de Potência de Iluminação [kWh/m²]	7,06	2,28	4,73	4,47
EUI real [kWh/m²/ano]	75,74	25,64	19,16	18,52

¹ Medida de Piso a forro.

² Monousuário - Único Locatário; Multiusuário - Diversos Locatários; Individual - Edifício único; Coletivo - Edifícios Corporativos.

³ Soma das áreas Comuns e Privativas, exclui áreas técnicas, garagens, jardim, depósitos e etc.

⁴ Soma das áreas Privativas (Ex.: Quartos, Salas, Escritórios, etc.).

⁵ Soma das áreas Comuns (Ex.: Corredores, Hall, Academia, Quadra, Piscina e etc.).

⁶ Relação entre a área efetivamente ocupada por funcionários, professores e alunos e a área total

*Nota: N/D = não disponível.

Nota-se que o EUI real das edificações auditadas variou de 18,52 a 75,74 kWh/m²/ano, com média de 34,76 kWh/m²/ano, em contraste com a média de 28,0 kWh/m²/ano identificada na análise do banco de dados do estoque. Apesar da diferença de 24% entre os EUIs médios, a faixa de valores se manteve próxima da faixa de valores observada na análise do banco de dados dos estoques desta tipologia.

A Tabela 4 apresenta a síntese dos principais sistemas presentes nas edificações auditadas. É importante enfatizar que os projetos compartilhavam características similares e que aqui descreve-se a percepção média destes sistemas.

Tabela 4 – Caracterização dos sistemas das edificações auditadas

SISTEMAS	CARACTERÍSTICAS
Fornecimento de energia	Rede aérea de baixa tensão, subgrupo B3, modalidade tarifária convencional
AVAC	Apenas sistema unitário do tipo <i>split On/Off e inverter</i> , tanto nas salas de aula quanto em ambientes administrativos. Não foram observados sistemas centralizados.
Iluminação	Luminárias com duas lâmpadas tubulares tipo T8 Fluorescente de 32 W (40 W/luminária); Lâmpadas LED e fluorescentes compactas em algumas áreas; refletores para iluminação externa.
Aquecimento de água	Em poucas edificações, foi percebida a existência de chuveiros elétricos de 5.400 W para usos emergenciais (não frequente).
Cargas de tomadas	Computadores em áreas de laboratório e administrativas; áreas comuns com televisores, bebedouros e antenas antifurto; copas com geladeira, micro-ondas, cafeteira e fogão.
Cargas específicas	Não foram observadas cargas específicas.
CPDs	Presença de equipamentos do tipo <i>rack</i> e <i>switches</i> para composição da rede interna da edificação, com potências menores e de nobreaks com fonte de alimentação ininterrupta – UPS.
Gerador	Não informado

As quatro edificações possuem formatos diferentes, sendo uma edificação com formato em “L”, outra em formato retangular, outra em formato H e outra em múltiplos blocos. O pé direito médio foi de 3,0 m e perfil de ocupação monousuário. Apesar das edificações auditadas apresentarem apenas um pavimento, a análise verificada pela amostra do projeto META indica a existência significativa de edificações de até 3 pavimentos para esta tipologia.

De modo geral, as edificações desta tipologia apresentam partido arquitetônico similar, com espaços funcionais parecidos, como: áreas comuns (hall de acesso, cantina, espaço para integração); áreas privativas (salas administrativas, salas de professores, biblioteca, auditório, laboratórios e salas de aula). Poucas áreas técnicas foram identificadas, sendo apenas considerado depósitos e jardins.

Dentre as edificações auditadas, a área construída média é de 1.877,94 m², com área útil média de 98% desse valor. A área construída da amostra auditada se mostrou próxima (25% maior) da área construída média da análise do estoque. A proporção de área privativa média é de 56% da área útil e de área comum é de 44% da área útil. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns e privativas de cada edificação auditada.

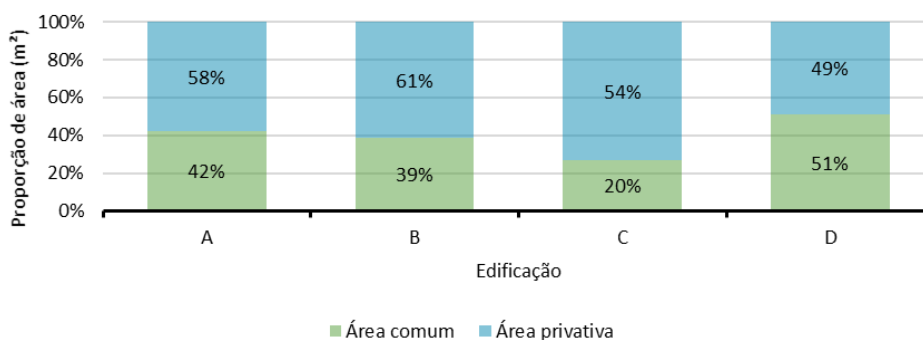


Figura 12 – Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas

OCUPAÇÃO

As quatro edificações analisadas têm horário de funcionamento nos períodos da manhã e tarde. O período de funcionamento é uma variável importante nesta tipologia, uma vez que é determinada pelos turnos de aulas e, conseqüentemente, impacta no consumo da edificação.

A quantidade média de funcionários foi de 62 pessoas, contrastando com a média de 25 funcionários por edificação obtida na análise do estoque, não tendo sido identificado o número de funcionários do edifício A. A taxa de ocupação total de pessoas variou de 57 a 86% (Figura 13).

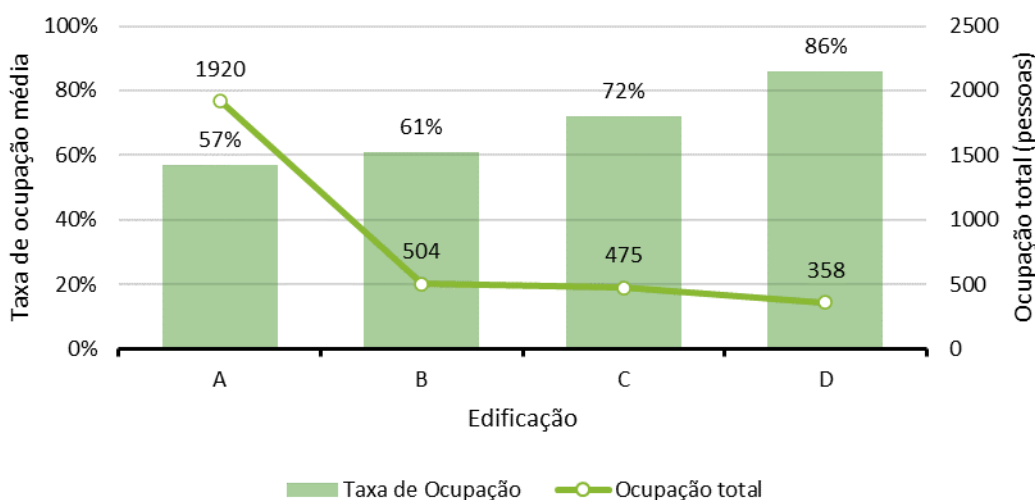


Figura 13 – Taxa de ocupação e ocupação total (funcionários e alunos)

A Figura 13 apresenta também a ocupação total de cada edificação (soma entre funcionários e alunos). Com relação à quantidade de alunos, o valor médio foi de 814 alunos. Considerando a ocupação total da edificação, as auditorias resultaram em uma ocupação média de 2,15 m² por pessoa, bem próximo do valor médio do estoque analisado, que foi de 2,00 m² por pessoa.

CARGAS ESPECIAIS

Não foram encontradas cargas especiais em **Escola de Ensino Fundamental e Médio**. Observou-se, porém, a presença de elementos de processamento de dados para composição da rede lógica interna da edificação. Estes equipamentos são principalmente *racks* e *no-breaks* que ficam em ambientes administrativos (geralmente a Secretaria ou Diretoria) e nas salas de informática. A Figura 14 apresenta o consumo desses equipamentos o impacto no consumo total das edificações auditadas.

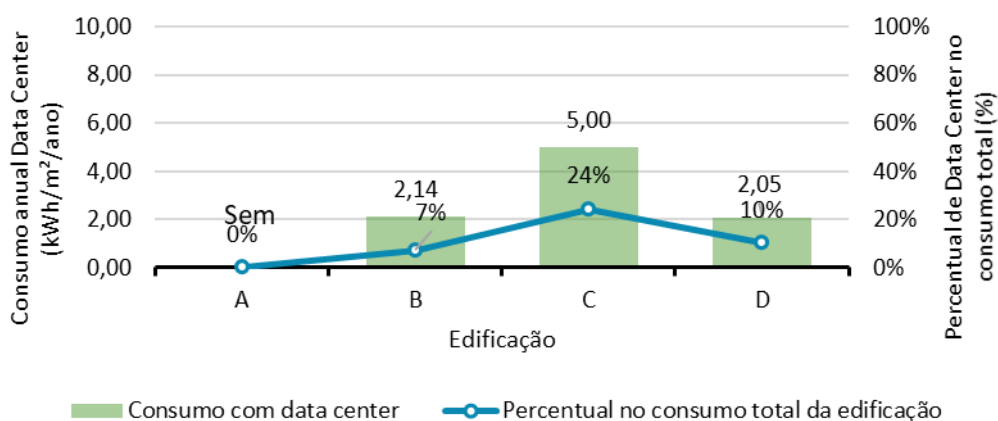


Figura 14 – Proporção do consumo de Data Center em relação ao consumo total das edificações auditadas

A média de consumo com racks, switches e no-breaks foi de 3,07 kWh/m²/ano, representando em média cerca de 15% no consumo total médio das edificações auditadas. Pode-se perceber que o impacto desses equipamentos não é muito significativo no consumo total da edificação. Vale a pena observar, no entanto, que na edificação C o percentual de 24% no consumo total é significativo. Tal fato deve-se à infraestrutura de computadores diferenciada em relação às outras edificações auditadas, uma vez que os diversos CPDs, racks e nobreaks são distribuídos nos diversos blocos existentes ao invés de centralizados para toda a escola.

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar nas tipologias de **Escola de Ensino Fundamental e Médio**, a densidade de refrigeração média é de 119,68 BTU/h/m² de área total. Em relação às áreas condicionadas, a densidade de refrigeração média foi de 516,56 BTU/h/m². A Tabela 5 apresenta a síntese da potência dos sistemas AVAC instalados nas edificações auditadas.

Tabela 5 - Lista de equipamentos do sistema de condicionamento de ar nas edificações auditadas

Edifício	Tipo de equipamento	AMBIENTE	Potência instalada [BTU/h]
A	N/D	-	-
B	Split On/Off	- Salas de aula	390.000
	Split On/Off	- Laboratórios e Biblioteca	
C	Split On/Off	- Salas Administrativas	30.000
	Split On/Off	- Laboratório de informática	
D	Split On/Off	- Auditório	54.000
	Split On/Off	- Salas de aula	
D	Split On/Off	- Laboratórios e Biblioteca	289.5000
	Split On/Off	- Salas Administrativas	

A partir de uma abordagem de aproximação do consumo, baseado no método instituído pela **planilha de auditoria energética CBCS-DEO**, foram estimados os consumos de energia anuais com o sistema AVAC das edificações auditadas. Esta estimativa do consumo levou em consideração a potência de resfriamento dos aparelhos, seus coeficientes de *performance* e as horas de operação das edificações - considerando que o sistema opera sempre que há ocupação. A Figura 15 apresenta os resultados dessa estimativa e o quanto o consumo com os sistemas AVAC representam no consumo total de cada edificação.

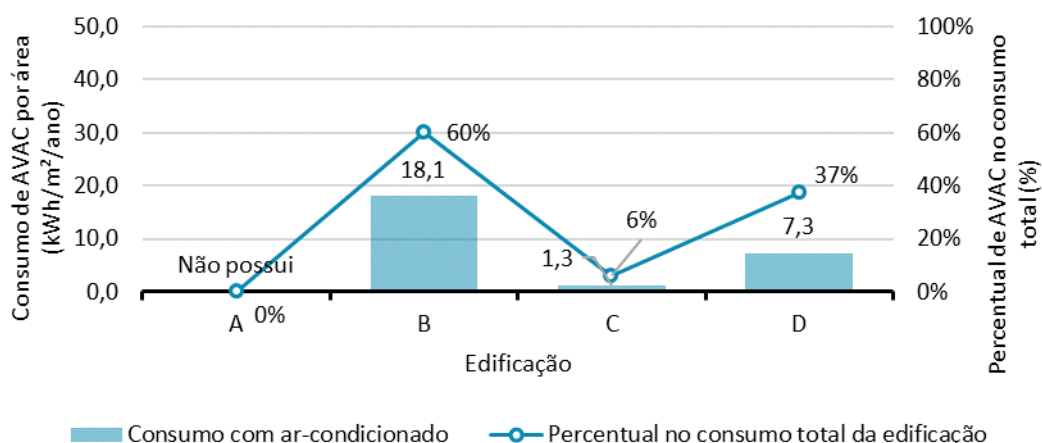


Figura 15 - Proporção do consumo dos equipamentos do sistema AVAC em relação ao consumo total nas edificações auditadas

Percebe-se que o condicionamento de ar pode ser uma parcela expressiva no consumo total edificação, quando existente, variando de 71 a 40% nas edificações auditadas. É importante enfatizar que a edificação “C” possui equipamento de ar condicionado apenas na sala de informática e auditório, enquanto as edificações “B” e “D” apresentam nas salas de aula e salas administrativas também. Dessa forma, o impacto do sistema AVAC na edificação “C” foi menor. Além disso, a edificação “A” não possuía nenhum equipamento de ar condicionado.

As auditorias evidenciaram que não é comum a presença de sistemas centrais de condicionamento de ar, tendo sido encontrados os sistemas individualizados do tipo *splits* dedicados a cada uma das áreas condicionadas.

Como o consumo de energia com sistemas de condicionamento de ar é intrinsecamente dependente do clima, é importante visualizar as características climáticas nas quais as edificações estão inseridas. A Figura 16 apresenta os GHR da região única em que estão as edificações auditadas, em conjunto com o EUI total da edificação e o consumo com equipamentos do sistema AVAC, portanto, neste cenário, a análise não é capaz de trazer maiores correlações. Ressalta-se que a edificação “A” não possuía nenhum aparelho de ar condicionado.

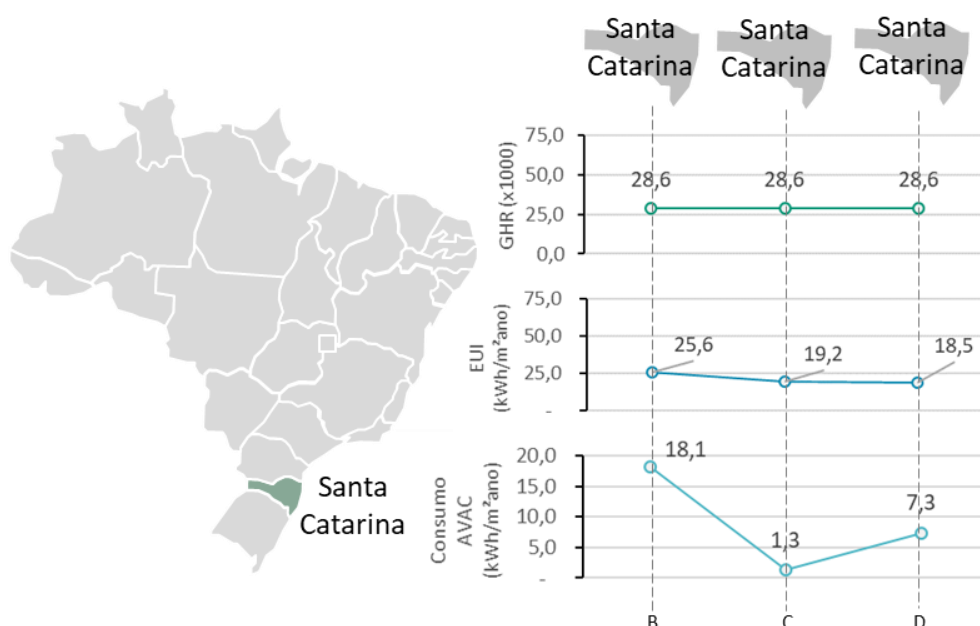


Figura 16 – Relação entre consumo do sistema AVAC, EUI e GHR regiões onde estão inseridas as edificações auditadas

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação nas tipologias de **Escola de Ensino Fundamental e Médio**, verificou-se majoritariamente o uso de dois diferentes tipos de luminárias: lâmpadas do tipo fluorescentes T8 em luminárias duplas e lâmpadas compactas fluorescentes. A Figura 17 apresenta o consumo com iluminação estimado pela **planilha de auditoria energética CBCS-DEO** e a proporção do seu consumo em relação ao consumo total estimado da edificação.

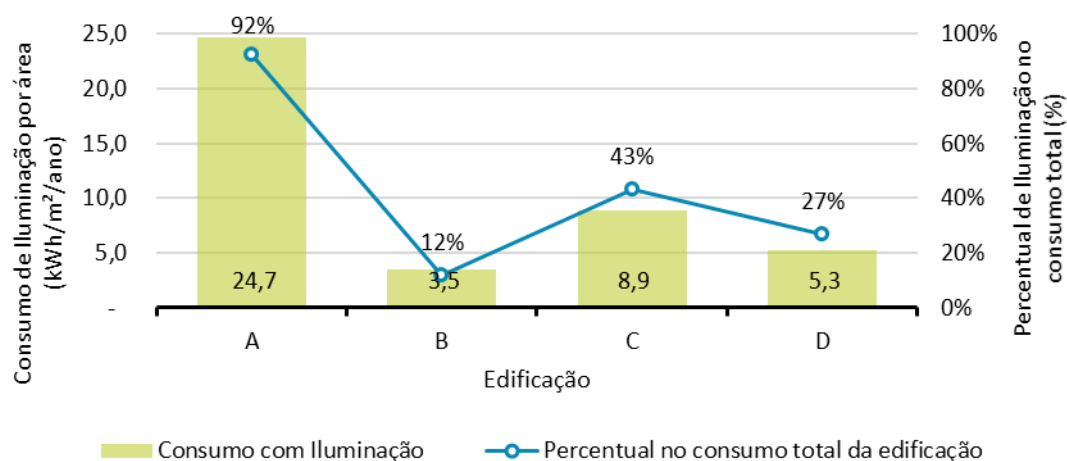


Figura 17 – Proporção do consumo de iluminação em relação ao consumo total nas edificações auditadas

Há uma variação considerável entre os consumos por área com iluminação, variando de 3,5 a 24,7 kWh/m²/ano. Além disso, este uso final se mostrou expressivo no consumo total da edificação como um todo, variando de 14 % a 46% do consumo anual. Pode-se observar que a iluminação é mais impactante no consumo total nas edificações que possuem menos equipamentos de condicionamento de ar (edificação A e C).

CARGAS DE TOMADA

Cargas de tomada nas tipologias de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** constituem um uso final importante em relação ao uso de energia em edificações. No caso das edificações auditadas, estimou-se o consumo com cargas de tomada com base na quantidade de *workstations* e similares que foram registrados no levantamento de dados. A Figura 18 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total estimado de cada edificação.

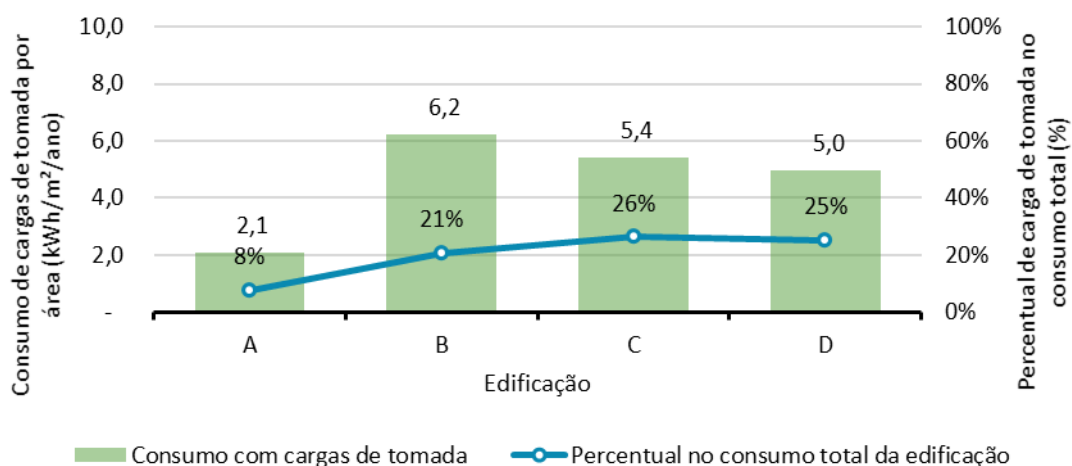


Figura 18 – Proporção do consumo de energia para cargas de tomada em relação ao consumo total nas edificações auditadas

É possível perceber que a proporção das cargas de tomada no consumo total da edificação apresentou variação significativa apenas em relação à edificação A. Em média, pode-se dizer que as cargas de tomada representam cerca de 21% do consumo total anual de uma edificação dessa tipologia (4,7 kWh/m²/ano).

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 19 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações na tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** auditadas e calculados por meio da **planilha de auditoria energética CBCS-DEO**.

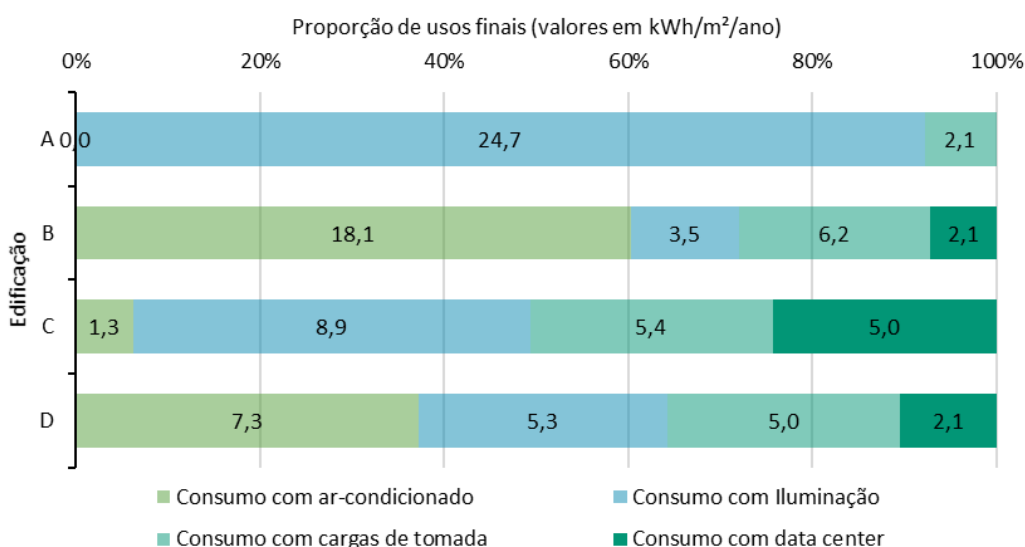


Figura 19 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível perceber que o consumo com sistemas de condicionamento de ar, quando presente, é representativo em relação aos demais, representando em média 12,7 kWh/m²/ano, cerca de 30 % do consumo médio de todas as auditorias. As edificações que não possuem tais sistemas, tem a iluminação como sistema mais representativo, com média de 15,0 kWh/m²/ano, cerca de 48 % do consumo médio de todas as auditorias. Na sequência, as cargas de tomada representaram em média 4,7 kWh/m²/ano, em média 21 % do consumo médio de todas as auditorias. Data centers (CDPs) representaram 3,07 kWh/m²/ano, em média 14 % do consumo médio de todas as auditorias.

Por fim, a partir da estimativa da planilha CBCS-DEO, o EUI médio das edificações auditadas foi de 27,3 kWh/m²/ano.

5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS

VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E VARIÁVEIS RELEVANTES

O arquétipo desenvolvido e detalhado no relatório RT2B.011, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados desta análise do estoque e das auditorias energéticas.

A Tabela 6 apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

Tabela 6 -Resumo dos principais dados construtivos

Dados	Análise do estoque	Auditorias	Arquétipo CBCS
Pavimentos	-	1	2
Subsolos	-	0	0
Pé-Direito* [m]	-	3,00	3,00
Formato	-	Retangular, Múltiplos edifícios, "L"	Retangular
Sombreamento	-	Persianas internas	Variável
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	Manhã/Tarde	Manhã/Tarde	Variável (Manhã/Tarde/Noite)
Área Construída [m ²]	Média= 1497,0	1.877,9	1.566
	Mediana= 1241,0		
Área Privativa [%]	-	56 %	57,2%
Área Comum [%]	-	44 %	42,8%
Área Técnica [%]	-	0 %	0%
Ocupação [m ² por pessoa]	2,0	2,15	Cenário 1 = 1,0 Cenário 2 = 2,0 Cenário 3 = 4,0

* Medida de Piso a forro;

O modelo do arquétipo do CBCS foi constituído por uma edificação de dois pavimentos, com dimensões de 45 m x 17,4 m x 6,0 m (L x C x H), do tipo monousuário, com 17 zonas térmicas condicionadas (salas de aula, salas administrativas, laboratórios, auditório e biblioteca) e uma área total de 1.566m², com grande parcela da edificação dedicada à área privativa (salas de aula).

A volumetria da edificação foi considerada retangular, de acordo com os resultados das auditorias e da análise de banco de dados. A envoltória foi considerada com paredes de alvenaria simples de 15 cm ($U_{\text{parede}} = 2,55 \text{ W/m}^2\text{K}$) e cobertura com laje ($U_{\text{cobertura}} = 1,01 \text{ W/m}^2\text{K}$). O tipo de vidro considerado foi vidro simples ($U_{\text{vidro}} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ e Fator solar = 0,7).

Quanto à ocupação, apesar da não variação no estoque e nas auditorias, adotou-se este parâmetro como uma variável do modelo, tendo sido determinados cenários de alta, média e baixa ocupação que foram testados e incluídos na parametrização para criação da equação, de forma que diversas faixas de ocupação sejam representadas.

Considerou-se como parâmetros variáveis na composição dos cenários de simulação do modelo:

- **Ocupação:** três cenários com alta, média e baixa densidade de alunos;
- **Iluminação:** um cenário com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de $9,90 \text{ W/m}^2$ e outro cenário com DPI médio de $16,32 \text{ W/m}^2$;
- **Turno:** um cenário com aulas nos períodos manhã, tarde e noite e outro cenário com aulas nos períodos manhã e tarde;
- **Sombreamento:** um cenário com brise e outro cenário sem brise.
- **Orientação solar:** um cenário com fachada principal voltada a Sul e outro cenário com a fachada principal voltada a Leste;
- **Cor da envoltória:** um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outros cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Sistema de condicionamento de ar:** três cenários, sendo um cenário com splits instalados em todos os ambientes com permanência prolongada, outro cenário com splits instalados somente nas salas administrativas, bibliotecas e salas de uso múltiplo, e um terceiro cenário com ventiladores em salas de aula e salas administrativas.
- **Renovação de ar:** um cenário sem renovação de ar e outro cenário com renovação de ar com a vazão apropriada de acordo com o tipo de ambiente, conforme Nível 2 da norma ABNT NBR 16401-3.

COMPARAÇÃO DO CONSUMO REAL COM OS CONSUMOS ESTIMADOS

A comparação do consumo real com as estimativas é uma etapa importante de validação dos métodos utilizados para estimativa do consumo de energia em edificações.

O método de estimativa de consumo energético proposto pela **planilha CBCS-DEO** leva em consideração as potências, a operação e o fator de uso de cada equipamento presente na edificação. Já a estimativa pela equação de *benchmark* é obtida por meio da aplicação de regressão múltipla, calculada a partir dos resultados das simulações realizadas sobre o arquétipo embasado nas auditorias e análises do estoque detalhados no presente relatório.

Assim, a estimativa do consumo de energia anual também foi calculada, por meio da inserção das informações obtidas nas quatro auditorias realizadas nas equações de *benchmark* desenvolvidas para a tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio**, detalhada no relatório **RT2B.11**, as quais consideram as seguintes variáveis independentes:

- a) GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação;
- b) GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação;
- c) ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m^2);
- d) TURN – Turno;
- e) ASOL – Absortância da envoltória;

- f) SOMB – Uso de elementos de sombreamento;
- g) PESS – Densidade de alunos em sala de aula (m² por aluno);
- h) RENO – Renovação de ar;
- i) ORIE – Orientação da fachada principal da edificação.

A variável AVAC foi considerada para esta tipologia em termos de percentual de ambientes condicionados. Deste modo, tanto para as cidades com GHR maiores que 54 mil quanto para aquelas com GHR menores que 54 mil, há duas equações, uma considerando a edificação totalmente condicionada e outra parcialmente condicionada, resultando, portanto, em quatro equações de *benchmark*. Uma quinta equação de *benchmark* foi desenvolvida para edificações sem sistema de condicionamento de ar, apenas com o uso de ventiladores.

Dessa forma, inseriu-se as características de cada edificação auditada na equação correspondente: os dados da edificação A foram inseridos na equação de *benchmark* para edificações sem sistema de condicionamento de ar, a edificação B na equação para edificações totalmente condicionadas e as edificações C e D na equação para edificações parcialmente condicionadas. As equações de *benchmark* foram desenvolvidas a partir das simulações realizadas e detalhadas no **relatório RT2B.11**.

A Figura 20 apresenta a comparação do consumo real das edificações auditadas em relação às estimativas calculadas por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO e da equação de *benchmark*.

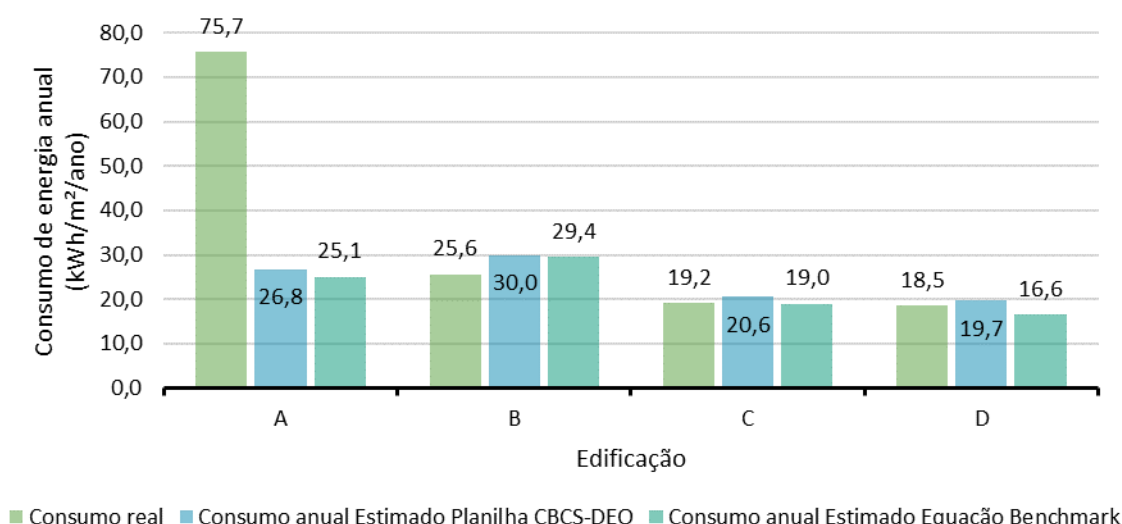


Figura 20 – Comparação do consumo real e dos consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark desta tipologia

De maneira geral, é possível visualizar que as estimativas se aproximaram do consumo real, exceto para a edificação A. Percebe-se que a diferença relativa entre o consumo de energia estimado pela Planilha CBCS-DEO e o consumo real variam entre 6 e 17% para as edificações de B a D. O consumo estimado da edificação A tanto por meio da planilha quanto por meio da equação de *benchmark*, ambos apresentaram diferenças de 65 e 67%, respectivamente. Essa diferença pode ser atribuída à alta DPI que a edificação A apresentou, em relação às demais edificações observadas. Enfatiza-se que a estimativa da edificação A foi feita com a equação para edificações sem sistema de condicionamento de ar. Outro fator a considerar, a edificação A apresentou EUI real muito superior às demais edificações avaliadas, mesmo sem possuir condicionamento de ar, o que pode ser devido à ineficiência no uso e operação dessa edificação ou falhas nos sistemas.

A comparação do consumo anual estimado pela equação de *benchmark* se mostrou com boa precisão para as edificações B, C e D, variando de 1 a 12% de diferença a menos em relação ao consumo real. Neste caso, as diferenças entre valores reais e as estimativas podem ser atribuídas às incertezas inerentes do processo de estimativa, que podem ser motivos de diferenças em padrões de operação e ocupação levantados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Escola de Ensino Fundamental e Médio** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 2.989 dados completos e tratados, cobrindo 18 das 23 Unidades Federativas brasileiras) e da análise de auditorias energéticas realizadas em quatro edificações em duas cidades.

A análise do estoque e a síntese dos resultados das auditorias energéticas realizadas serviram para caracterizar uma amostra de edificações desta tipologia, identificando os principais usos finais de energia em cada edificação e as suas proporções em relação aos consumos totais anuais.

A partir de extensiva análise das características contidas nestas bases de dados, foram identificados os aspectos predominantes pertinentes a esta tipologia, relacionados às características construtivas, ocupação, cargas especiais, sistema de condicionamento de ar, iluminação e cargas de tomada.

O processo de validação comparou estas características e os resultados das auditorias, confrontando os valores de consumo real com os valores estimados, tanto pelo método de estimativa da planilha auditoria energética CBCS-DEO quanto pela equação de *benchmark* desenvolvida.

A comparação dos consumos estimados com o consumo real evidenciou que o método de estimativa da planilha CBCS-DEO proporciona resultados coerentes com a realidade encontrada nas edificações auditadas na maioria dos casos, uma vez que os valores de consumo estimados foram próximos dos valores de consumo reais. Similarmente, as estimativas realizadas pela equação de *benchmark* também levaram a resultados próximos aos resultados de consumo por metro quadrado reais das edificações. Excetua-se a edificação A nestas conclusões. Neste caso, sugere-se que a diferença entre o consumo estimado e seu consumo real seja decorrente de ineficiência em operação e à alta DPI observada.