



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.12: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Universidade e Instituição de Ensino Técnico

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 01/02/2021

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 Universidade e Instituição de Ensino Técnico.

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).....	11
Iluminação artificial.....	12
Características construtivas	13
4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS	14
Características gerais.....	14
Ocupação.....	16
Cargas especiais	16
Condicionamento de ar.....	18
Iluminação.....	20
Cargas de tomada.....	20
Análise dos usos finais.....	21
5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS	22
Validação do arquétipo e variáveis relevantes	22
Comparação do consumo real com os consumos estimados	23
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25

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

Figura 1.

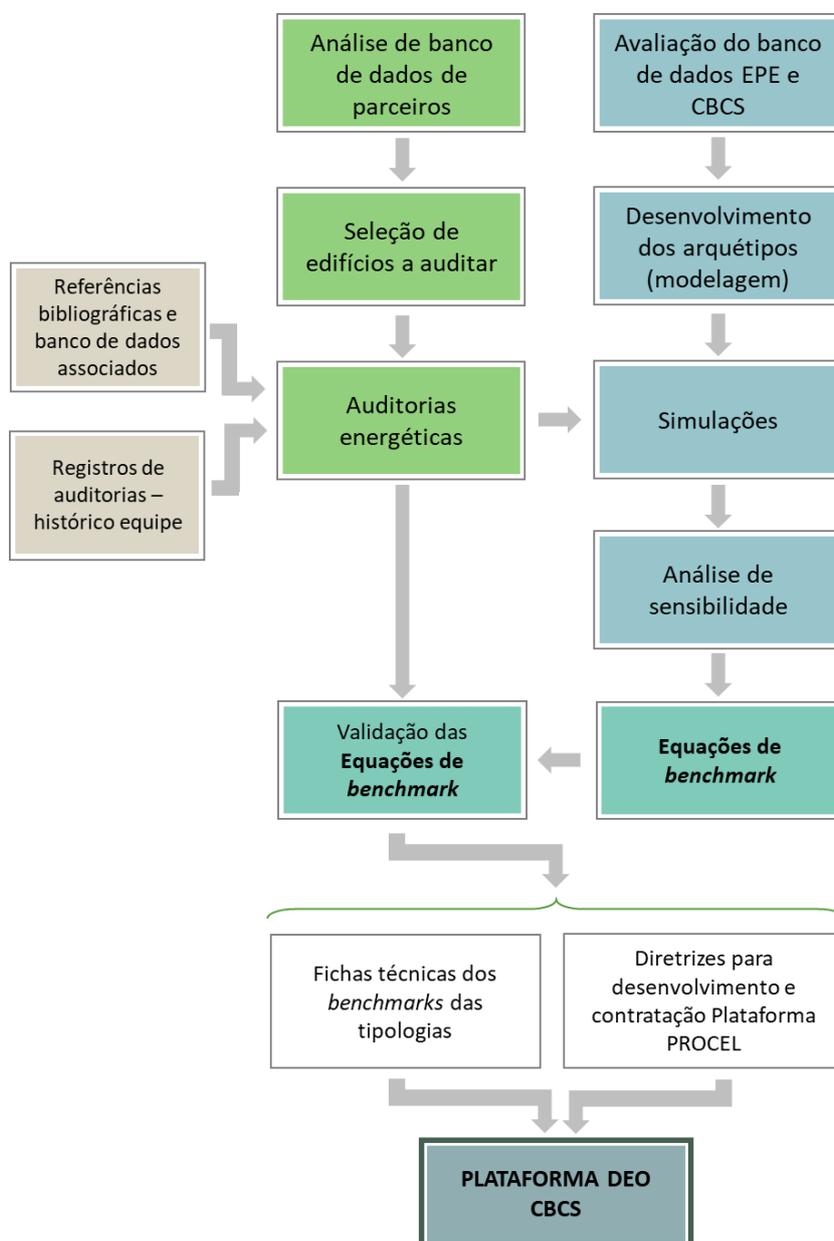


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** 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 **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** foi feita com base nas amostras descritas no projeto META e por meio do compartilhamento voluntário nos 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 15 das 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por 606 unidades de edificações, representando faculdades, universidades, instituições de ensino técnico e superior. Nela, o estado de Santa Catarina contribui com dados de 66 edificações, representando aproximadamente 38% do banco de dados, seguido pelo estado de Rio Grande do Sul, com 18% 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 359 unidades. Destas 359 unidades, 270 unidades (aproximadamente 75%) apresentam informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: quantidade de computadores, quantidade de equipamentos de laboratórios, quantidade de salas de aula, idade de construção e quantidade de funcionários.

Cinco edifícios foram auditados e são apresentados separadamente.

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

Tabela 1 - Resumo dos dados disponíveis do estoque da tipologia de Universidade e Instituição de Ensino Técnico

RESUMO DO BANCO DE DADOS	
Amostra bruta	606 unidades
Amostra tratada (sem valores espúrios)	359 unidades
Amostra selecionada (dados completos)	270 unidades
Unidades Federativas contendo dados	15
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 equipamentos de laboratório; – Quantidade de salas de aula; – Quantidade de computadores.
Auditorias energéticas	5

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A Tabela 2 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra para a tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**.

Tabela 2 – Medidas de síntese estatística das variáveis do estoque para a tipologia de Universidade e Instituição de Ensino Técnico

VARIÁVEIS	VALOR MÍN.	1° QUARTIL (25%)	MEDIANA (50%)	MÉDIA	3° QUARTIL (75%)	VALOR MÁX.
Ano de construção	1.940	1.975	1.987	1.984	1.998	2.015
Número de Funcionários	4	9	12	16	20	60
Número de Funcionários/100 m ²	0	2	4	8	11	56
Número de Salas de Aula	2	4	7	9	11	34
Número de Computadores	-	1	8	8	11	20
Número de Equipamentos de Laboratório	-	5	9	11	18	25
Número de Geladeiras e Freezers	-	1	1	2	2	14
Área média das salas de aula	20	36	40	45	51	80
Área Total [m ²]	25,0	1.300,7	3.991,3	6.239,9	7.388,2	60.114,8
EUI [kWh/m ² /ano]	2,2	32,4	53,7	63,2	69,9	574,2

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 63,2 kWh/m²/ano, variando de 32,4 a 69,9 kWh/m²/ano entre o primeiro e o terceiro quartil.

Com relação à área total construída, a amostra apresenta área construída média de 6.239,9 m², mediana de 3.991,3 m² e desvio de padrão de 5.508,40 m². A Figura 2 apresenta um histograma da área construída. Observa-se que até 50% das edificações têm área construída de até 4.000 m².

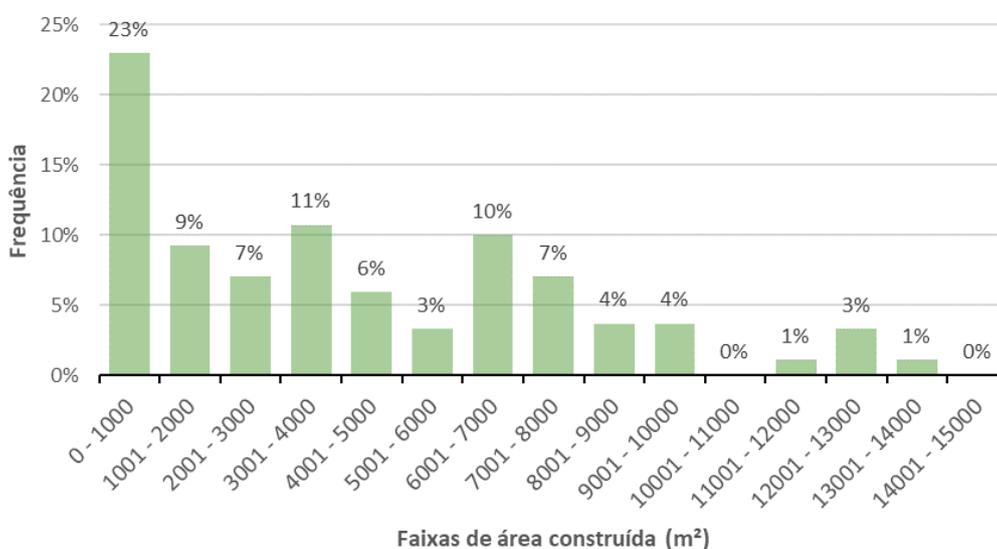


Figura 2 - Histograma da área construída total

Além da área construída, outras características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especialmente para a tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**, a quantidade de computadores, a quantidade de equipamentos de laboratório e a quantidade de salas de aula foram definidas como sendo estes fatores, dentre as variáveis presentes na base de dados. A Figura 3 apresenta o comportamento das variáveis importantes que caracterizam esta tipologia, considerando a amostra selecionada.

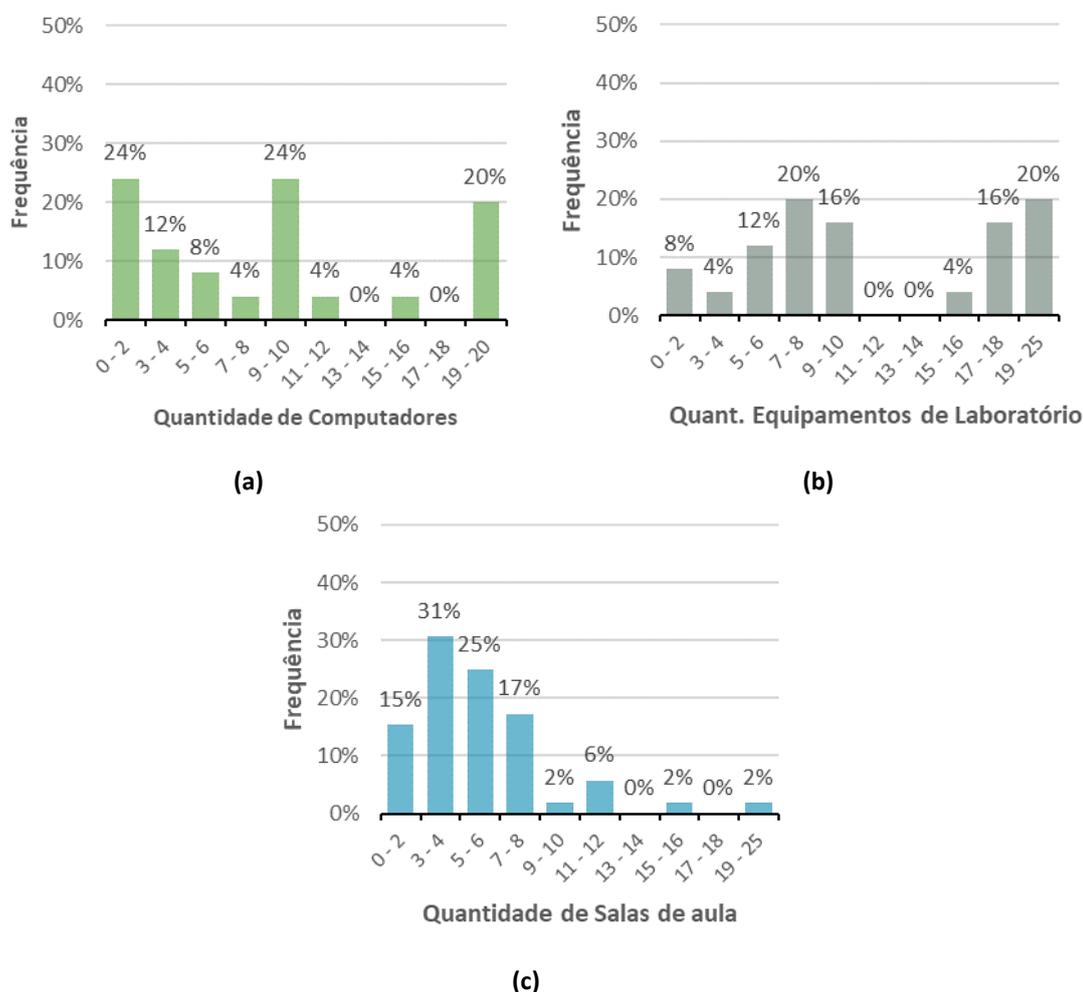


Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação

Nota-se que a quantidade de computadores é uma variável que depende muito do tipo de ocupação de cada edificação, uma vez que há uma distribuição não uniforme entre os valores. Porém, tem-se uma mediana de 20 computadores totais em cada uma das edificações. Com relação aos equipamentos de laboratório, há uma média de 11 equipamentos por edifício. Esses equipamentos não foram especificados e variam muito de acordo com os cursos oferecidos e as especificidades inerentes ao seu ensino. Já com relação às salas de aula, a média é de 9 salas de aula por edificação, porém, nota-se que cerca de 88% das edificações possuem até 8 salas de aula.

OCUPAÇÃO

A ocupação das tipologias de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** 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.

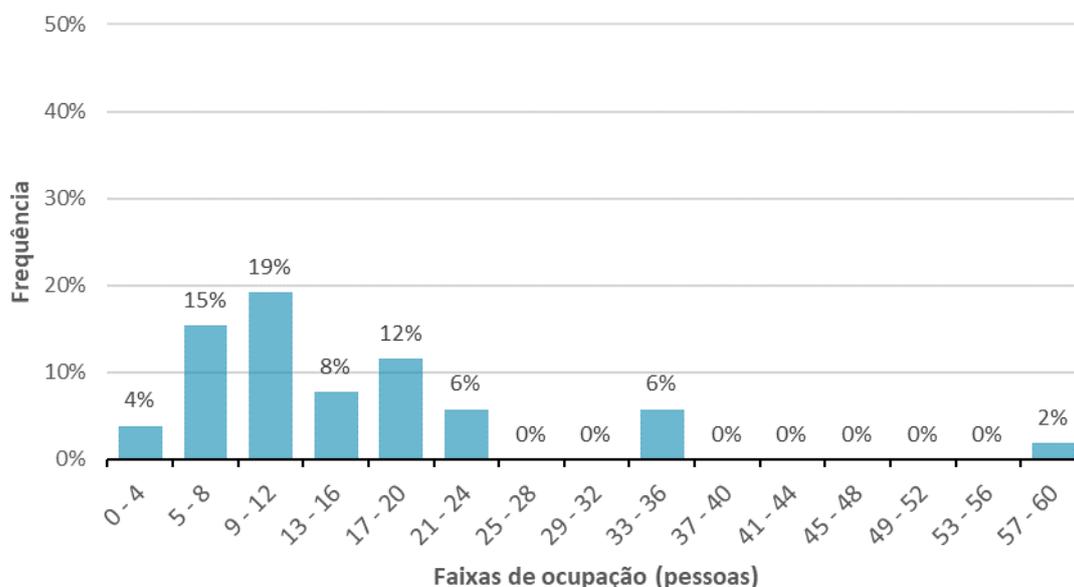


Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários

A quantidade de edificações com até 25 funcionários corresponde a maior parte do estoque, cerca de 90% das edificações. Em média, uma edificação desse tipo possui 16 funcionários. A proporção de área por funcionário é de 267,7 m² por funcionário, considerando a área construída média.

No que se refere à quantidade de alunos, dentre as 270 unidades da amostra selecionada, apenas cinco divulgaram a sua quantidade de alunos. Assim, a Figura 5 apresenta um histograma dessa variável de acordo com as informações disponíveis.

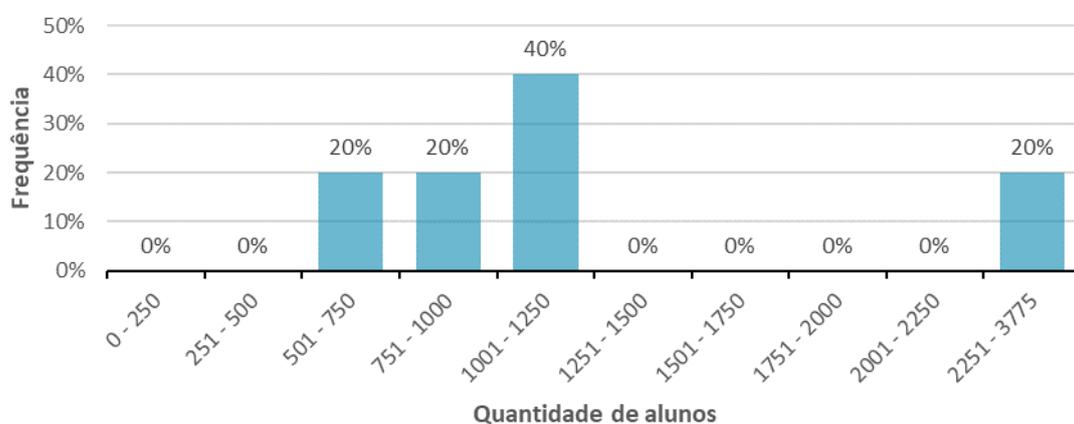


Figura 5 – Histograma da ocupação por alunos

No estoque analisado, uma edificação de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** tem, em média, 1.498 alunos, resultando em uma ocupação média de 4,16 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 4,12 m² por pessoa.

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

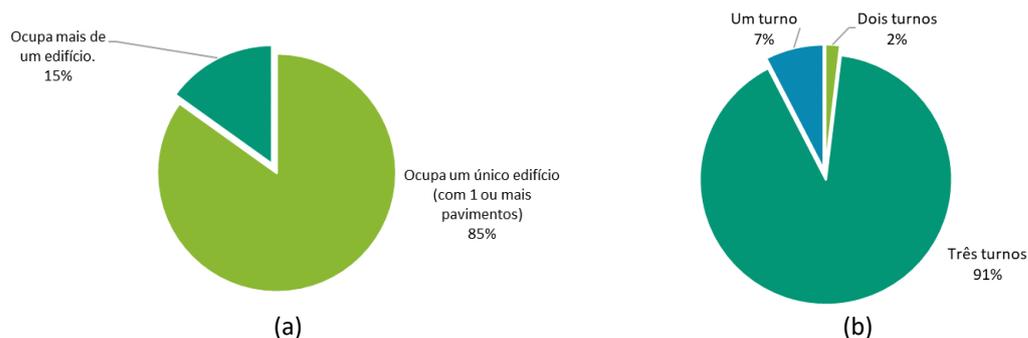


Figura 6 – Ocupação do edifício em termos de (a) número de edificações e (b) turnos de operação

Como grande parte do estoque (85%) ocupa um único edifício, pode-se dizer que esta tipologia é representada majoritariamente por edificações monousuário. Além disso, pode-se perceber que é frequente que as edificações dessa tipologia funcionem em três turnos (manhã, tarde e noite).

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 maior de edificações verticalizadas, de até 4 andares. O número máximo de andares observado na amostra foi 5 andares.

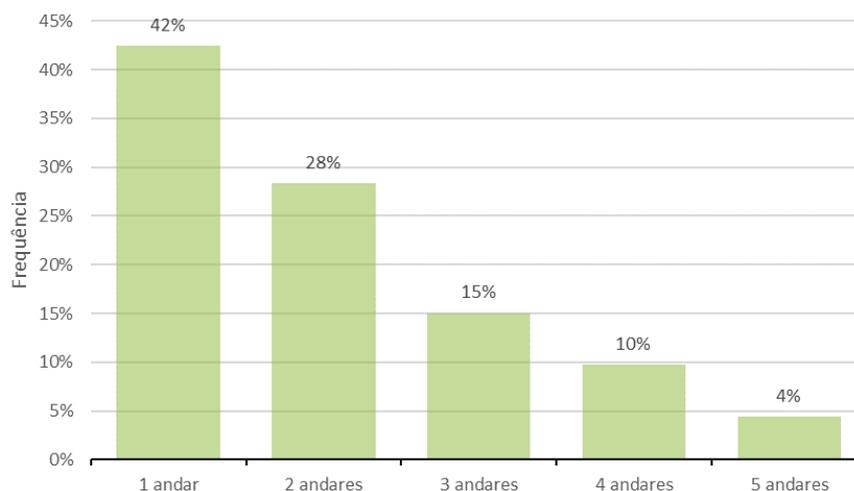


Figura 7 – Histograma do número de pavimentos das edificações.

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 **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** típica é uma edificação de diversos pavimentos, bloco único, com aproximadamente 6.239,9 m² de área construída, ocupação média de 25 funcionários e 1.500 alunos e operação em três turnos.

CARGAS ESPECIAIS

Poucas edificações do estoque analisado da tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** apresentavam cargas especiais. Apenas 3 universidades apresentaram seus elevadores como cargas especiais, representando menos de 1% do estoque total.

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

Reitera-se aqui a presença de cargas especiais de equipamentos de laboratório, que não tiveram suas características especificadas no levantamento de banco de dados, mas que com certeza podem influenciar no consumo de energia da edificação, dependendo do tipo de equipamento e seu uso.

INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA (EUI)

O EUI médio para a tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** na amostra analisada é de 63,2 kWh/m²/ano e mediana 53,7 kWh/m²/ano, com um desvio padrão de 102,88 kWh/m²/ano. A Figura 8 apresenta uma análise da distribuição desta variável. A maior parte das edificações (54%) possui consumos entre 25 a 100 kWh/m²/ano, entretanto, há uma pequena parcela que apresenta consumos maiores que 350 kWh/m²/ano. Nestes casos, supõe-se tratar de edifícios com grande uso de equipamentos de condicionamento de ar ou outros equipamentos específicos da unidade de ensino.

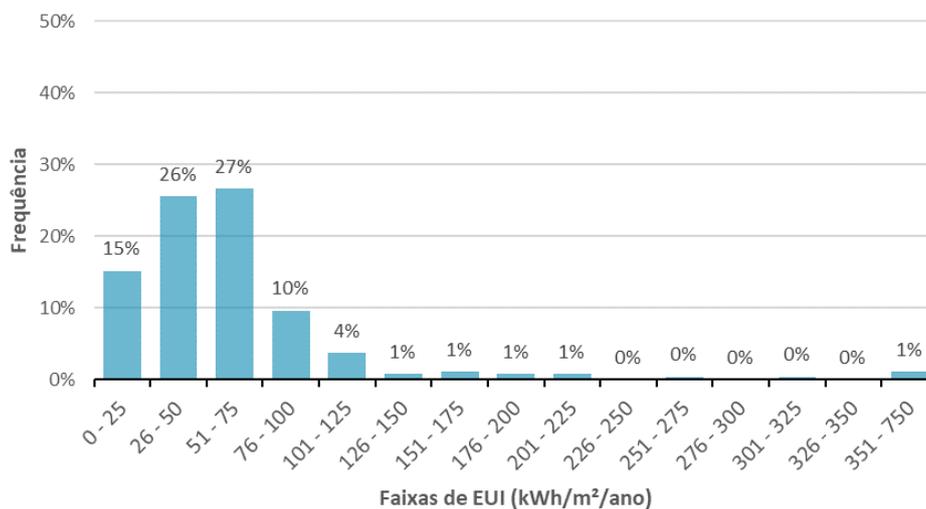


Figura 8 – Histograma da variável EUI

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 5×10^{-6} (rejeitando-se a hipótese da normalidade). Porém, é possível observar que a variável segue uma distribuição que se assemelha à log-normal.

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.

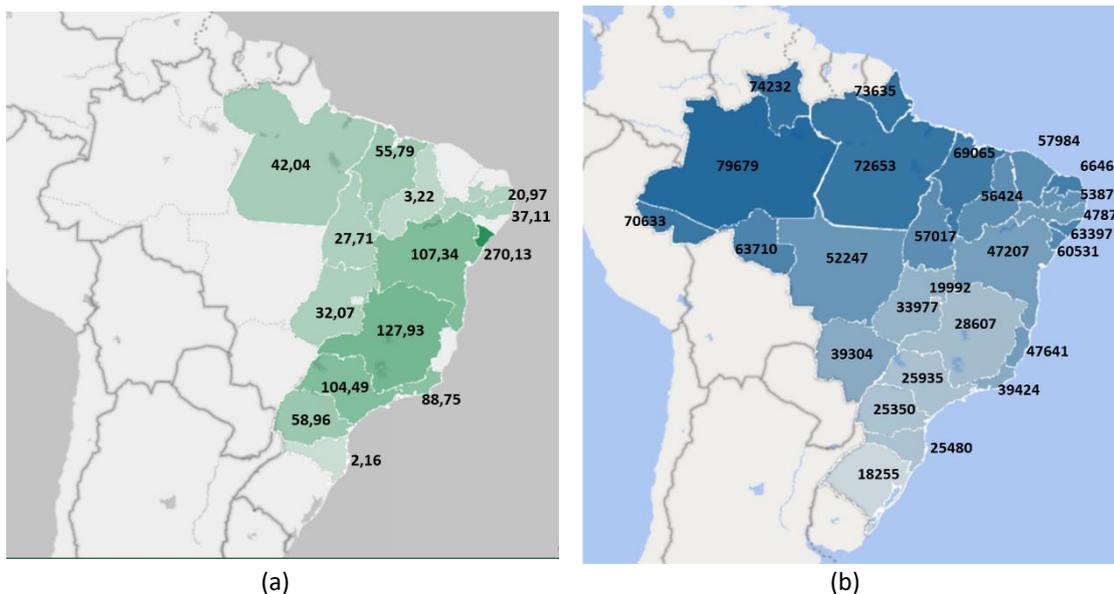


Figura 9 – Comparação entre (a) Média de EUI da amostra e (b) Média de GHR, por estado da federação brasileira

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 pelos equipamentos específicos de laboratórios. Ressalta-se que a Figura 9.a apresenta apenas o EUI médio nos estados brasileiros dos quais o banco de dados havia informações (15 unidades federativas).

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial para a tipologia **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** 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).

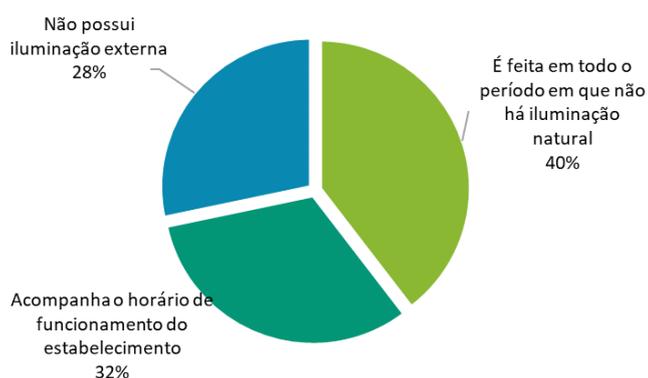


Figura 10 – Padrão de aproveitamento da iluminação natural

Percebe-se que a maior parte das edificações que apresentaram essa informação tendem a não aproveitar a iluminação natural durante o dia, uma vez que cerca de 40% das edificações reportaram utilizar iluminação artificial apenas quando não há iluminação natural disponível.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A Figura 11 apresenta as características construtivas típicas do estoque analisado para a tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**.

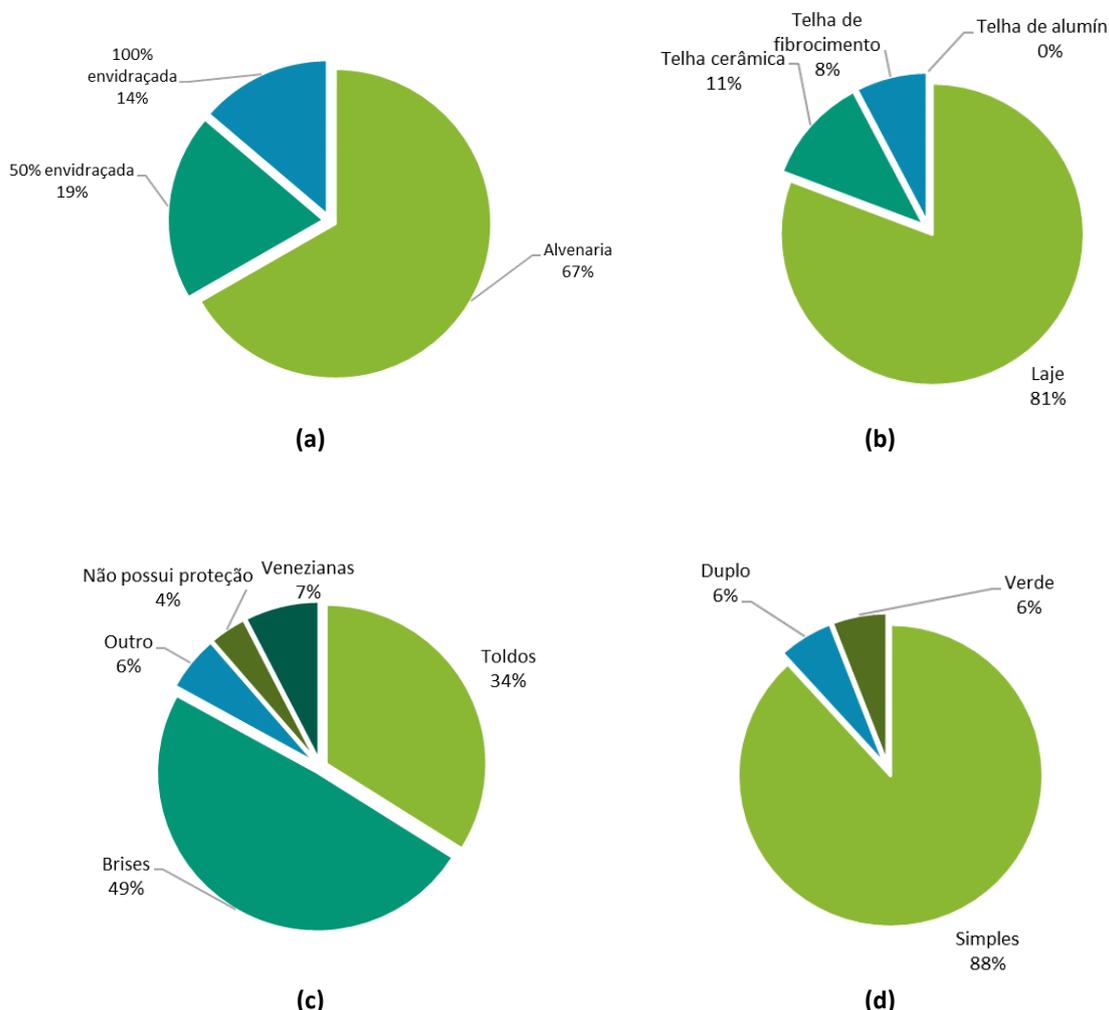


Figura 11 – Características construtivas típicas do estoque – Composição das (a) fachadas, (b) coberturas, (c) sombreamento das fachadas e (d) vidros externos

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 a 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 (67%), coberturas em laje (81%), elementos de sombreamento do tipo brises (49%) e as esquadrias são compostas por vidros simples incolores (88%).

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Para a tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**, as auditorias energéticas foram realizadas a partir da visita *in loco* realizada em cinco edificações desta tipologia. A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados principais das edificações analisadas.

Tabela 3 – Dados principais das edificações auditadas

Edificação	A	B	C	D	E
Número de Pavimentos	2	2	2	2	3
Município	São Paulo				
Estado	SP	SP	SP	SP	SP
Pé-Direito¹ [m]	3,18	N/D	3,40	3,00	N/D
Perfil de ocupação²	Monousuário	Monousuário	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	manhã/tarde /noite	manhã/tarde /noite	manhã/tarde /noite	manhã/tarde /noite	manhã/tarde /noite
Área construída [m²]	25.487,10	14.126,74	26.085,63	21.654,14	26.442,18
Área Útil [m²]³	23.812,00	12.646,00	19.950,00	19.888,00	25.802,00
Área Privativa [m²]⁴	17.162,30	7.791,38	15.751,38	12.823,34	16.356,09
Área Comum [m²]⁵	6.649,81	4.854,93	4.198,83	7.064,35	9.445,54
Taxa de Ocupação [%]	60%	63%	81%	63%	64%
Densidade de Potência de Iluminação [kWh/m²]	15,90	18,61	9,14	15,43	9,73
EUI real [kWh/m²/ano]	46,96	74,11	33,02	36,76	57,16

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 alunos, professores e funcionários e a área total

*Nota: N/D = não disponível.

Nota-se que o EUI real das edificações auditadas variou de 33,02 a 74,11 kWh/m²/ano, com média de 49,60 kWh/m²/ano, em contraste com a média de 63,20 kWh/m²/ano identificada na análise do banco de dados do estoque. Apesar da diferença de 21% 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	Sistema central para edificação inteira em alguns casos. Para outros casos, sistema de condicionamento de ar composto por sistema <i>split</i> unitário para cada sala.
Iluminação	Luminárias com duas lâmpadas tubulares tipo T8 Fluorescente de 32 W/luminária. Há também presença de lâmpadas tipo HO LED (40W/luminária) e poucas Fluorescentes compactas (18W) e LED bulbo (9W).
Aquecimento de água	Não existente.
Cargas de tomadas	Um computador por funcionário (administrativos e professores); computadores de consulta nas áreas de laboratório; televisores nas áreas comuns, bebedouros e antenas antifurto; copas com geladeira, micro-ondas, cafeteira e fogão a gás.
Cargas específicas	Cargas específicas nos laboratórios, variando de acordo com o tipo de especialidade e curso.
CPDs	Equipamentos de processamentos de dados e <i>racks</i> com potências menores e <i>nobreaks</i> com fonte de alimentação ininterrupta – UPS.
Gerador	Não informado

Três dentre as cinco edificações analisadas têm formato retangular e duas tem formato “H”, pé-direito médio de 3,19 m e perfil de ocupação monousuário. Apesar de as edificações auditadas apresentarem de 2 a 3 pavimentos, a análise das amostras do projeto META indicam existência significativa de edificações de até 5 pavimentos para esta tipologia.

De modo geral, as edificações desta tipologia apresentam partido arquitetônico similar, consistindo de 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); e áreas técnicas (manutenção, almoxarifado, jardins, depósitos e áreas correlatas).

Dentre as edificações auditadas, a área construída média é de 22.759 m², com área útil média de 90% desse valor. A área construída da amostra auditada é mais que o triplo da média de área construída do estoque analisado. A proporção de área privativa média é de 61% da área útil, de área comum é de 29% da área útil e área técnica média é de 10% da área útil. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada. Percebe-se que as áreas privativas constituem a maior parte em todas as edificações.

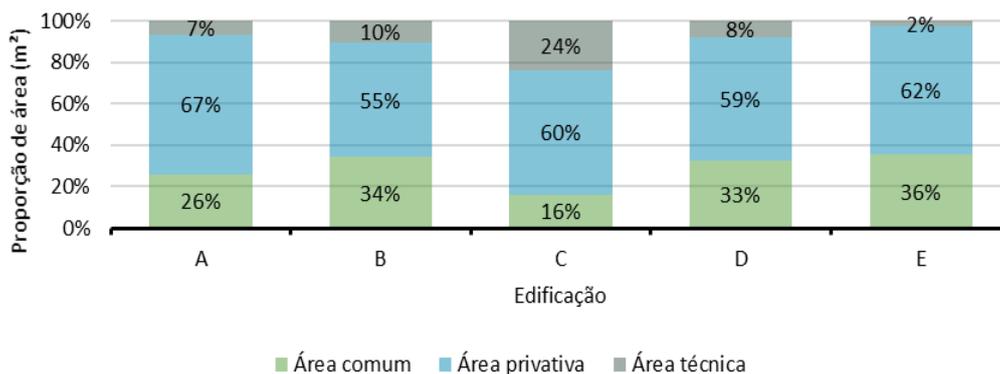


Figura 12 – Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas

OCUPAÇÃO

As cinco edificações da tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** analisadas têm horário de funcionamento nos períodos da manhã, tarde e noite. O período de funcionamento é uma variável importante nesta tipologia, uma vez que é determinada pelos turnos de aulas e, conseqüentemente, tem impacto no consumo das edificações.

A quantidade média de funcionários é de 141 pessoas, contrastando com a média de 16 funcionários por edificação obtida na análise do estoque. A taxa de ocupação variou de 60 a 81% e não foi reportado o número de funcionários do edifício A (Figura 13).

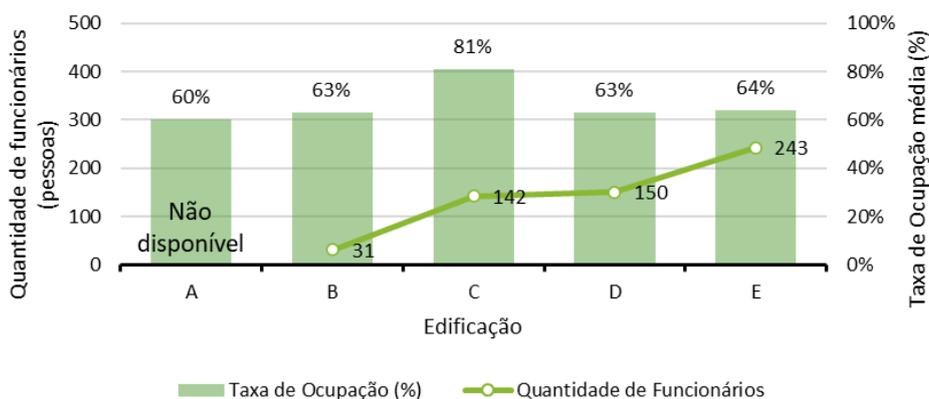


Figura 13 – Taxa de ocupação e quantidade de funcionários

Com relação à quantidade de alunos, apenas a edificação D reportou o número de alunos, que foi de 1.487 alunos. Considerando a quantidade de funcionários média e a quantidade de alunos reportada, as auditorias resultaram em uma ocupação de 13,97 m² por pessoa, também diferente do valor médio do estoque analisado, devido às grandes áreas das edificações auditadas.

CARGAS ESPECIAIS

Cargas especiais em tipologias de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** podem ser amplamente variáveis. Nas auditorias, observou-se a presença expressiva de cargas especiais nos laboratórios, compondo diversos equipamentos necessários para o ensino e aplicação da especialidade de cada curso. A Figura 14 apresenta a potência instalada total desses equipamentos juntos, e o respectivo consumo anual destes equipamentos calculado por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

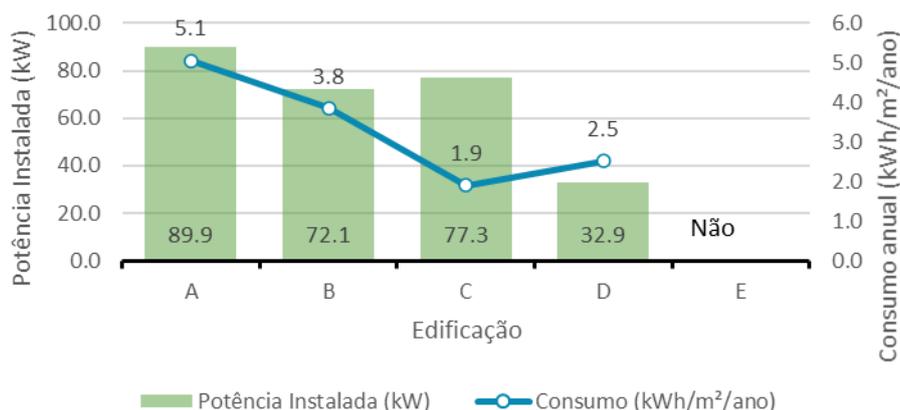


Figura 14 – Potência instalada e consumo anual pelos equipamentos de laboratórios nas edificações auditadas

Essas cargas especiais são compostas por equipamentos como: Bombas, furadeiras, estufas, destiladores, umidificadores, prensas, soldas, misturadores, entre outros. Como há grande incerteza associada a um valor típico de referência a este tipo de uso final, uma vez que depende do tipo de ensino e do curso que a edificação abriga, sugere-se não incluir a variável de cargas especiais como parâmetro no arquétipo simulado. A Tabela 5 apresenta um resumo das cargas especiais e o impacto delas no consumo total de cada edificação auditada.

Tabela 5 – Resumo de potência instalada e consumo das cargas especiais.

Edificação	Potência instalada (W)	Consumo anual (kWh)	Proporção (%)
A	89,9	128,8	12%
B	72,1	54,4	6%
C	77,3	49,5	8%
D	32,9	54,4	7%
E	N/D	N/D	N/D

Além das cargas de laboratório, as auditorias energéticas evidenciaram o uso de equipamentos de CPDs designados à rede interna dos computadores. A Figura 15 apresenta o consumo por área desse uso final e sua proporção no consumo total estimado das edificações auditadas. Foi observada a existência de uma média de 15 racks de 16.500W, totalizando com um consumo médio de 72.331 kWh/ano nas edificações auditadas, e resultando em um consumo médio de 3,39 kWh/m²/ano a partir destes equipamentos.

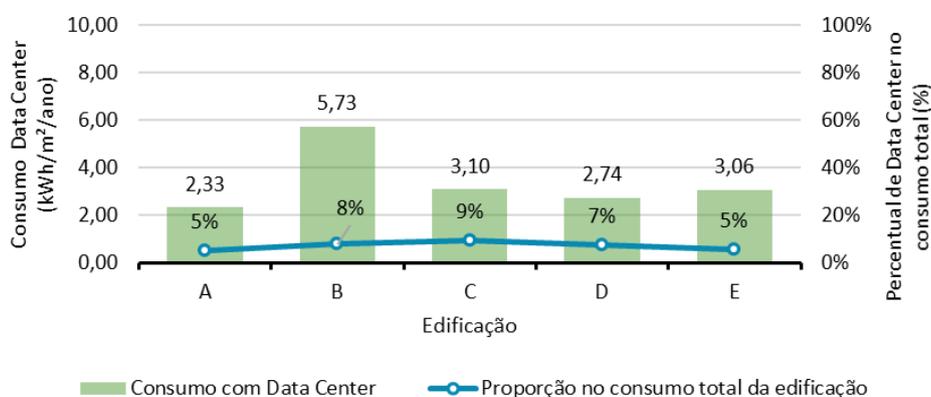


Figura 15 – Proporção do consumo de Data Center em relação ao consumo total das edificações auditadas

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos do sistema de condicionamento de ar nas tipologias de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**, a densidade de refrigeração média é de 438,67 BTU/h/m² de área condicionada. As salas de aula, devido à grande quantidade de pessoas e alta densidade de equipamentos, apresentaram uma densidade de refrigeração média maior, de 3.325 BTU/h/m². A Tabela 6 apresenta a síntese da potência dos sistemas de condicionamento de ar instalados nas edificações auditadas.

Tabela 6 - Lista de equipamentos do sistema de condicionamento de ar nas edificações auditadas.

Edifício	Tipo de equipamento	AMBIENTE	Potência de resfriamento total [BTU/h]
A	Ar-condicionado Janela	- Salas de aula	48.000
	Split Inverter	- Salas de aula	120.000
		- Outros ambientes	36.000
	Chiller	- Salas compartilhadas	90.000/ 90.000/
- Auditório		180.000	
B	Split On/Off	- Salas de aula - Laboratórios	1.390.000
	Ar-condicionado Janela	- Laboratórios	244.500
	Chiller	- Laboratório de Controle térmico	90.000
C	Split On/Off	- Salas de aula - Laboratórios	2.313.000
	Ar-condicionado Janela	- Sala de professores	358.500
	Chiller	- Auditórios	144.000
D	Ar-condicionado Janela	- Laboratório	22.000
	Split On/Off	- Salas de aula - Sala de professores - Laboratórios	4.463.000
		Split Cassete	- Salas de aula - Sala de professores - Laboratórios
E	Ar-condicionado Janela	- Salas de aula	421.500
	Split On/Off	- Salas compartilhadas, Laboratórios, auditórios	1.283.000
	Split On/Off	- Salas de aula	120.000

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 de condicionamento de ar 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 16 apresenta os resultados dessa estimativa e o quanto o consumo com os sistemas de condicionamento de ar representam no consumo total de cada edificação.

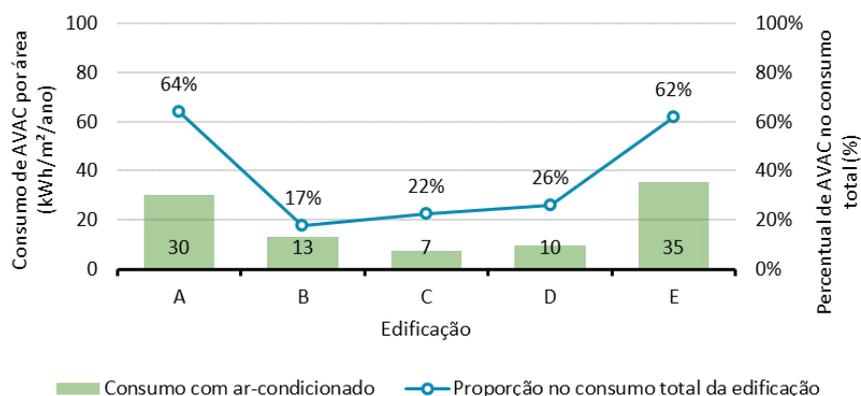


Figura 16 - Proporção do consumo dos equipamentos do sistema de condicionamento de ar em relação ao consumo total nas edificações auditadas.

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total de cada edificação, variando de 17 a 64% nas edificações auditadas, com média de 38%.

As auditorias evidenciaram que não é comum a presença de um sistema central de condicionamento de ar, do tipo *self-contained*, apesar de presente. Majoritariamente, as edificações auditadas apresentaram sistema do tipo individualizados *splits* dedicado a todas as 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 17 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 de condicionamento de ar. Neste cenário, esta análise não é capaz de trazer maiores correlações.

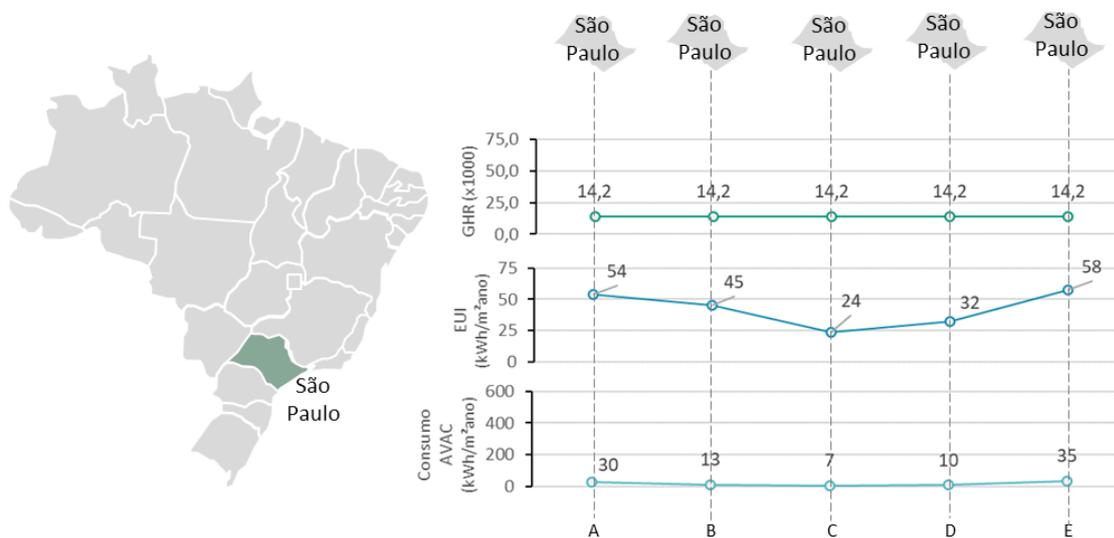


Figura 17 – Relação entre consumo do sistema de condicionamento de ar, EUI e GHR regiões onde estão inseridas as edificações auditadas

Como não houve variação no GHR, percebe-se que o consumo com sistemas de condicionamento de ar também se manteve constante, com poucas variações entre uma edificação e outra. No entanto, percebe-se que a edificação com menor consumo com sistema de condicionamento de ar (Edificação “C”, com 7 kWh/m²/ano) também apresentou menor EUI (24 kWh/m²/ano). Igualmente, a edificação com maior consumo com sistema de condicionamento de ar (edificação “E”, com 35 kWh/m²/ano) também apresentou o maior EUI (58 kWh/m²/ano). Essa relação reforça a questão de que o consumo de energia com os sistemas de condicionamento de ar é uma parcela significativa do consumo total nessa tipologia.

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação nas tipologias de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**, verificou-se majoritariamente dois diferentes tipos de luminárias: lâmpadas do tipo fluorescentes T8 em luminárias duplas e lâmpadas do tipo fluorescente tubular HO, também em luminárias duplas. A Figura 18 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.

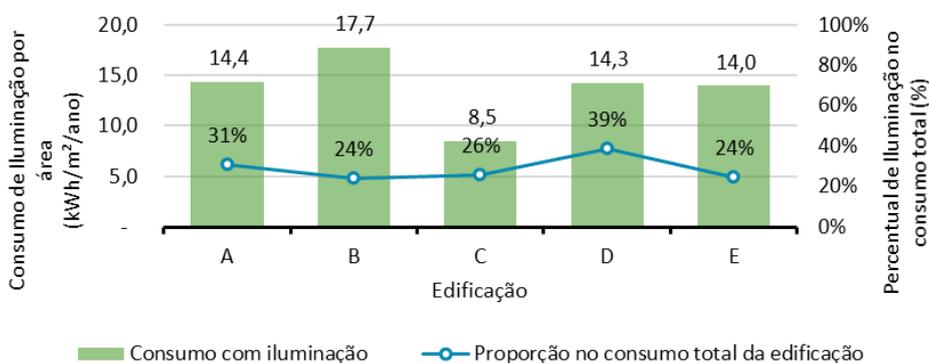


Figura 18 – Proporção do consumo de iluminação em relação ao consumo total das edificações auditadas

Há uma variação considerável entre os consumos calculados por área com iluminação, variando de 8,5 a 17,7 kWh/m²/ano. Além disso, este uso final se mostrou expressivo no consumo total da edificação como um todo, variando de 24 a 39% do consumo anual.

CARGAS DE TOMADA

Cargas de tomada nas tipologias de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** 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 19 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total estimado de cada edificação.

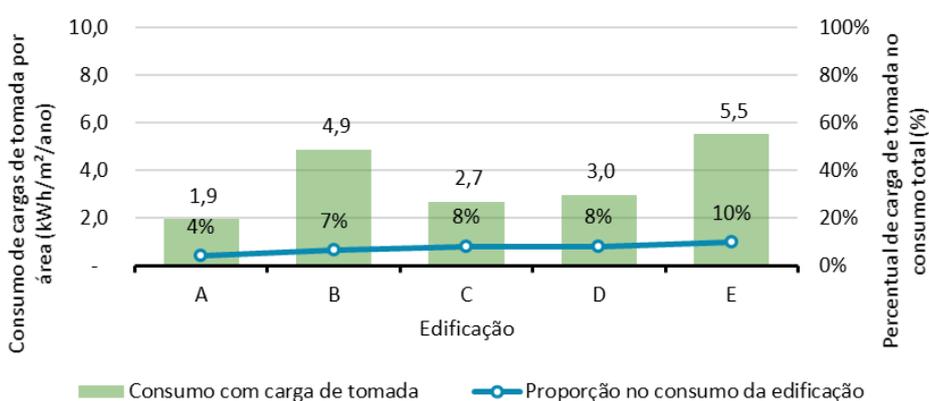


Figura 19 – Proporção do consumo de energia para cargas de tomada em relação ao consumo total nas edificações auditadas

É possível perceber que a proporção das cargas de tomada no consumo total da edificação não apresentou variação significativa entre edificações. Em média, pode-se dizer que as cargas de tomada representam cerca de 8% do consumo total anual de uma edificação dessa tipologia, cerca de 3,6 kWh/m²/ano.

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 20 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações na tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** auditadas e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

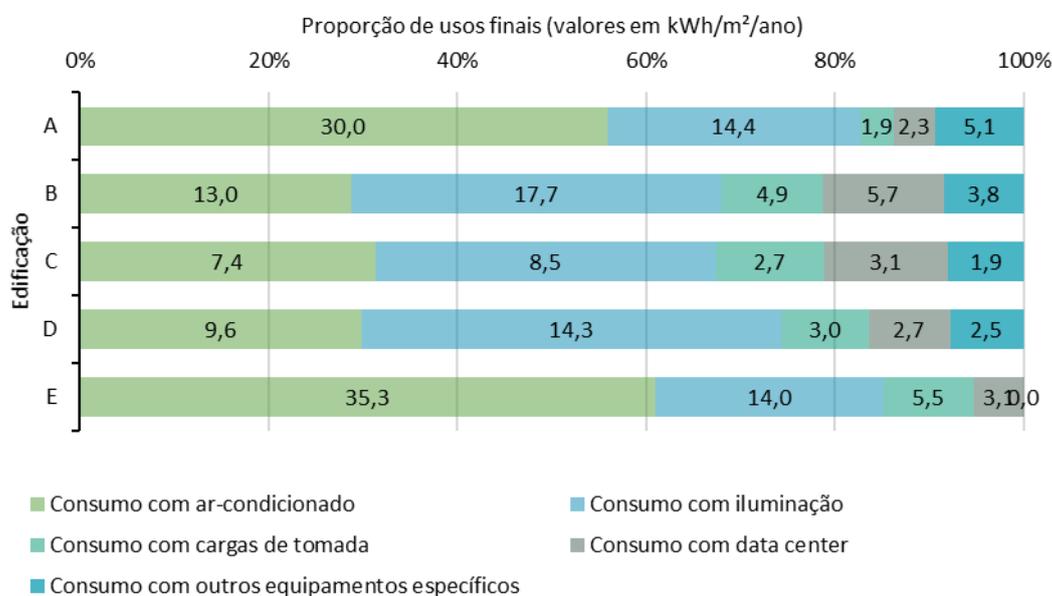


Figura 20 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível verificar que tanto a iluminação quanto o sistema de condicionamento de ar são os usos finais mais expressivos em relação ao consumo total estimado nas edificações auditadas. Em três edificações, a iluminação se mostrou preponderante, e em outra duas, o sistema de condicionamento de ar foi mais representativo. Em média, o sistema de condicionamento de ar representou a maior participação (45% do consumo estimado médio), com um valor médio de 19 kWh/m²/ano, enquanto a iluminação representou 32% do consumo total estimado, com uma parcela média de 13,8 kWh/m²/ano.

As cargas de tomada e *data centers* representaram 8% do consumo médio cada uma (3,6 e 3,4% kWh/m²/ano respectivamente) e o consumo com outros equipamentos, como equipamentos de laboratório, representaram 6% do consumo total médio estimado das edificações auditadas.

Por fim, a partir da estimativa da **planilha CBCS-DEO**, o EUI médio das edificações auditadas é 42,5 kWh/m²/ano.

5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS

VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E VARIÁVEIS RELEVANTES

O arquétipo para simulação e determinação dos *benchmarks* desta tipologia foi criado com base no confrontamento de informações da análise do estoque e das auditorias energéticas. A Tabela 7 apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

Tabela 7 -Resumo dos principais dados construtivos

Dados	Análise do estoque	Auditorias	Arquétipo CBCS
Pavimentos	-	2 e 3	5
Subsolos	-	0	0
Pé-Direito[m]*	-	3,19	3,2
Formato	-	Retangular e formato H	Retangular
Sombreamento	-	Persianas internas	Variável
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	Manhã/Tarde/Noite	Manhã/Tarde/Noite	Manhã/Tarde/Noite
Área Construída [m ²]	Média = 6.239,9	Média = 22.759	3.402
Área Privativa [%]	-	29%	3% mais gabinetes de professores
Área Comum [%]	-	61%	97%
Área Técnica [%]	-	10%	0%
Ocupação	Média Funcionários e alunos = 1,8m ² por pessoa	Média Funcionários e alunos = 14,0m ² por pessoa	Cenário detalhado por ambiente
Quantidade de computadores	Média = 0,01 computador/m ²	Média = 0,1 computador/m ²	55 computadores distribuídos por tipo de ambiente

* Medida de Piso a forro;

O modelo do arquétipo CBCS foi constituído por uma edificação de cinco pavimentos dividido em duas edificações: uma edificação geral que abriga os laboratórios, salas de aula, auditório e salas administrativas, e uma edificação anexo para abrigar as salas dos professores. Esta divisão na modelagem foi necessária para representar adequadamente as salas dos professores, que possuem padrões construtivos e de operação muito diferentes dos demais ambientes. A principal diferença no padrão construtivo é a presença de brises na edificação de salas dos professores.

O modelo da Edificação geral constitui-se por uma edificação de cinco pavimentos de dimensões 16,2 m x 42 m x 3,2 m (L x C x A), totalizando 3.402 m². A edificação de gabinetes dos professores tem uma volumetria de um pavimento com dimensões 24,0 m x 5,0 m x 3,2 m (C x L x A), totalizando 120 m². A volumetria de ambas as edificações foi considerada retangular, de acordo com os resultados das auditorias e da análise de banco de dados. Quanto ao pé-direito, foi considerado um valor de 3,20 de piso ao teto. A envoltória foi considerada com propriedades térmicas das paredes de: $U_{parede} = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e da cobertura de $U_{cobertura} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Quanto à ocupação, como notou-se uma significativa variação tanto no estoque quanto nas auditorias, adotou-se, um modelo de ocupação por operação. Dessa forma, a ocupação foi considerada como uma

variável no modelo, atribuindo-se cenários para determinação de casos de forma que diversos tipos de ocupação sejam representados pela equação de *benchmark*.

Foram identificados como parâmetros variáveis no modelo para a realização das simulações, a partir das análises do estoque de dados e das auditorias realizadas:

- **Iluminação:**
 - Edifício geral: Um cenário com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de 9,9 W/m² e outro cenário com DPI médio de 16,32 W/m²;
 - Gabinete dos professores: Um cenário com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de 10,00 W/m² e outro cenário com DPI médio de 19,40 W/m²;
- **Ocupação:** Um cenário com alta ocupação (1,2 m² por aluno) e outro cenário com baixa ocupação (3,0m² por aluno);
- **Turno de operação:** Um cenário contempla todos os períodos do dia (manhã, tarde e noite), outro cenário contempla os períodos da manhã e noite e outro Cenário contempla apenas o período noturno.
- **Sombreamento:** Um cenário com brises e outro sem brises.
- **Orientação solar:**
 - Edifício geral: Um cenário com fachada principal voltada para Leste e outro cenário com fachada voltada para Sul;
 - Gabinete dos professores: Um cenário para cada uma das 4 orientações solares;
- **Cor da envoltória:** Um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outro cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Tipo de vidro:** Um cenário com vidro simples ($U_{\text{vidro}} = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 0,87) e outro cenário com vidro laminado ($U_{\text{vidro}} = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 0,5).
- **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;
- **Tipo de sistema de condicionamento de ar:** Um cenário com splits e outro com VRF.

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 forma de 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 cinco auditorias realizadas na equação de *benchmark* desenvolvida para a tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico**, detalhada no relatório RT2B.12, a qual considera 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) AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar;
- d) ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²);
- e) TURN – Turno;

- f) PESS – Densidade de alunos em sala de aula (m²por aluno);
- g) RENO – Renovação de ar;
- h) SOMB – Uso de elemento de sombreamento nas aberturas.

A Figura 21 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* desta tipologia.

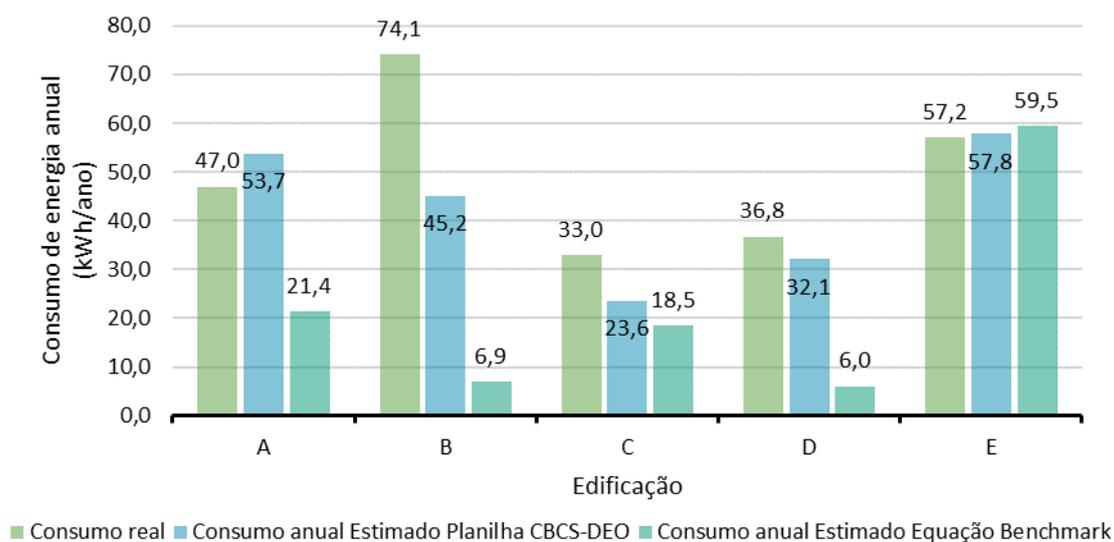


Figura 21 – Comparação do consumo real e dos consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark desta tipologia

De maneira geral, é possível visualizar que as estimativas se aproximaram do consumo real nos casos “C” e “E”. Percebe-se que a diferença relativa entre o consumo de energia estimado pelo método da planilha de auditoria energética CBCS-DEO e o consumo real varia entre -14% a 39%, ficando próximo do consumo em todos os casos. Já a diferença relativa entre o consumo real e o estimado pela equação de *benchmark* varia entre 3% a 91% a menos que o consumo real. Neste caso da tipologia **de Universidade e Instituição de Ensino Técnico**, pode-se atribuir esta diferença às cargas especiais.

Como mencionado na seção 4, observou-se a presença de cargas especiais durante a auditoria energética, e, conforme apresentado na Tabela 5, estas cargas formam um impacto expressivo no consumo total da edificação. Uma prova real desse fato é que a edificação E, que não possui cargas especiais de laboratório desse tipo, foi a edificação com menor erro relativo entre o consumo real e estimado pela planilha de auditoria energética CBCS-DEO (-1%) e, também, pela equação de *benchmark* (3%). Além disso, há uma incerteza inerente do processo de estimativa, que pode acarretar variações expressivas por motivos de diferenças em padrões de operação e ocupação levantados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Universidade e Instituição de Ensino Técnico** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 606 dados de consumo e área, e 270 dados detalhados, cobrindo 15 Unidades Federativas brasileiras), e da análise de auditorias energéticas realizadas em cinco edificações em uma única cidade.

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 a características construtivas, ocupação, cargas especiais, sistema de condicionamento de ar, iluminação e cargas de tomada.

Um 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 de auditoria energética CBCS-DEO quanto pela equação de *benchmark* em desenvolvimento.

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. Porém, as estimativas realizadas pela equação de *benchmark* levaram a resultados diferentes, em média 49% abaixo do consumo real das edificações auditadas. Atribuiu-se essa diferença pela presença de equipamentos específicos, como equipamentos de laboratório, os quais são difíceis de se modelar e generalizar na equação de *benchmark*. Por esta razão, a recomendação é a de que estes consumos sejam inseridos separadamente no momento da realização do *benchmarking* por meio da equação.