



**CBCS**

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

## **RT2A.13: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Hospital**

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 10/03/2021**

**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 Hospital.**

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA.....</b>                 | <b>2</b>  |
| Método geral adotado para o convênio .....                    | 3         |
| <b>2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>                        | <b>4</b>  |
| <b>3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE.....</b>                   | <b>6</b>  |
| Características gerais.....                                   | 7         |
| Ocupação.....   | 8         |
| Cargas especiais .....  | 10        |
| Intensidade de Uso de Energia (EUI).....                      | 11        |
| Iluminação artificial.....                                    | 12        |
| Características construtivas .....                            | 12        |
| <b>4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS .....</b>                        | <b>14</b> |
| Características gerais.....                                   | 14        |
| Ocupação.....   | 15        |
| Cargas especiais .....  | 16        |
| Condicionamento de ar.....                                    | 19        |
| Iluminação.....   | 20        |
| Cargas de tomada.....   | 21        |
| Análise dos usos finais.....                                  | 21        |
| <b>5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS .....</b> | <b>23</b> |
| Validação do arquétipo e variáveis relevantes .....           | 23        |
| Comparação do consumo real com os consumos estimados .....    | 24        |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                          | <b>26</b> |

# 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.

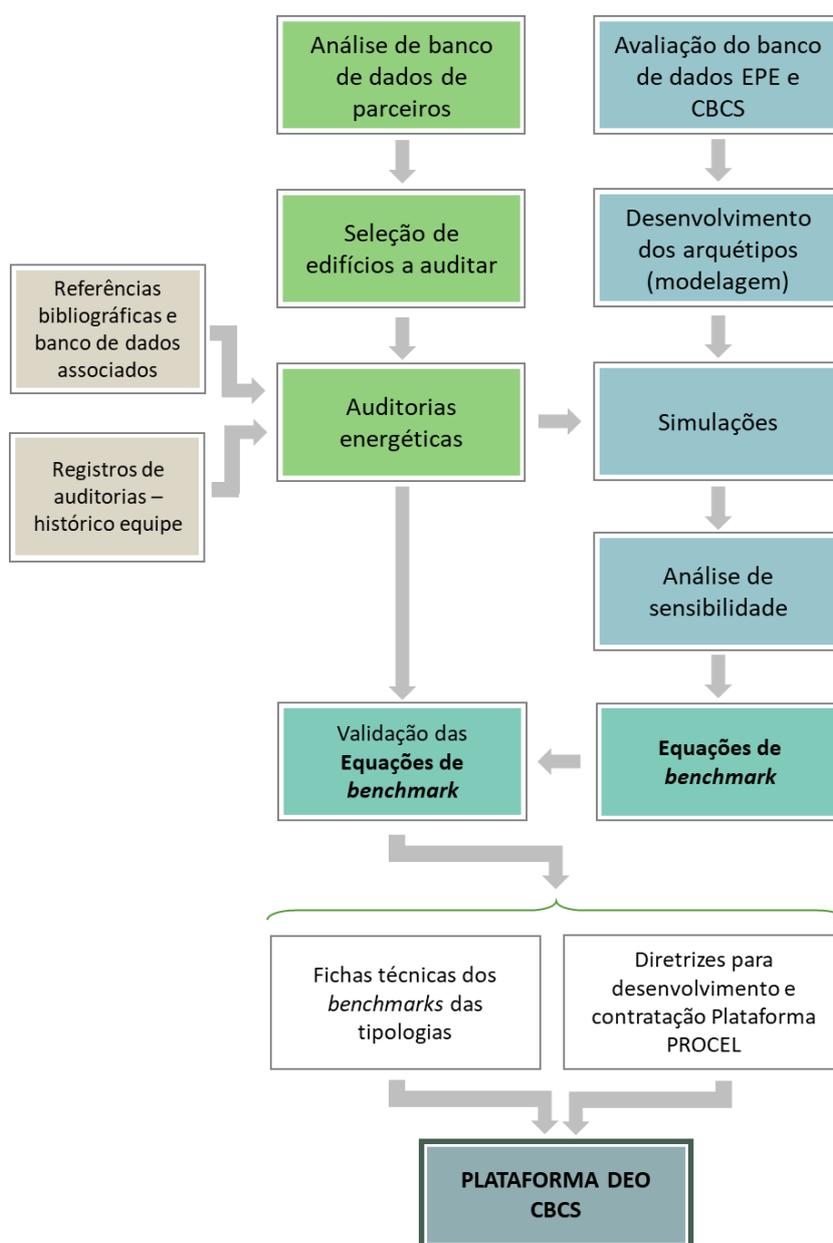
É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações 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 **Hospital** 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-DEO<sup>1</sup>;
- 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;

<sup>1</sup> 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 **Hospital** foi feita com base nas amostras descritas no projeto META. É importante esclarecer que o projeto META considera a classificação dos segmentos pelo Código Nacional de Atividade Econômica (CNAE), o qual, para o segmento de Hospitais, engloba as seguintes atividades mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Atividades econômicas englobadas pela base de dados do projeto META para o segmento de Hospitais**

| CNAE    | Atividade   | Nº de empresas | Percentual da amostra |
|---------|---|----------------|-----------------------|
| 8610101 | Atividades de atendimento hospitalar, exceto pronto-socorro e unidades para atendimento a urgências | 79             | 19,8%                 |
| 8610102 | Atividades de atendimento em pronto-socorro e unidades hospitalares para atendimento a urgências    | 38             | 9,5%                  |
| 8621601 | UTI móvel   | 9              | 2,3%                  |
| 8621602 | Serviços móveis de atendimento a urgências, exceto por UTI móvel                                    | 1              | 0,3%                  |
| 8622400 | Serviços de remoção de pacientes, exceto os serviços móveis de atendimento a urgências              | 19             | 4,8%                  |
| 8630501 | Atividade médica ambulatorial com recursos para realização de procedimentos cirúrgicos              | 26             | 6,5%                  |
| 8630502 | Atividade médica ambulatorial com recursos para realização de exames complementares                 | 51             | 12,8%                 |
| 8630503 | Atividade médica ambulatorial restrita a consultas  | 181            | 45,3%                 |

Nota-se que a maior parte do banco de dados é referente a edificações cuja atividade é voltada a consultas, o que não é exatamente atividade hospitalar. Este esclarecimento é importante uma vez que os valores de referência encontrados para análise do banco de dados do estoque foram discrepantes da auditoria energética realizada.

Este banco de dados do estoque apresenta informações pertinentes à caracterização construtiva e ao consumo de energia, com dados de edificações em todas as 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por dados de 495 unidades de edificações. Desta amostra, o estado de São Paulo apresenta dados de 127 unidades, representando aproximadamente 25% do banco de dados, seguido pelo estado de Minas Gerais, 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, resultando em uma amostra tratada final com 401 unidades. Destas 401 unidades, 341 apresentavam informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: idade da edificação, número de funcionários, número de leitos e consumo de gás.

Dados de um edifício com auditoria energética publicada são analisados e apresentados separadamente neste relatório.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos dados disponíveis do estoque e que foram analisados.

**Tabela 2 - Resumo dos dados analisados do estoque de Hospital**

| RESUMO DO BANCO DE DADOS               |  |
|--|--|
| Amostra bruta                          | 495 unidades   |
| Amostra tratada (sem valores espúrios) | 401 unidades   |
| Amostra selecionada (dados completos)  | <b>341 unidades</b>  |
| Unidades Federativas contendo dados    | 27   |
| Variáveis Contidas                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dados básicos (Estado, município e parceiro);</li> <li>– Área construída;</li> <li>– Histórico consumo total de energia de (12 meses)</li> <li>– Idade de construção;</li> <li>– Quantidade de funcionários;</li> <li>– Quantidade de leitos;</li> <li>– Consumo de gás.</li> </ul> |
| Auditorias energéticas                 | 1 unidade  |

### CARACTERÍSTICAS GERAIS

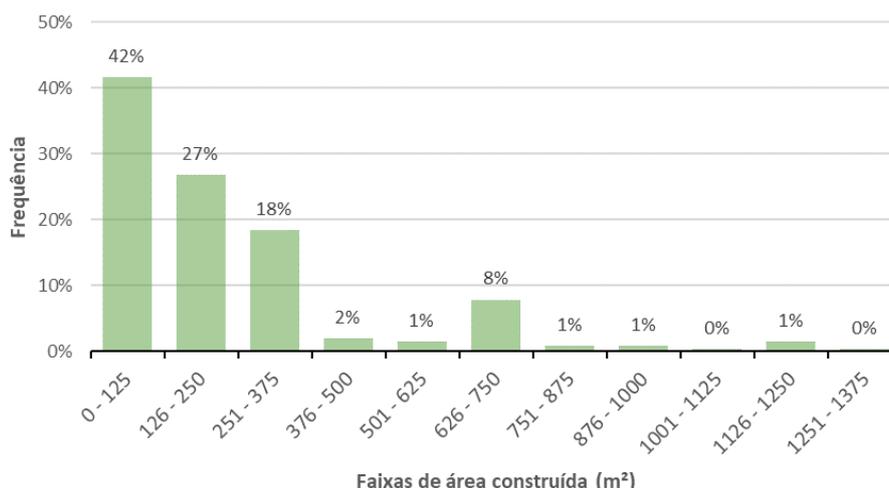
A Tabela 3 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra selecionada para a tipologia de Hospital.

**Tabela 3 – Medidas de síntese das variáveis do estoque para a tipologia de Hospital**

| VARIÁVEIS                                 | VALOR MÍN. | 1º QUARTIL (25%) | MEDIANA | MÉDIA  | 3º QUARTIL (75%) | VALOR MÁX. |
|---|------------|------------------|---------|--------|------------------|------------|
| Ano de construção                         | 1902       | 1975             | 1986    | 1987   | 2003             | 2014       |
| Número de Funcionários                    | 1          | 4                | 8       | 15     | 15               | 410        |
| Número de Funcionários/100 m <sup>2</sup> | 0,21       | 2,63             | 4,33    | 7,61   | 7,61             | 150,00     |
| Número de leitos                          | 2          | 99               | 99      | 92     | 99               | 180        |
| Consumo com gás (Botijões/ano)            | 22,00      | 143,00           | 286,00  | 875,01 | 1.025,75         | 9.900,00   |
| Área Total [m <sup>2</sup> ]              | 4,00       | 75,00            | 150,00  | 477,85 | 350,00           | 7.500,00   |
| EUI [kWh/m <sup>2</sup> /ano]             | 0,96       | 29,08            | 63,46   | 117,91 | 144,69           | 965,95     |

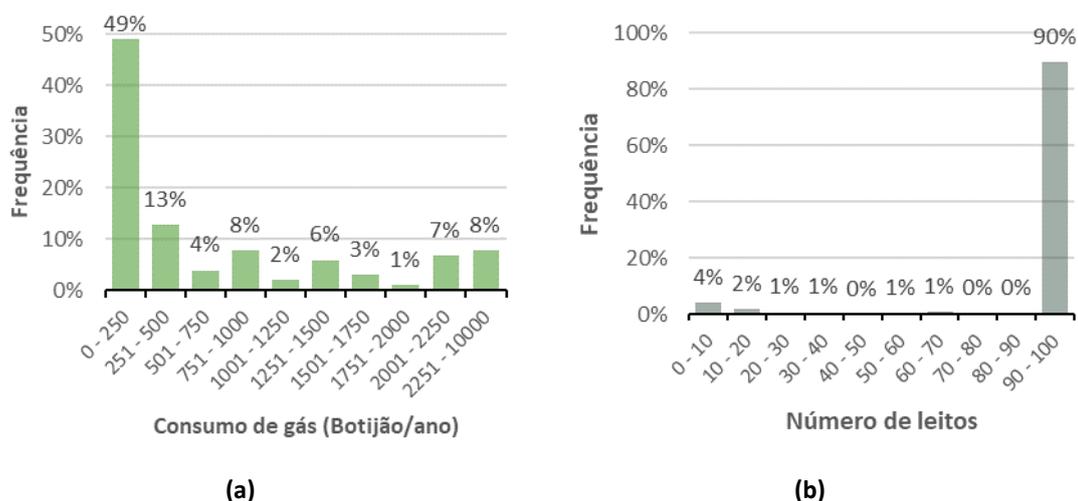
A partir da razão entre consumo de energia de 12 meses e área construída, pode-se calcular o EUI (do inglês: *Energy Use Intensity*, Intensidade de Uso de Energia) de todas as edificações do estoque tratado. A intensidade de uso de energia é um indicador amplamente utilizado para quantificar o uso de energia de uma edificação em relação à sua área construída. Nota-se, que o estoque possui um EUI médio de 117,91 kWh/m<sup>2</sup>/ano, variando de 29,08 a 144,69 kWh/m<sup>2</sup>/ano entre o primeiro e o terceiro quartil. Nota-se que o valor máximo é bastante elevado em relação à média. Porém, reitera-se que os valores espúrios já foram retirados.

Com relação à área construída, a amostra apresenta área média de 477,85 m<sup>2</sup>, mediana de 150,0 m<sup>2</sup> e desvio de padrão de 988,41 m. A Figura 2 apresenta um histograma da área construída desta tipologia. Observa-se que até 87% das unidades têm área construída de até 375 m<sup>2</sup> e há 8% na faixa de 626 a 750 m<sup>2</sup>.



**Figura 2 - Histograma da área construída**

Além da área construída, algumas características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especificamente para a tipologia de **Hospital**, o consumo de gás e o número de leitos foram identificados 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.



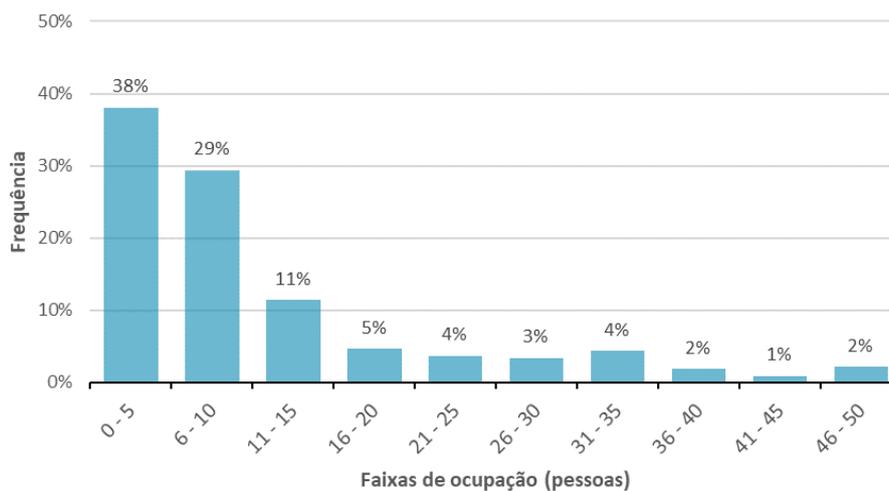
**Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação**

A Figura 3 revela que para a tipologia de **Hospital**, o consumo médio anual de gás é de 236 botijões/ano, com desvio padrão de 798 botijões/ano e que a maior parte dessas edificações tem um consumo de até 500 botijões/ano (62%). Esse consumo provavelmente é devido ao uso em preparação de alimentos e aquecimento de água.

Com relação à quantidade de leitos, a média registrada foi de 92 leitos por edificação, sendo que a maior parte das edificações (90%) possui de 90 a 100 leitos.

### OCUPAÇÃO

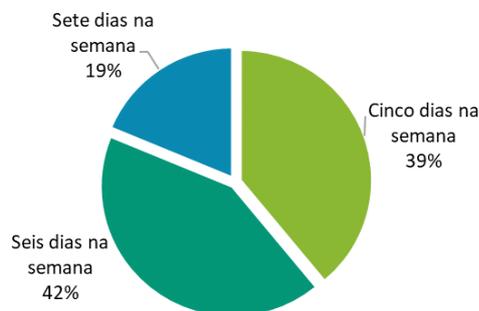
A caracterização da ocupação na tipologia de **Hospital** foi obtida por meio do número de colaboradores (funcionários) da edificação. A Figura 4 apresenta o histograma da quantidade de funcionários das edificações analisadas no estoque.



**Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários**

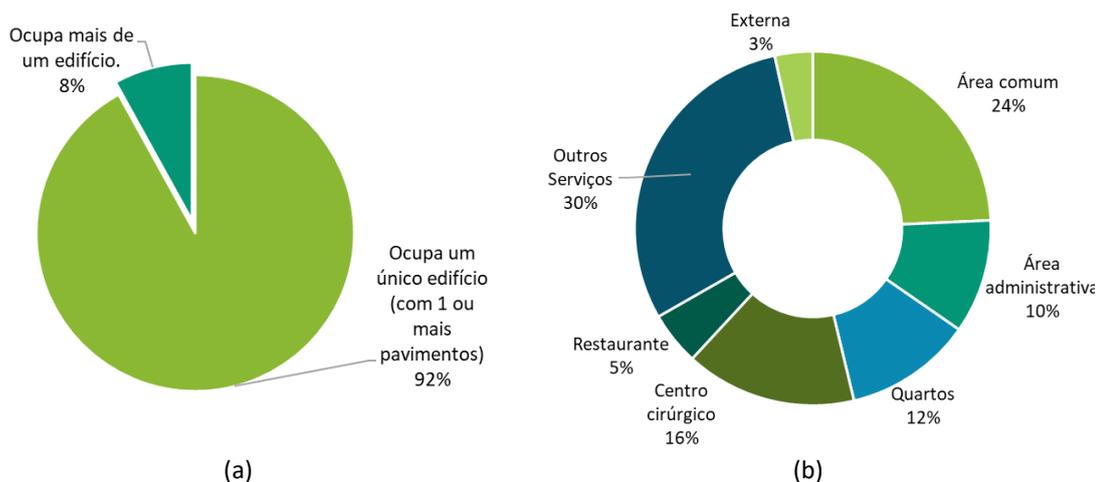
A Figura 4 informa que a maior parte das edificações têm até 15 funcionários (68%). A quantidade de funcionários média é de 15 pessoas. Considerando-se a área construída média e a quantidade de funcionários média, a densidade de ocupação é de 32 m<sup>2</sup> por pessoa.

Outra variável determinante para a tipologia de **Hospital** é a quantidade de dias de operação: se a edificação funciona 5 dias na semana (de segunda a sexta), 6 dias na semana (incluindo sábado) ou 7 dias na semana (incluindo domingo). A Figura 5 apresenta a proporção dessa variável no estoque analisado. Percebe-se que a maior parte das edificações do estoque opera seis dias na semana – ou seja (42%), de segunda a sábado. Note que esta informação decorre do fato da amostra ter em sua composição um grande estoque de consultórios.



**Figura 5 – Proporção do estoque em relação aos dias de operação**

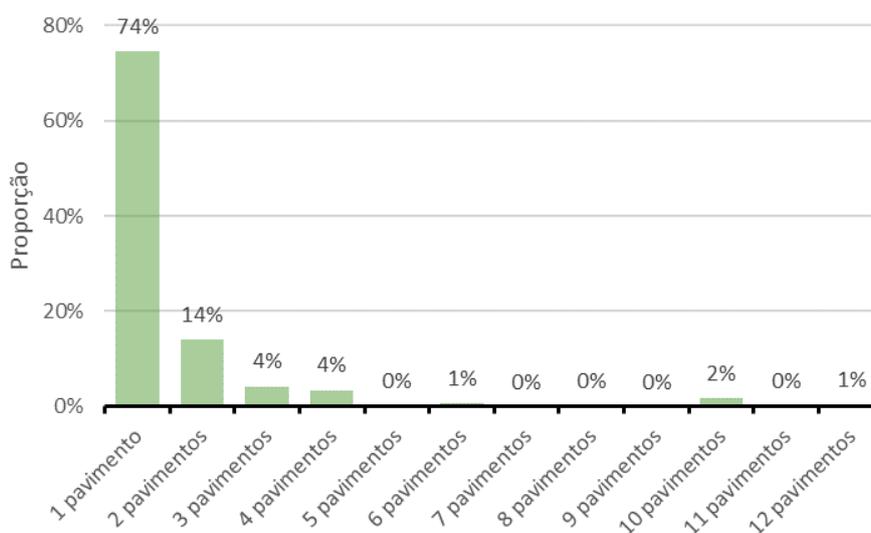
A seguir, a Figura 6 apresenta a proporção de edificações do estoque que é composta por um edifício ou mais de um edifício e a proporção da divisão de seus espaços internos.



**Figura 6 – Proporção do estoque em relação (a) ao número de blocos e (b) divisão dos usos dos espaços internos**

A quase totalidade das edificações analisadas para a tipologia de **Hospital** é composta por um único bloco (92%), sendo 30% das áreas das edificações utilizadas em Outros Serviços, seguida por 24% de Áreas Comuns.

Em relação à quantidade de pavimentos, a Figura 7 aponta que 74% das edificações do estoque têm um único pavimento.



**Figura 7 – Proporção das edificações em relação à quantidade de pavimentos.**

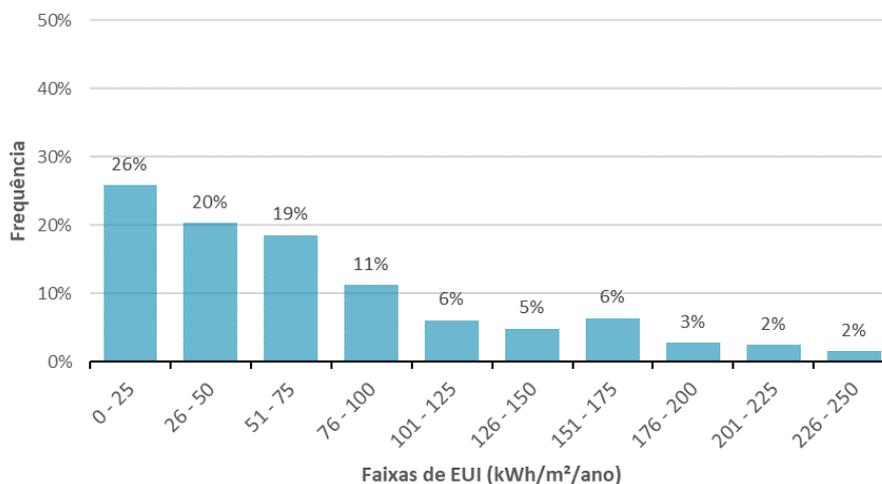
Portanto, a partir das proporções de ocupação, número de pavimentos e área identificados no estoque, pode-se dizer que uma edificação da tipologia de **Hospital** típica é uma edificação de um pavimento, bloco único com aproximadamente 478 m<sup>2</sup> e maior porção dedicada a outros serviços, ocupação média de 15 funcionários, média de 92 leitos e funcionamento durante seis dias da semana.

### CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Hospital**, não foi reportado no banco de dados nenhuma carga especial e não foram disponibilizados dados de Centrais de Processamento de dados (CPDs) nesta base de dados.

### INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA (EUI)

O EUI médio para a tipologia de **Hospital** na amostra analisada foi de 117,91 kWh/m<sup>2</sup>/ano, com mediana 63,46 kWh/m<sup>2</sup>/ano, e desvio padrão de 149,50 kWh/m<sup>2</sup>/ano. A Figura 8 apresenta uma análise da distribuição desta variável neste caso. 65% dos dados indicam consumos de até 75 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

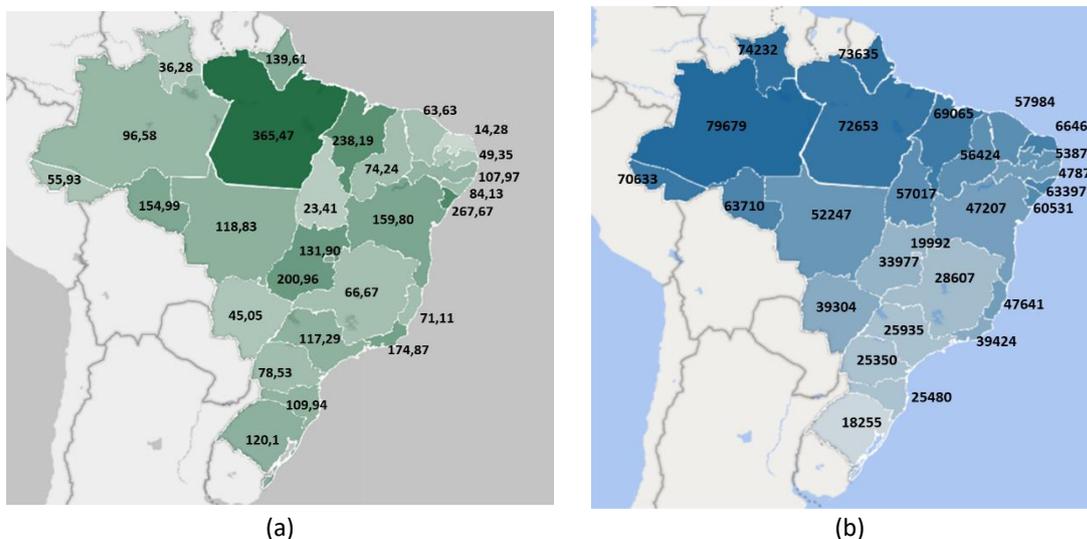


**Figura 8 – Histograma da variável EUI**

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  $1 \times 10^{-18}$  (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 GRH 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 os estados com maior GHR também apresentaram maior EUI médio. Esta relação ilustra que a operação e uso do sistema de condicionamento de ar nas edificações do estoque acompanham as condições climáticas. De fato, estas constatações fazem sentido, uma vez que as edificações voltadas para cuidados com a saúde necessitam de condicionamento de ar constante.

### ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial para a tipologia de **Hospital** 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).

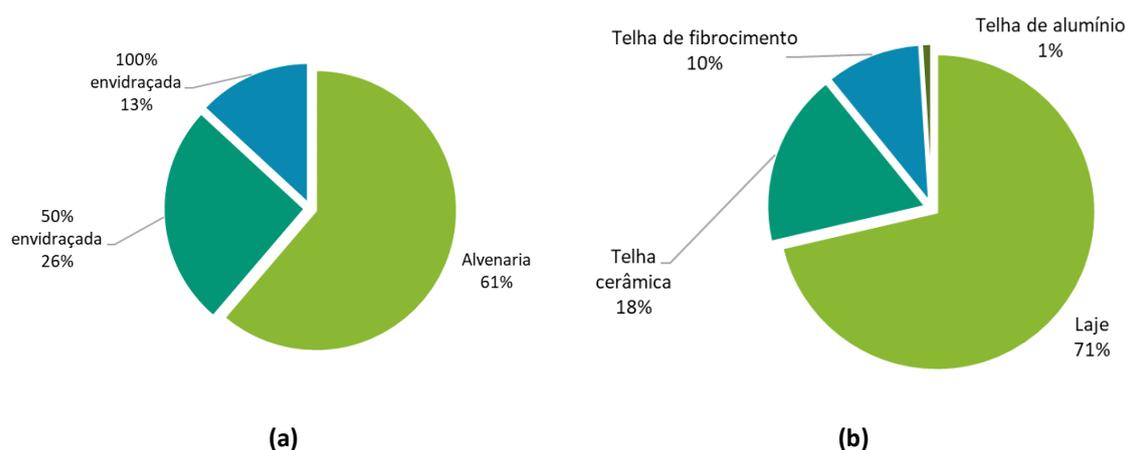


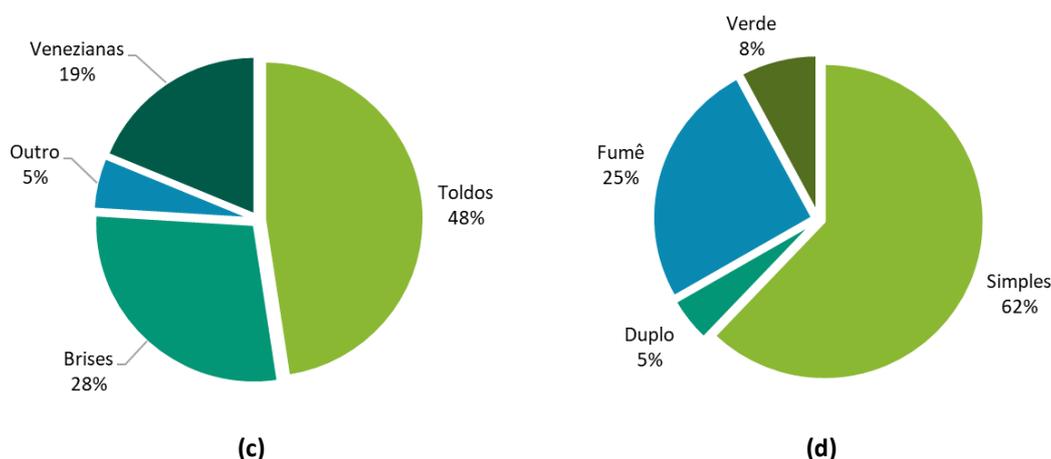
**Figura 10 – Padrão de aproveitamento da iluminação natural**

Percebe-se que boa parte das edificações que apresentaram essa informação tendem a aproveitar a iluminação natural externa durante o dia, uma vez que cerca de 55% das edificações reportaram utilizar iluminação artificial apenas quando não há iluminação natural disponível. Em seguida, 25% responderam nem terem o acesso à iluminação natural externa, o que indica que 45% das edificações mantêm o sistema de iluminação acionado continuamente.

### CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A Figura 11 apresenta as características construtivas típicas da tipologia de **Hospital**.





**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 (fachada), coberturas, tipos de vidros 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.

Por meio da Figura 11, percebe-se que a maior parte das edificações tem fachada de alvenaria (61%), cobertura com laje (71%), possuem elementos de sombreamento do tipo toldo (48%) e brises (28%) e, em relação ao tipo de vidro, apresentaram esquadrias compostas por vidros simples incolores (62%) e uma boa parcela por vidros simples fumê (25%).

## 4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

### CARACTERÍSTICAS GERAIS

A auditoria energética descrita a seguir foi analisada a partir de visita *in loco* realizada em uma edificação e obtida por meio de sua publicação<sup>1</sup>. Nesta avaliação, foi realizada uma análise dos sistemas presentes na edificação e os projetos disponíveis. A Tabela 4 apresenta um resumo dos dados principais da edificação auditada.

**Tabela 4 – Dados principais da edificação auditada**

| Edificação  | A           |
|---|-------------|
| Número de Pavimentos                                    | 6           |
| Município   | São Paulo   |
| Estado  | SP          |
| Pé-Direito <sup>1</sup> [m]                             | N/D         |
| Perfil de ocupação <sup>2</sup>                         | Monousuário |
| Dias de ocupação semanal                                | 7           |
| Área construída [m <sup>2</sup> ]                       | 33.762,83   |
| Área Útil <sup>3</sup> [m <sup>2</sup> ]                | 33.372,09   |
| Área Privativa <sup>4</sup> [m <sup>2</sup> ]           | 20.768,39   |
| Área Comum <sup>5</sup> [m <sup>2</sup> ]               | 12.603,70   |
| Área técnica [m <sup>2</sup> ]                          | 390,74      |
| Quantidade de funcionários [pessoas]                    | 329         |
| Taxa de Ocupação <sup>6</sup>                           | 56%         |
| Densidade de Potência de Iluminação [W/m <sup>2</sup> ] | 5,03        |
| EUI real [kWh/m <sup>2</sup> /ano]                      | 130,26      |

<sup>1</sup> Medida de Piso a forro;

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

<sup>3</sup> Soma das áreas comuns e privativas, exclui áreas técnicas, garagens, jardim, depósitos e etc.

<sup>4</sup> Soma das áreas Privativas (Ex.: Quartos, Salas, Escritórios, etc.).

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

<sup>6</sup> Relação entre a área efetivamente ocupada por pessoas e a área total;

Nota: N/D = não disponível.

Nota-se que o EUI real – isto é, o que foi realmente medido – da edificação auditada foi de 130,26 kWh/m<sup>2</sup>/ano, sendo 10% acima da média observada na análise do banco de dados do estoque, que foi de 117,91 kWh/m<sup>2</sup>/ano - pode-se dizer que este valor se encontra dentro da faixa de valores encontrada nessa avaliação. De fato, quando o histograma de EUI do estoque é analisado, percebe-se que 11% das edificações do estoque apresentam EUI de 101 a 150 kWh/m<sup>2</sup>/ano, similar ao observado na edificação auditada.

A Tabela 5 apresenta a síntese dos principais sistemas presentes na edificação auditada.

<sup>1</sup> SILVA, P. P. F. da. Calibração do consumo de energia elétrica simulado por meio de um modelo *EnergyPlus*: estudo de caso do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. São Paulo. 2018.

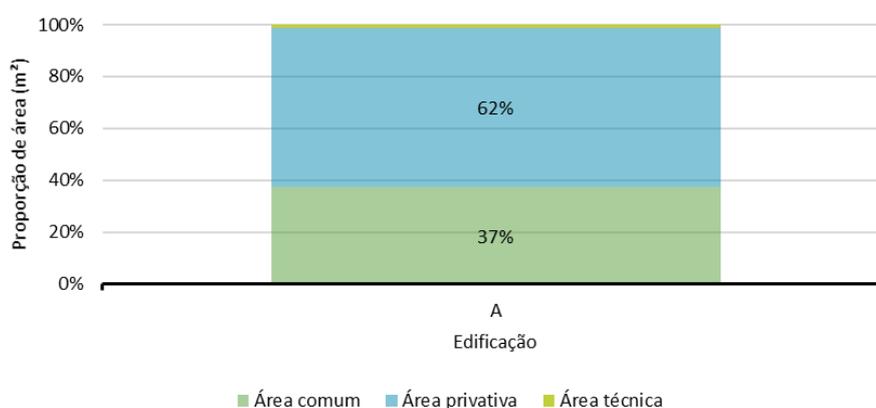
**Tabela 5 – Caracterização dos sistemas da edificação auditada**

| SISTEMAS                | CARACTERÍSTICAS  |
|-------------------------|--|
| Fornecimento de energia | Rede aérea de alta tensão, subgrupo A4   |
| AVAC                    | Sistemas centrais do tipo <i>Chiller</i> e poucos <i>Splits inverter</i> em ambientes específicos.   |
| Iluminação              | Majoritariamente luminárias do tipo T8 fluorescente de 25W. Poucas LED bulbo de 9W também são encontradas.   |
| Aquecimento de água     | Realizado com equipamento a base de gás liquefeito de petróleo (GLP).  |
| Cargas de tomadas       | Computadores para funcionários; televisores, bebedouros, copas com geladeira, micro-ondas e cafeteira.   |
| Cargas específicas      | Aparelhos específicos de exames, odontologia centrífugas, respiradores, estufa, compressor, raio-x, refrigerador de banco de sangue, entre outros.   |
| CPDs                    | Presença de equipamentos do tipo <i>rack</i> e <i>switches</i> para composição da rede lógica interna da edificação, com potências menores e de <i>nobreaks</i> com fonte de alimentação ininterrupta – UPS. |
| Gerador                 | Duas unidades moto-geradoras a diesel com capacidade de 1.500 kVA.   |

A edificação possui formato retangular e não foi informado o seu pé-direito. O perfil de ocupação é monousuário, em conformidade com o que foi observado na análise do estoque do projeto META.

O partido arquitetônico consiste em uma edificação complexa, com diversos espaços subdivididos em espaços menores para área de recepção, atendimento, consultórios, depósito, ambientes conjugados, centro cirúrgico, alas de UTI e leitos comuns, entre outros.

A área construída constatada foi de 33.762,83 m<sup>2</sup>, com área útil média de 99% desse valor. A proporção de área privativa média é de 62%, de área comum é de 37% e de área técnica de 1% da área útil. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada.

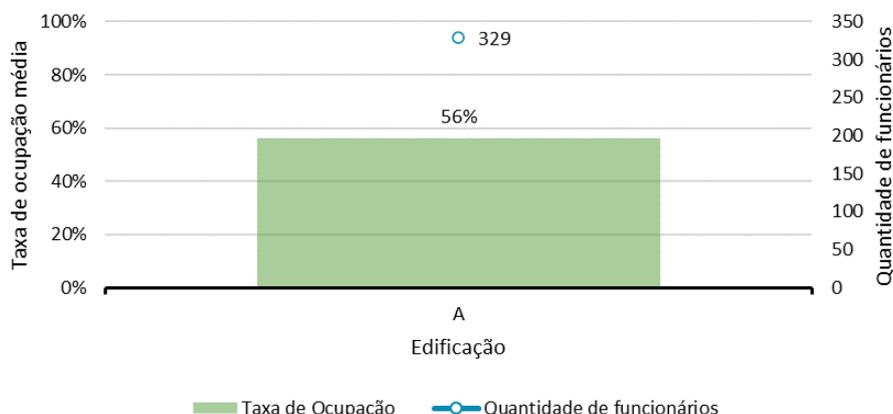


**Figura 12 - Proporção dos tipos de áreas da edificação auditada.**

## OCUPAÇÃO

A edificação auditada da tipologia de **Hospital** tem funcionamento durante sete dias da semana, assim como 19% das edificações contidas no banco de dados do estoque. Apesar da maioria dos hospitais funcionarem continuamente (24 horas por dia, sete dias por semana), algumas edificações que são classificadas como esta tipologia, segundo sua atividade econômica, não funcionam continuamente. Sendo assim, a quantidade de dias de funcionamento semanal é uma variável importante nesta tipologia, uma vez que é determinante no consumo de energia total da edificação.

A quantidade efetiva de pessoas que ocupam a edificação é composta pelos funcionários e pelos pacientes. A estimativa de pessoas atendidas não foi reportada na análise da auditoria energética. Dessa forma, a ocupação foi caracterizada pela quantidade de funcionários da edificação. A Figura 13 apresenta a quantidade de funcionários e a taxa de ocupação da edificação, que é a relação entre área total e áreas efetivamente ocupadas da edificação. A densidade de ocupação é de 102 m<sup>2</sup> por funcionário.

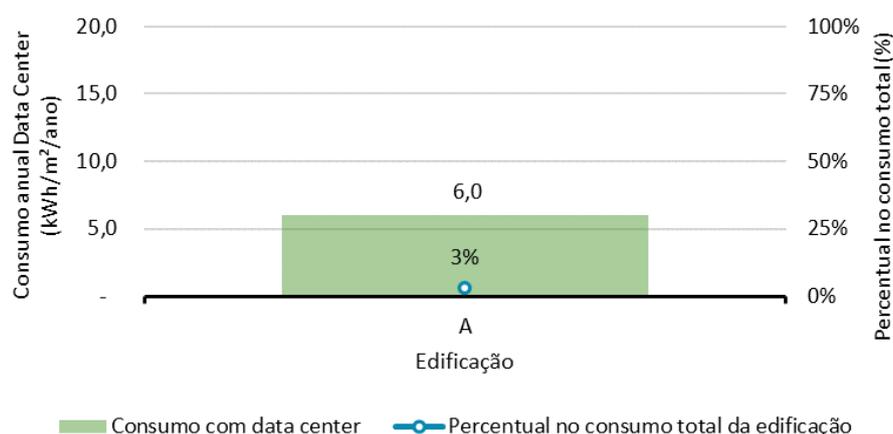


**Figura 13 – Taxa de ocupação e quantidade de funcionários da edificação auditada**

### CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Hospital**, observaram-se diversas cargas especiais. Nesta análise foram separadas as cargas para CPD e cargas para equipamentos hospitalares, incluindo os elevadores nesta última.

Quanto aos equipamentos de processamento de dados para composição da rede lógica interna da edificação, estes equipamentos são principalmente *racks*, *switches* e *no-breaks* localizados em ambientes administrativos. A Figura 14 indica o consumo de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/ano para estes equipamentos, representando 3% do consumo total de energia da edificação, um impacto pouco significativo para esta tipologia.



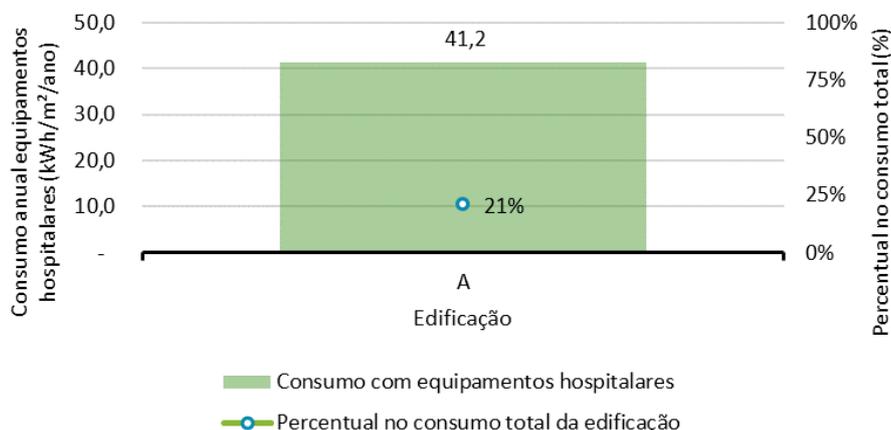
**Figura 14 – Proporção do consumo de equipamentos de CPD (Data center) em relação ao consumo total de energia na edificação auditada**

E, em relação aos equipamentos hospitalares, a Tabela 6 lista os equipamentos levantados e a potência instalada total (considerando a potência unitária e a quantidade de equipamentos).

**Tabela 6 - Lista de equipamentos hospitalares identificados**

| Equipamento                         | Potência instalada (kW) | Equipamento                  | Potência instalada (kW) |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Agitador                            | 0,311                   | Guindaste                    | 0,24                    |
| Aparelho de Anestesia               | 1,386                   | Hemodialisadora              | 5,94                    |
| Aparelho de fototerapia             | 0,531                   | Histoprocessador             | 1,452                   |
| Aquecedor de gel                    | 0,03                    | Impedanciômetro              | 0,68                    |
| Aquecedor de leite                  | 3,2                     | Impressora                   | 0,44                    |
| Aquecedor para turbilhão            | 3                       | Incubadora                   | 1,415                   |
| Arco cirúrgico                      | 10,39                   | Infra vermelho               | 0,15                    |
| Aspirador                           | 2,0                     | Injetora                     | 0,15                    |
| Audiômetro                          | 0,71                    | Insuflador                   | 1,91                    |
| Balança                             | 0,8596                  | Lâmpada de fenda             | 0,16                    |
| Banho histológico                   | 1,8                     | Lavadora                     | 42                      |
| Banho Maria                         | 6,1                     | Lavadora Ultrassonica        | 1,76                    |
| Banho Parafina                      | 1,5                     | Lensômetro                   | 0,05                    |
| Berço aquecido                      | 1,09                    | Mamógrafo                    | 10                      |
| Bisturi                             | 0,96                    | Manta Térmica                | 1,32                    |
| Bomba                               | 0,12                    | Máquina de gelo              | 0,38                    |
| Bomba de infusão                    | 0,7175                  | Microscópio                  | 1,107                   |
| Bomba de ordenha                    | 0,1                     | Microscópio cirúrgico        | 1,91                    |
| Bomba de sangue                     | 0,03                    | Micrótomo                    | 2,64                    |
| Bomba peristáltica                  | 0,025                   | Monitor                      | 0,722                   |
| Cadeira Odontológica                | 0,66                    | Monitor multiparamétrico     | 1,588                   |
| Cadeira Oftalmológica               | 0,44                    | Monitor NO / NO <sub>2</sub> | 0,03                    |
| Cadeira para otorrinolaringologista | 1,1                     | Montador de lâminas          | 0,1                     |
| Câmara de pressão                   | 0,8                     | Ondas Curtas                 | 0,25                    |
| Câmara de vacinas                   | 2,289                   | Osiose Central               | 3                       |
| Câmera                              | 0,24                    | Oxímetro                     | 0,12                    |
| Cardiotocógrafo                     | 0,24                    | Pasteurizador                | 3,5                     |
| Central de Café                     | 8,4                     | Perfurador cirúrgico         | 0,198                   |
| Central de inclusão                 | 1,155                   | Phmetro                      | 0,005                   |
| Centrífuga                          | 4,286                   | Processadora                 | 6,8                     |
| Centrífuga                          | 3,65                    | Processadora de imagem       | 0,366                   |
| Colposcópico                        | 0,7                     | Projektor                    | 0,08                    |
| Contador hematológico               | 0,055                   | Recortador de gesso          | 0,33                    |
| CONTAINER TÉRMICO                   | 0,7                     | Resfriador                   | 0,2                     |
| Corador de lâminas                  | 1,4                     | Respirador                   | 1,4792                  |
| Desfibrilador                       | 0,83                    | Secadora                     | 23,6013                 |
| Eletrcardiógrafo                    | 0,017                   | Seladora                     | 1,28                    |
| Eletrestimulador                    | 0,131                   | Serra de gesso               | 0,18                    |
| Estação de preparos                 | 4,62                    | Sistema neurofisiológico     | 0,1                     |
| Esteira                             | 0,8                     | Sonar                        | 1,32                    |
| Esteira Ergométrica                 | 2,2                     | Soprador                     | 1,4                     |
| Estufa                              | 2,595                   | Termocautério                | 0,05                    |
| Facoemulsificador                   | 1,386                   | Termodesinfetadora           | 15                      |
| Foco cirúrgico                      | 1,265                   | Turbilhão de água            | 0,8                     |
| Foco ginecológico                   | 0,11                    | Ultrassom                    | 8,03                    |
| Foco Odontológico                   | 0,03                    | Umidificador                 | 0,5                     |
| Fonte de Luz                        | 5,972                   | Unitarizadora                | 1,4                     |
| Forno combinado                     | 8,175                   | Vibrador elétrico            | 0,03                    |
| Garrote pneumático                  | 0,22                    | YAG Laser                    | 0,2                     |
| Gravador eletroquímico              | 0,66                    |                              |                         |

A partir da relação dos equipamentos, de suas potências instaladas e da estimativa de operação, foi possível estimar o consumo desses equipamentos. É importante enfatizar que a maioria deles fica acionada 24 horas por dia. A Figura 15 apresenta o consumo anual estimado desses equipamentos e o percentual no consumo total da edificação, mostrando-se bastante expressivo nesta tipologia e representando 21% do consumo total de energia estimada para a edificação.



**Figura 15 – Proporção do consumo de equipamentos hospitalares em relação ao consumo total de energia na edificação auditada**

#### CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar para a tipologia de **Hospital**, verificou-se que a edificação auditada possui dois sistemas centrais com *chillers* (potência de resfriamento total de 80,6 TR e 89 TR cada um) e 25 equipamentos *fan coils*.

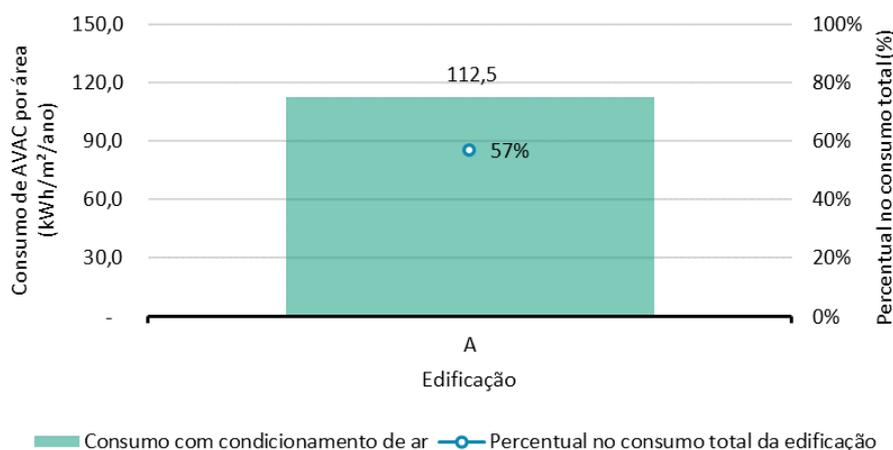
Além dos sistemas centrais, foram identificadas 201 unidades de *splits* de menor capacidade, com densidade de potência de resfriamento é de 182 BTU/h/m².

A potência de resfriamento total instalada na edificação é de 6.157.130,00 BTU/h. A Tabela 7 apresenta a síntese da potência dos sistemas de condicionamento de ar para a edificação auditada.

**Tabela 7 - Lista de equipamentos do sistema de condicionamento de ar da edificação auditada**

| Edifício | Tipo de equipamento          | AMBIENTE         | Potência instalada [BTU/h] |
|----------|------------------------------|------------------|----------------------------|
| A        | <i>Chiller A</i>             | - Diversas salas | 590.000                    |
|          | <i>Chiller B</i>             | - Diversas salas | 680.000                    |
|          | <i>Split inverter/On-Off</i> | - Diversas salas | 4.891.903                  |

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



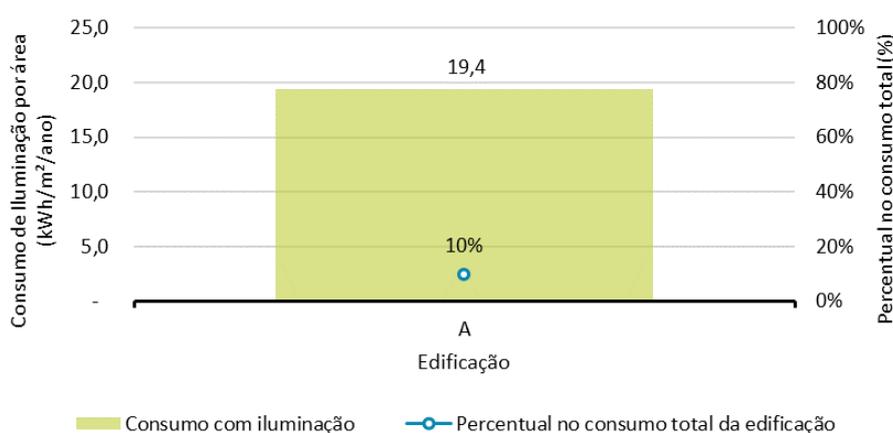
**Figura 16 - Proporção do consumo dos sistemas de condicionamento de ar em relação ao consumo total nas edificações auditadas**

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total da edificação, representando 57% do consumo total da edificação auditada. De fato, edificações desse tipo mantêm seus ambientes condicionados continuamente, ocasionando o grande consumo de energia por este sistema.

Como o consumo de energia com condicionamento de ar é intrinsecamente dependente do clima, também é importante visualizar as características climáticas nas quais as edificações estão inseridas. No caso da edificação auditada, a cidade de São Paulo fica localizada no estado de São Paulo, pertence à zona Bioclimática 3, segundo a Norma NBR 15.220/2003. Dessa forma, pode-se dizer que o clima da cidade em questão é ameno e, apesar de ter um papel fundamental no consumo total da edificação, o sistema de condicionamento de ar pode não ser o consumo mais representativo.

## ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação da tipologia de **Hospital**, verificou-se majoritariamente luminárias do tipo T8 fluorescente de 25W. Poucas LED bulbo de 9W também são encontradas. A Figura 17 apresenta o consumo com iluminação e a proporção do seu respectivo consumo no consumo total da edificação.

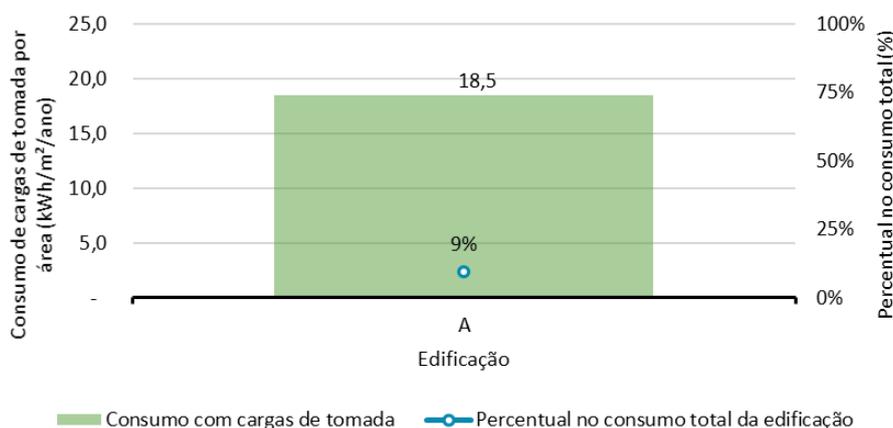


**Figura 17 – Proporção do consumo de iluminação para a edificação auditada**

O consumo com iluminação foi de 19,4 kWh/m²/ano, representando 10% do consumo total da edificação. Além disso, a densidade de potência de iluminação observada foi de 5,03 kW/m².

## CARGAS DE TOMADA

O consumo com cargas de tomada para a tipologia de **Hospital**, considerando o edifício auditado, foi estimada com base na quantidade de computadores e demais cargas de tomadas menores registrados no levantamento de dados, logo sua potência instalada, e o uso reportado pelos usuários da edificação. A Figura 18 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total de energia da edificação.



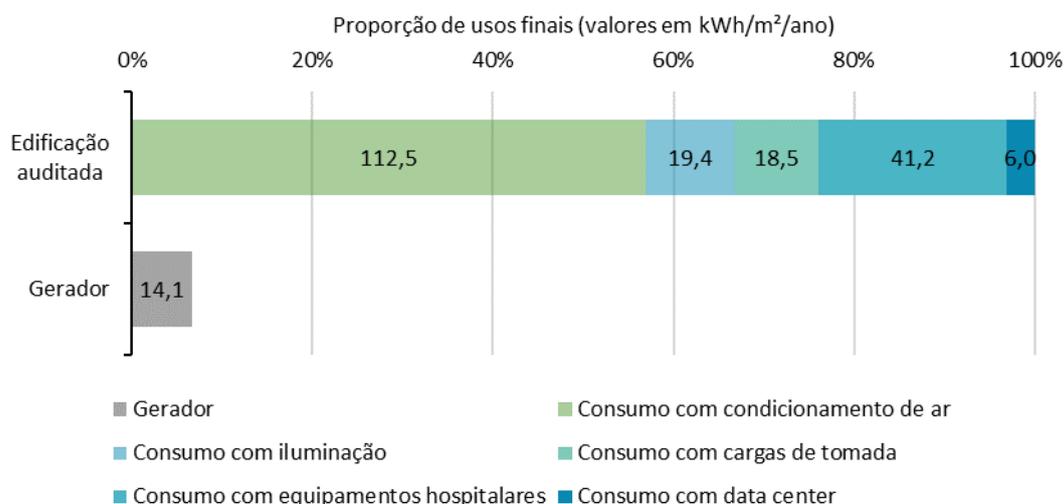
**Figura 18 – Proporção do consumo de energia para cargas de tomada na edificação auditada**

Pode-se perceber que a edificação auditada apresentou consumo anual de cargas de tomada de 18,5 kWh/m²/ano, representando uma proporção de 9% do consumo total de energia da edificação. Apesar dos equipamentos específicos apresentarem potência baixa, seu uso frequente pode levar a consumos maiores.

## ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 19 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas presentes na edificação da tipologia de **Hospital** auditada e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

É importante enfatizar que a edificação auditada possui duas unidades geradoras de energia a diesel, de 1500 kVA de capacidade. Foi relatado que estas unidades têm duas funções. Primeiro, garantir um backup de fornecimento de energia para o hospital e suas cargas vitais, de forma a garantir a atividade contínua de procedimentos que dão suporte à vida. Em segundo lugar, os geradores são usados periodicamente para suprir parte da demanda energética do hospital, como forma de aliviar a tensão da rede, reduzir custos com energia e promover a não-ociosidade dos próprios geradores, mantendo-os em funcionamento. Dessa forma, os geradores abatem uma parcela do consumo da edificação. Com base na frequência de uso dos geradores, reportada pelos técnicos do hospital auditado, e na capacidade de geração das unidades geradoras, foi possível estimar uma quantidade anual de energia suprida por eles. Esta quantidade de energia é demonstrada na Figura 19 por uma barra cinza.



**Figura 19 – Proporção e valores dos usos finais por área construída da edificação auditada**

A Figura 19 mostra que o uso final mais expressivo da edificação auditada foi o sistema de condicionamento de ar, representando cerca de 57% do consumo total de energia estimado da edificação. Em segundo lugar, as cargas dos equipamentos hospitalares representando cerca de 21% do consumo total (41,2 kWh/m<sup>2</sup>/ano). O consumo com iluminação representou 10% do consumo total (19,4 kWh/m<sup>2</sup>/ano) e o consumo com cargas de tomada representou 9% (18,5 kWh/m<sup>2</sup>/ano). Por fim, o consumo com cargas de data center representou cerca de 3% do consumo total estimado (6 kWh/m<sup>2</sup>/ano).

Resumindo, o consumo total de energia elétrica estimado pela planilha CBCS-DEO para a edificação auditada foi de 197,5 kWh/m<sup>2</sup>/ano, considerando que parte desse consumo é suprido pelos geradores, acionados periodicamente, garantindo um suprimento anual de 7% do consumo total estimado para a edificação.

## 5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS

### VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E VARIÁVEIS RELEVANTES

O arquétipo desenvolvido e detalhado no relatório RT2B.13, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados desta análise do estoque e da auditoria energética.

A Tabela 8 apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

**Tabela 8 – Resumo dos principais dados construtivos**

| Dados                                | Análise do estoque           | Auditorias                    | Arquétipo CBCS   |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Pavimentos                           | 1                            | 6                             | 6                |
| Subsolos                             | 0                            | 0                             | 1                |
| Pé-Direito* [m]                      | -                            | N/D                           | 3,00             |
| Formato                              | -                            | N/D                           | Irregular        |
| Sombreamento                         | -                            | Auto sombreamento             | Variável         |
| Perfil de Ocupação                   | Monousuário                  | Monousuário                   | Monousuário      |
| Turnos                               | 6 dias na semana             | 7 dias na semana              | 7 dias na semana |
| Área Construída [m <sup>2</sup> ]    | Média = 477                  | 33.762,63                     | 19.960           |
|                                      | Mediana = 150,0              |                               |                  |
| Área Privativa [%]                   | -                            | 62%                           | 46,1 %           |
| Área Comum [%]                       | -                            | 37%                           | 53,9%            |
| Área Técnica [%]                     | -                            | 1%                            | 0%               |
| Ocupação [m <sup>2</sup> por pessoa] | 32 m <sup>2</sup> por pessoa | 102 m <sup>2</sup> por pessoa | Variável         |

\* Medida de Piso a forro;

O modelo do arquétipo foi constituído de uma edificação com seis pavimentos de dimensões 70,1 m x 53,3 m x 23,80 m (L x C x A), com área total de 19.960m<sup>2</sup>. O formato da edificação é retangular, mas foram considerados recortes nas fachadas, conforme observado em outros edifícios desse tipo.

A edificação é do tipo monousuário, com seis pavimentos, sendo o subsolo, o primeiro pavimento de acesso (recepção, arquivo, enfermaria), o segundo pavimento com enfermarias e UTI, o terceiro pavimento com enfermarias e UTI, o quarto e quinto pavimentos com enfermaria, laboratório e fisioterapia, e o sexto pavimento com enfermaria, cozinha e restaurante. Todos os pavimentos têm corredores e banheiros e todos os ambientes foram considerados condicionados artificialmente, exceto a cozinha.

Quanto à ocupação, adotou-se, um modelo com ocupação fixa, considerando os ambientes ocupados 24h por dia, 7 dias por semana, e outro modelo com ocupação em horário comercial estendido, das 07:00 às 22:00 horas de segunda-feira à sábado.

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

- **Iluminação:** Um cenário com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de 17,81 W/m<sup>2</sup> e outro cenário com DPI médio de 10,77 W/m<sup>2</sup>;

- **Envoltória:** Um cenário considerando paredes menos eficientes ( $U_{\text{parede}} = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $U_{\text{cobertura}} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) e outro cenário considerando paredes mais eficientes ( $U_{\text{parede}} = 0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $U_{\text{cobertura}} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- **Cor da envoltória:** Um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outro cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Tipo do sistema AVAC:** Três cenários, sendo um com sistema tipo split (EER = 3,24 W/W), outro cenário com sistema central tipo VRF (EER = 4,06W/W, 4,21W/W, 4,24W/W, 4,26W/W, 4,41W/W, e 4,69W/W) e outro cenário com sistema central tipo Chiller condensado à ar (EER = 3,08 W/W).

## 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.

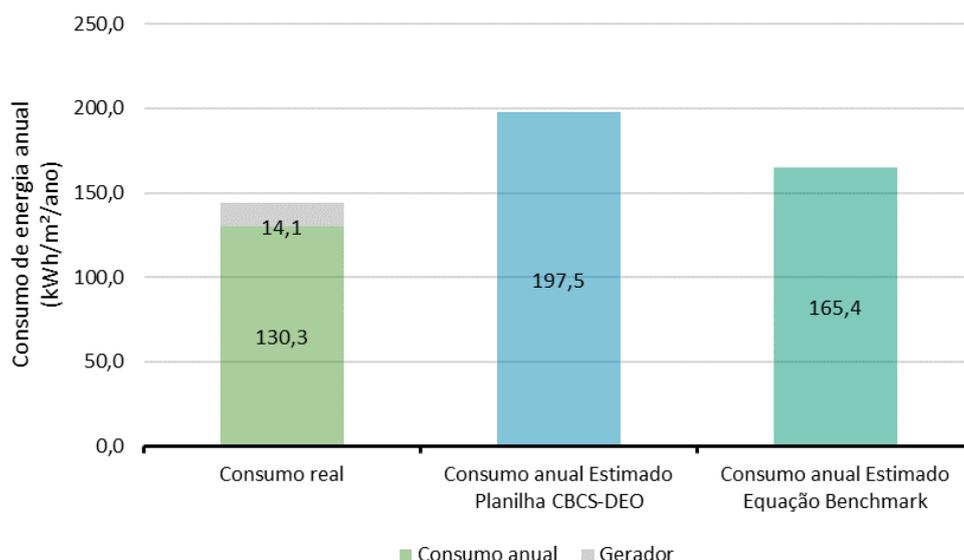
O método de estimativa de consumo energético proposto pela planilha CBCS-DEO leva em consideração as potências, a operação e o fator de uso de cada equipamento presente na edificação. Já a estimativa pela equação de *benchmark* é obtida por meio da aplicação de regressão múltipla, calculada a partir 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 na auditoria realizada na equação de *benchmark* para GHR abaixo de 54.000, uma vez que a edificação auditada está localizada na cidade de São Paulo, equação detalhada no **relatório RT2B.13**.

As duas equações da tipologia de **Hospital**, de modo geral, consideram as seguintes variáveis independentes:

- GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação;
- GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação;
- AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1 – Central VRF, 2– Split individual, 3 – Central Chiller);
- ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada ( $\text{W/m}^2$ );
- ENVOLTORIA – Transmitância térmica das paredes externas;
- N° CENTROS CIRURGICOS - quantidade de unidades de centro cirúrgico;
- ÁREA MÉDIA DO CENTRO CIRURGICO – média das áreas das unidades de centro cirúrgico;
- NÚMERO DE LEITOS DE UTI - quantidade total de leitos de UTI
- ÁREA MÉDIA POR LEITO DE UTI - média das áreas de cada configuração de leito de UTI;
- N° LEITOS COMUNS - quantidade total de leitos das Enfermarias e Quartos;
- ÁREA MÉDIA POR LEITO COMUM - média das áreas de cada configuração de leito comum;
- N° SALAS DE EXAME - quantidade total de salas de exame;
- ÁREA MÉDIA DAS SALAS DE EXAMES - média das áreas de todas as salas de exame;
- ÁREA DAS DEMAIS ÁREAS – somatória de todas as demais dependências do hospital;
- ÁREA TOTAL HOSPITAL – somatória de todas as áreas anteriores.

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



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

É importante enfatizar que o EUI real da edificação foi de 130,3 kWh/m<sup>2</sup>/ano, medido pela concessionária de energia, ao qual se acrescenta a energia gerada pelos equipamentos geradores (14,1 kWh/m<sup>2</sup>/ano). Assim, para a comparação apropriada dos consumos real e estimados, considera-se o consumo real de 144,3 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

A diferença entre consumo estimado pela planilha CBCS-DEO e o consumo real foi de 37%. Um dos fatores que podem ter contribuído para essa diferença é o fato das estimativas de operação dos equipamentos serem feitas de forma subjetiva, especialmente pelo cálculo do sistema de condicionamento de ar, uma vez que a planilha CBCS-DEO considera um cálculo simplificado na estimativa do consumo pelo sistema AVAC e este é um sistema que requer uma abordagem mais complexa para sua determinação.

Já em relação ao consumo de energia estimado pela equação de *benchmark*, a diferença foi de 15% a mais em relação ao consumo real da edificação auditada, o que pode ser considerado próximo, uma vez que há incertezas inerentes ao processo de estimativa, que podem acarretar variações expressivas por motivos de diferenças em operação dos sistemas e até mesmo das variações climáticas que afetam o consumo pelo sistema de condicionamento de ar, um uso final expressivo para a tipologia de **Hospital**.

De fato, há uma incerteza inerente do processo de estimativa, que pode acarretar variações expressivas por motivos de diferenças em operação dos sistemas e variações climáticas. Espera-se variações da ordem de até 40%<sup>1</sup> quando estimativas desse tipo são feitas em sistemas simulados de edificações. Esse tipo de variação é denominado pela literatura internacional de *energy performance gap*<sup>2</sup>, e vem sendo cada vez mais explorado para identificar suas causas e procurar formas de mitigação. Atualmente, sabe-se que as principais causas do *energy performance gap* são as variações de operação causadas pelo usuário e as variações climáticas que são imprevisíveis a longo prazo.

<sup>1</sup> De Wilde, Pieter. 2014. "The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation." *Automation in Construction* 41:40–49.

<sup>2</sup> Coleman, Sylvia and John B. Robinson. 2018. "Introducing the Qualitative Performance Gap: Stories about a Sustainable Building." *Building Research and Information* 46(5):485–500.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Hospital** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 341 dados completos e tratados, cobrindo as 27 Unidades Federativas brasileiras) e da análise da auditoria energética realizada em uma edificação.

A análise do estoque e o resultado da auditoria energética realizada 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.

O processo de validação comparou estas características e os resultados da auditoria, 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* desenvolvida.

A comparação dos consumos estimados com o consumo real evidenciou que o método de estimativa da planilha CBCS-DEO apresentou resultado majorado em relação ao consumo real da edificação auditada. Diferentemente, a estimativa realizada pela equação de *benchmark* trouxe um resultado próximo em relação ao resultado de consumo por metro quadrado real da edificação avaliada, com uma diferença média de 15% a mais do que o consumo real da edificação auditada.

Pode-se compreender as diferenças observadas pela alta complexidade das cargas presentes nesta tipologia, as quais são de difícil modelagem no arquétipo, uma vez que dependem exclusivamente do usuário e de seu modo de operação dos equipamentos específicos instalados. Além disso, há a diferença devida ao consumo pelo sistema de condicionamento de ar, cujas variações de modo de funcionamento e condições climáticas também podem causar diferenças significativas nos resultados de consumo de energia total das edificações.