



Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.03: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte

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 08/03/2021

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 Hotel Vertical de Médio e Grande Porte.

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA.....	2
Método geral adotada para o convênio.....	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE.....	6
Características gerais.....	7
Ocupação.....	9
Cargas especiais	10
Intensidade de Uso de Energia (EUI).....	11
Iluminação artificial.....	12
Características construtivas	13
4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS	15
Características gerais.....	15
Ocupação.....	17
Cargas especiais	18
Condicionamento de ar	19
Iluminação	21
Cargas de tomada.....	21
Análise dos usos finais.....	22
5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS	23
Validação do arquétipo e variáveis relevantes	23
Comparação do consumo real com os consumos estimados	24
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26

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**.

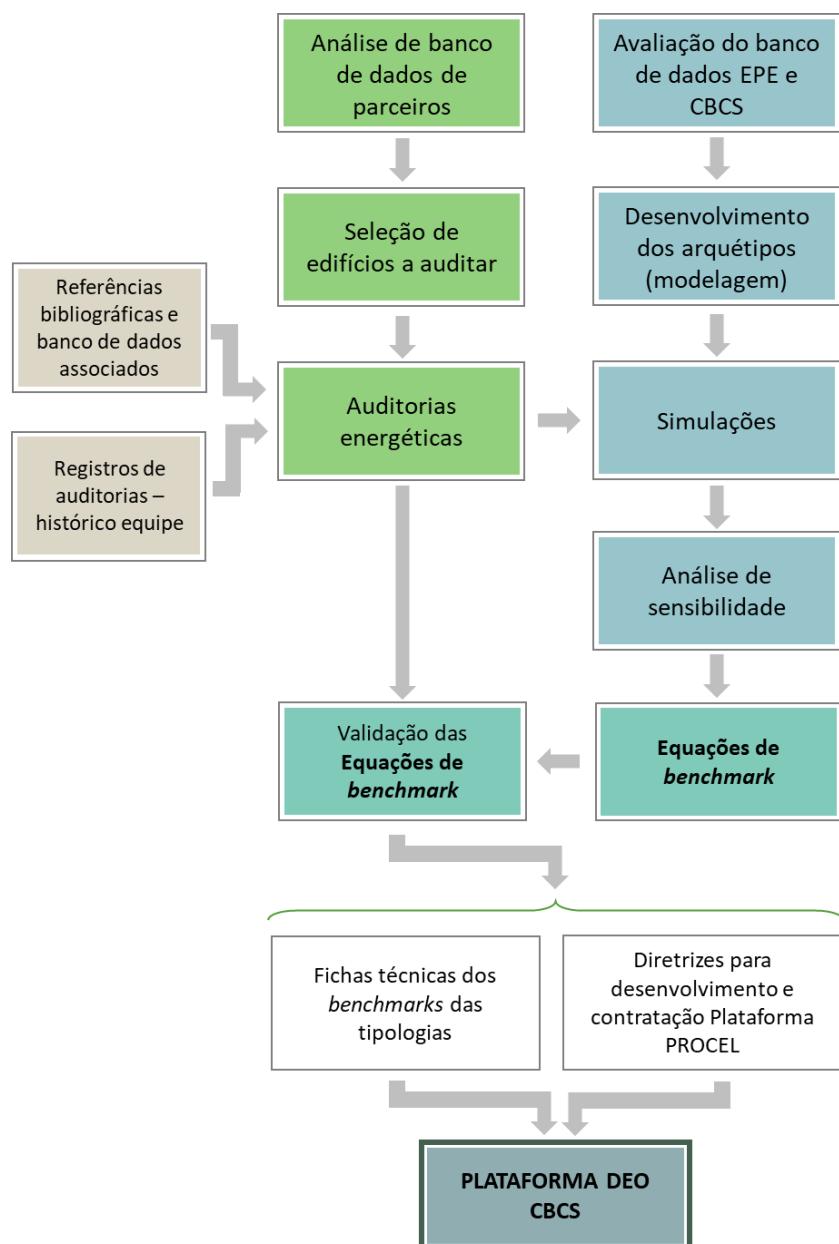


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte** 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.

Inicialmente, a análise de banco de dados foi feita para a tipologia original proposta para este convênio e denominada **Hotel de Médio Porte**. Desta forma, foram estudadas as 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. Por esta razão, apesar da tipologia final ter sido definida como **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**, este relatório, ao apresentar a análise dos dados do estoque, a faz com referência à tipologia original de **Hotel de Médio Porte**.

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 puderem acontecer. Para suprir esta lacuna, as visitas técnicas impossibilitadas tiveram como alternativa de levantamento de dados:

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;

- i. Análise de resultados de auditorias energéticas reportadas em pesquisas acadêmicas e em arquivos de profissionais de mercado;
- 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 foi realizada inicialmente para a caracterização da tipologia de **Hotel de Médio Porte**, tal como definida na proposta original deste convênio. O recorte feito nas amostras descritas no projeto META, para definir cada uma das três tipologias de hotel previstas no convênio, procurou considerar os seus portes, em termos de número de quartos e área total, sendo separados para a análise da tipologia de Médio Porte aqueles com número de quartos entre 40 e 200 unidades, mas também com áreas entre 1.500 m² e 3.500 m². No entanto, como a base de dados do META para hotelaria possui uma classificação diferente, agrupando as edificações em "HOTEL", "POUSADA", "RESORT" e "MOTEL", ao realizar este recorte da amostra foram selecionados os dados da categoria "HOTEL", porém limitando o número de quartos entre 40 e 200 unidades, apesar de haver neste conjunto de dados analisados alguns edifícios com áreas construídas superiores e outras inferiores aos limites definidos para a análise desta tipologia de hotel de médio porte, mas que não prejudicaram o objetivo desta análise, que é a caracterização da tipologia para o seu *benchmarking*.

Também foi considerado o compartilhamento voluntário de dados do estoque de parceiros.

Adicionalmente, especialmente em virtude da adequação da equação de *benchmark* desenvolvida para esta tipologia, também para outros hotéis em edificação vertical com maior número de quartos e maior área construída, optou-se por alterar a sua nomenclatura de **Hotel de Médio Porte** para **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.

O banco de dados do estoque apresenta informações pertinentes à caracterização construtiva e ao consumo de energia, com dados de edificações em 21 das 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por dados de 92 unidades de edificações. Nesta amostra, o estado de São Paulo é o mais presente, contribuindo com 18 edificações (20% do estoque).

Filtros para a retirada de valores espúrios de área construída e consumo de energia foram aplicados na amostra bruta, e dois valores foram considerados espúrios, resultando em uma amostra tratada final com 90 unidades. Destas 90 unidades, todas apresentaram informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: idade de construção, quantidade de funcionários, quantidade de quartos, quantidade de refrigeradores, consumo por quarto e informações sobre lavanderias.

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

A Tabela 1 apresenta o resumo dos dados disponíveis do estoque e que foram analisados.

Tabela 1 - Resumo dos dados analisados do estoque para a tipologia original de Hotel de Médio Porte

RESUMO DO BANCO DE DADOS	
Amostra bruta	92 unidades
Amostra tratada (sem valores espúrios)	92 unidades
Amostra selecionada (dados completos)	90 unidades
Unidades Federativas contendo dados	21
	<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; – Quantidade de funcionários;
Variáveis Contidas	

<ul style="list-style-type: none"> – Quantidade de quartos; – Uso da lavanderia. 	
Auditorias energéticas	4 unidades

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A Tabela 2 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra selecionada para a tipologia original de **Hotel de Médio Porte**. Importante mencionar que o recorte do banco de dados do Meta foi feito para edifícios com número de quartos entre 40 e 200, porém, em virtude da diversidade de edificações do estoque nesta faixa, acabam havendo variações nas áreas totais do estoque analisado, tanto superiores quanto inferiores aos limites originalmente definidos para a caracterização da tipologia – nota-se, no entanto, que em termos de valores médios e terceiros quartis, os valores encontram-se dentro destes limites.

Tabela 2 – Medidas de síntese das variáveis do estoque para a tipologia original de Hotel de Médio Porte

VARIÁVEIS	VALOR MÍN.	1º QUARTIL (25%)	MEDIANA (50%)	MÉDIA	3º QUARTIL (75%)	VALOR MÁX.
Ano de construção	1903	1975	1985	1983	1995	2014
Número de Funcionários	4	10	22	29	36	240
Número de Funcionários/100 m ²	0,09	0,99	2,59	4,38	4,38	27,95
Número de Quartos	40	45	53	69	80	190
Número de Geladeiras e Freezers	1	2	3	3	3	11
Número de quartos /100m ²	0	3	8	13	15	87
Área Total [m ²]	75,0	350,0	750,0	2.107,5	1.500,0	29.461,5
EUI [kWh/m ² /ano]	0,79	33,77	95,45	159,37	203,51	888,62

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 159,37 kWh/m²/ano, variando de 33,77 a 203,51 kWh/m²/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 uma média de 2.107,5 m², mediana de 750,0 m² e desvio de padrão de 4.364,89 m². O alto desvio padrão denota a grande variabilidade de áreas que o estoque possui. A Figura 2 reforça essa variabilidade, apresentando um histograma da área construída das edificações da base de dados. Nota-se que há uma frequência maior de edificações de até 1.500 m², mas também há a presença de edificações maiores, entre 3.000 m² a 3.600 m² e maiores que 4.200 m².

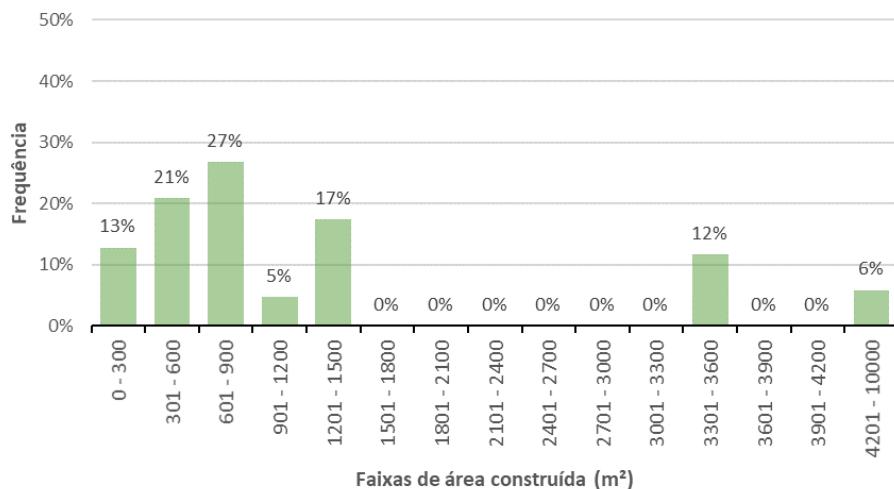


Figura 2 - Histograma da área construída

Além da área construída, algumas características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especificamente para a tipologia original de **Hotel de Médio Porte**, a quantidade de quartos, o consumo de energia por quarto, a ocupação média por quarto e a quantidade de refrigeradores foram definidas 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.

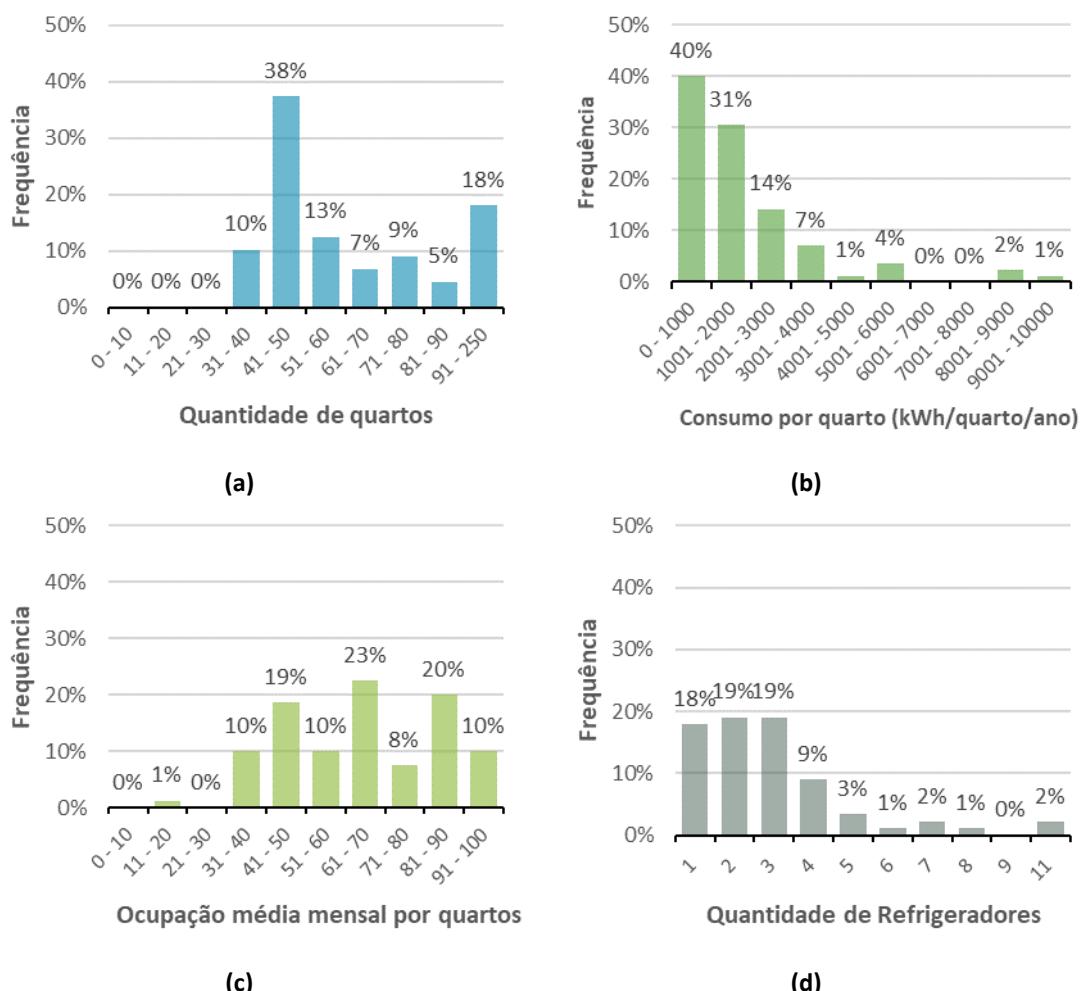


Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação

A Figura 3 revela que para a tipologia original de **Hotel de Médio Porte**, a quantidade média de quartos é de 70 quartos. Com relação ao consumo médio por quarto, o valor médio anual é de 2.722 kWh por quarto por ano, e a ocupação média mensal observada nas edificações do estoque foi de 62 hóspedes por quarto por mês. A quantidade média de refrigeradores e geladeiras é de 3 equipamentos por edificação. Nota-se que neste levantamento somente foram considerados refrigeradores e geladeiras os equipamentos de porte doméstico ou superior, e não os equipamentos de frigobar geralmente presentes em cada um dos quartos.

Considerando a ocupação média mensal por quarto e a quantidade média de quartos obtidas no banco de dados do estoque, a quantidade média de hóspedes por ano é de 54.145 hóspedes/ano, totalizando 773 hóspedes por quarto por ano.

Ocupação

A ocupação da tipologia original de **Hotel de Médio de Porte** é uma variável composta por duas parcelas: os funcionários e os hóspedes. A ocupação de hóspedes é apresentada na Figura 3.c e a Figura 4 apresenta o histograma da quantidade de funcionários das edificações analisadas no estoque.

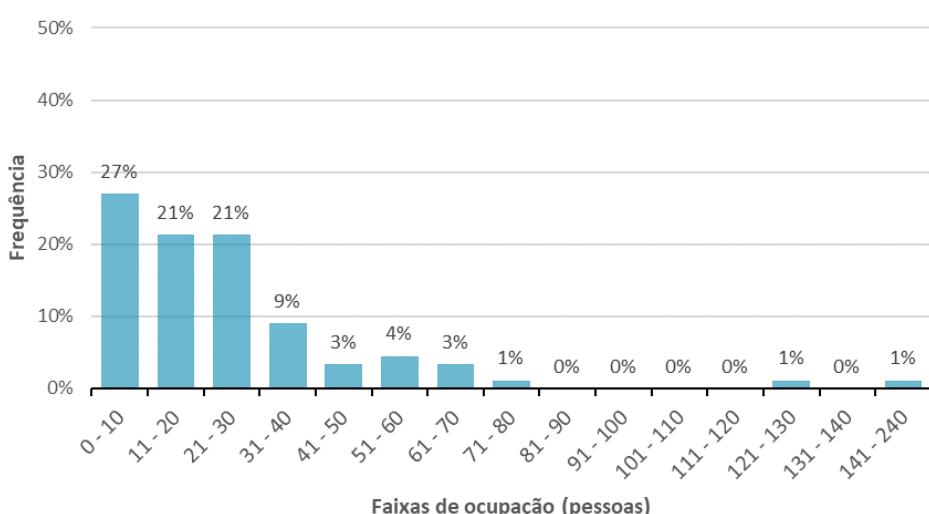


Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários

A Figura 4 informa que a maior parte das edificações têm até 30 funcionários (69%). A ocupação média de funcionários é de 28 pessoas por edificação, que corresponde a uma densidade de ocupação de funcionários de 75 m² por pessoa, considerando-se a área média obtida no banco de dados do estoque. A partir daí, considerando a ocupação média de hóspedes acrescida da ocupação média de funcionários, a densidade de ocupação total é de 12 m² por pessoa.

Com relação à forma de ocupação do edifício, a Figura 5 apresenta a proporção de edificações do estoque se ocupando um único edifício ou mais de um edifício.

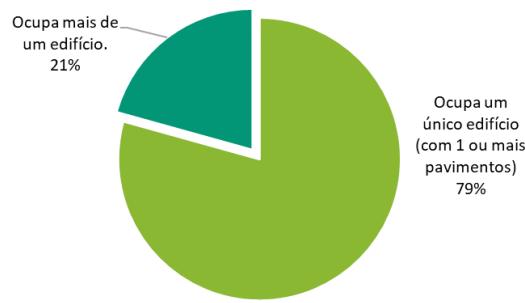


Figura 5 – Proporção do estoque em relação ao número de blocos

Como grande parte do estoque (79%) ocupa um único edifício, pode-se dizer que esta tipologia é representada majoritariamente por edificações monousuário.

Com relação à operação do edifício, todos os edifícios têm operação constante, 24 horas por dia, sete dias por semana.

A Figura 6 apresenta a proporção de edificações em relação ao número de pavimentos, sendo o valor mais frequente edificações de 3 pavimentos, sendo essa também a quantidade média do estoque.

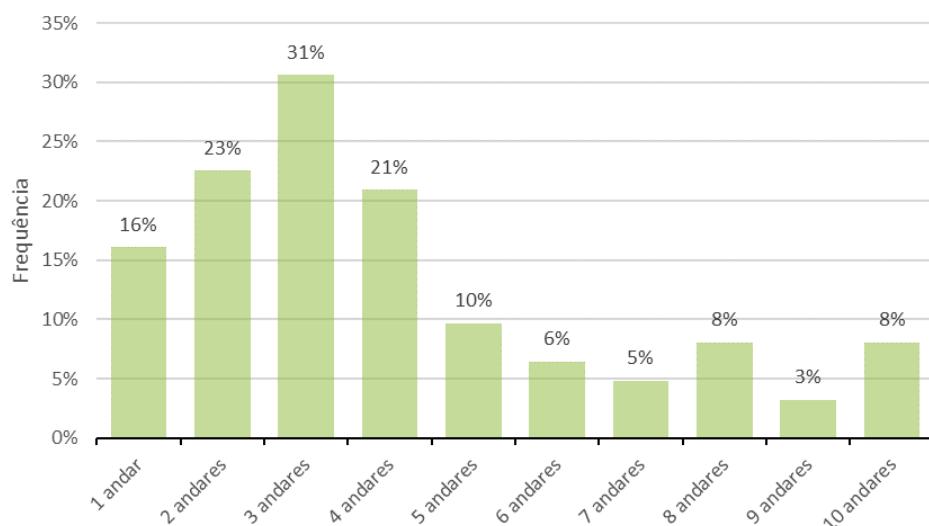


Figura 6 – Histograma do número de pavimentos das edificações.

Portanto, a partir das proporções de ocupação, número de pavimentos e área identificados no estoque, pode-se dizer que uma edificação típica da tipologia original de **Hotel de Médio Porte** é uma edificação de múltiplos pavimentos, composta por um bloco único, de aproximadamente 2.107,5 m², ocupação média de 28 funcionários e possui 70 quartos.

CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia original de **Hotel de Médio Porte** foram observadas as seguintes cargas especiais: piscina aquecida com eletricidade e lavanderia. A Figura 7 apresenta a proporção e o padrão de uso das lavanderias das edificações que reportaram esse tipo de equipamento e a frequência de piscinas aquecidas dentre as edificações analisadas. Não foram reportadas no banco de dados do estoque mais informações sobre potência e volume desses sistemas nas edificações para análise mais detalhada.

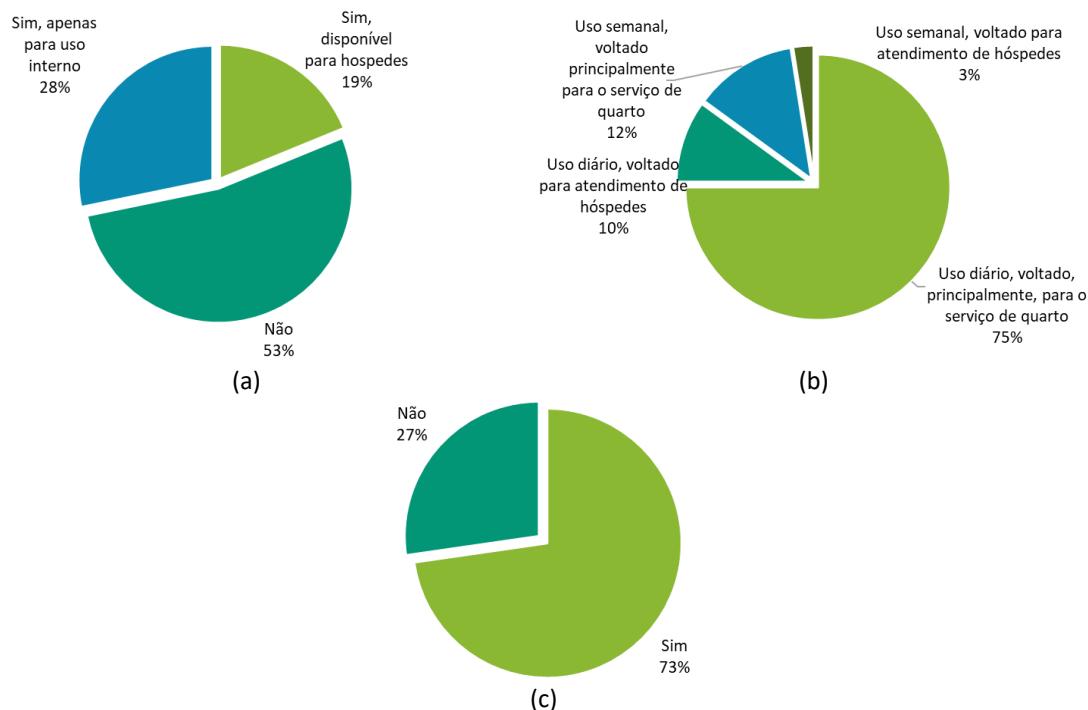


Figura 7 – Proporção das edificações com cargas especiais: (a) Proporção de lavanderias e (b) usos de lavanderias, e (c) proporção de edificações que possuem piscinas aquecidas.

Nota-se que a maior parte das edificações não possui lavanderia (53%), mas as que possuem (47%), utilizam a lavanderia diariamente de forma disponível para os hóspedes e voltada para o serviço de quarto (75%). Quanto à piscina aquecida, observa-se que grande parte do estoque analisado possui esse sistema (73%).

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 original de **Hotel de Médio Porte** na amostra analisada foi de 159,37 kWh/m²/ano, com mediana 95,45 kWh/m²/ano e desvio padrão de 188,59 kWh/m²/ano.

A Figura 8 apresenta a análise da distribuição desta variável para as edificações no banco de dados.

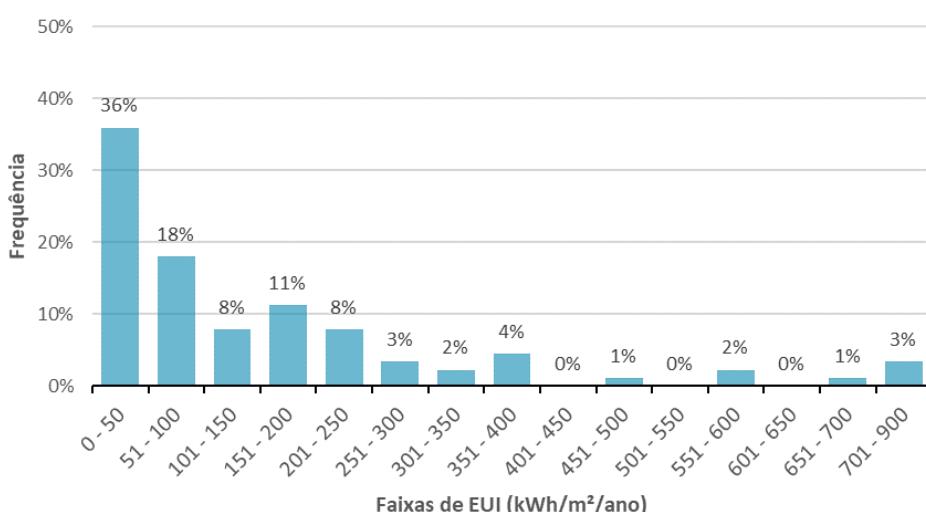


Figura 8 – Histograma da variável EUI

Verificou-se que a variável EUI não possui uma distribuição normal, a partir do teste de Anderson-Darling a 95% de confiança, o qual resultou em um valor de probabilidade de 2×10^{-16} (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 GRH em cada estado do Brasil e associa a média de EUI das edificações do estoque analisado.

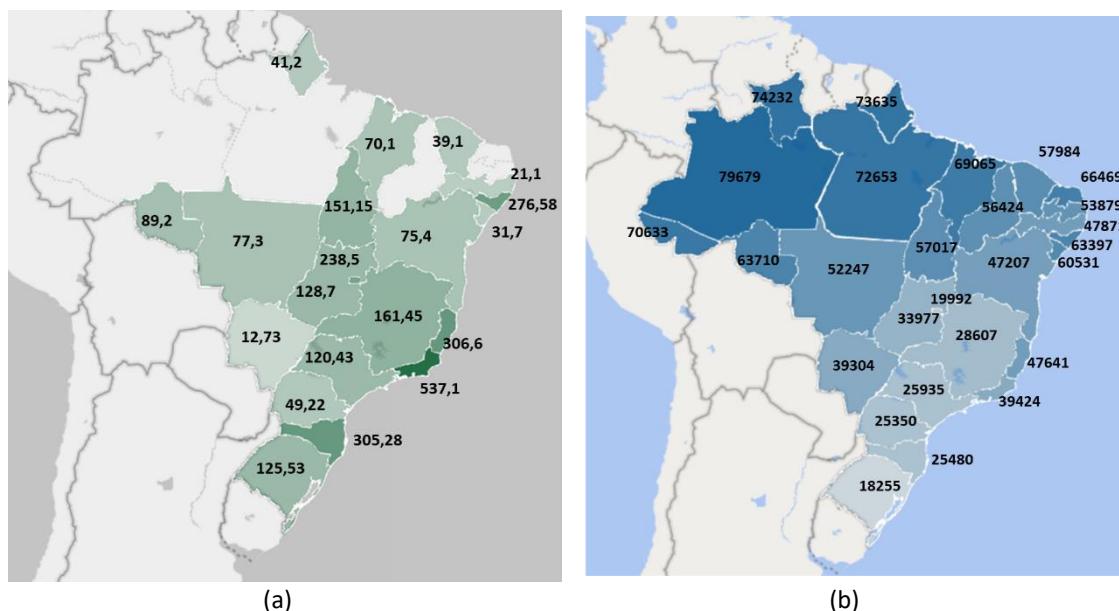


Figura 9 – Comparação entre (a) Média de EUI da amostra e (b) Média de GHR, por estado da federação brasileira

A Figura 9 evidencia que 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. É possível verificar que em estados com expressivo turismo litorâneo (Santa Catarina, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Alagoas) o consumo é mais expressivo. Ressalta-se que a Figura 9.a apresenta apenas o EUI médio nos estados brasileiros dos quais o banco de dados havia informações (21 unidades federativas).

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial para a tipologia original de **Hotel de Médio Porte** 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 aproveitar a iluminação natural externa durante o dia, uma vez que cerca de 79% das edificações reportaram utilizar iluminação artificial apenas quando não há iluminação natural disponível. 19% responderam que há utilização de iluminação artificial durante todo o horário de funcionamento da edificação, o que indica que a iluminação se mantém acionada continuamente.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A Figura 11 apresenta as características construtivas típicas da tipologia original de **Hotel de Médio Porte**.

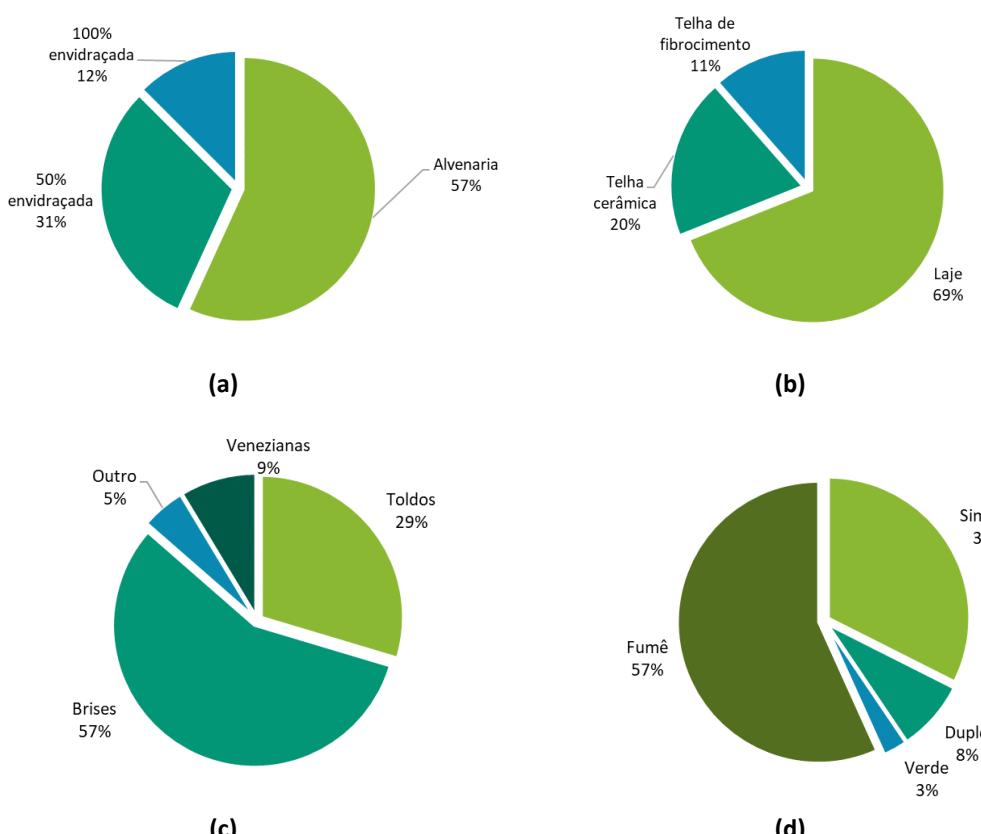


Figura 11 – Características construtivas típicas do estoque – Composição das (a) fachadas, (b) coberturas, (c) sombreamento das fachadas e (d) vidros externos.

As características construtivas das vedações externas (fachadas), coberturas, tipos de vidro das esquadrias externas e sombreamentos constituem os elementos da envoltória, que é a interface entre o interior do

ambiente construído com o exterior. As propriedades da envoltória são determinantes para o desempenho termo-lumínico-energético da edificação, pois são as propriedades térmicas que vão definir o fluxo de calor entre a edificação e o meio, e é o tamanho e translucidez do vidro que vão determinar a quantidade e qualidade da iluminação natural que adentra o edifício.

Por meio da Figura 11, percebe-se que a maior parte das edificações tem fachada de alvenaria (57%), cobertura de laje simples (69%), elementos de sombreamento do tipo brises (57%) e as esquadrias compostas majoritariamente por vidros simples do tipo fumê (57%).

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

As quatro auditorias energéticas descritas a seguir foram realizadas a partir de visitas *in loco* em quatro edificações, sendo uma delas obtida a partir de auditoria realizada pelo próprio parceiro, sob orientação da equipe deste convênio e a ela reportada posteriormente.

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

Tabela 3 – Dados principais das edificações auditadas

Edificação	A	B	C	D
Município	São Paulo	São Paulo	São Paulo	Florianópolis
Estado	SP	SP	SP	SC
Pavimentos	15	7	7	N/D
Subsolos	0	0	0	0
Pé-Direito¹ [m]	2,7	2,8	2,75	2,8
Formato	N/D	N/D	Retangular	N/D
Sombreamento	Cortinas internas	Cortinas internas	Cortinas internas	Cortinas internas
Perfil de ocupação²	Monousuário	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Dias de operação por semana	7	7	7	7
Área construída [m²]	11.002,77	15.153,58	5.156,24	N/D
Área Útil³ [m²]	9.747,82	12.762,59	44.17,27	N/D
Área Privativa⁴ [m²]	4.076,37	6.125,10	2.537,65	N/D
Área Comum⁵ [m²]	5.671,45	6.637,49	1.879,62	N/D
Taxa de Ocupação⁶	41%	46%	64%	N/D
Quantidade de quartos	300	190	144	70
EUI real [kWh/m²/ano]	94,90	78,23	123,59	N/D

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 Percentual médio do total de quartos ocupados nos últimos 12 meses;

Nota: N/D = não disponível.

Nota-se que o EUI real das edificações auditadas variou de 78,23 a 123,59 kWh/m²/ano, com média de 98,91 kWh/m²/ano. Este valor contrastou com o EUI médio identificado na análise do estoque, de 159,37 kWh/m²/ano, apresentando uma diferença de 37% a menos. Porém, pode-se dizer que as edificações estão dentro da faixa de valores dos quartis, observada na análise do banco de dados dos estoques desta tipologia. De fato, quando o histograma de EUI do estoque é analisado, percebe-se que

54% das edificações do estoque (maioria) apresentam EUI de até 100 kWh/m²/ano, similar ao observado nas edificações auditadas.

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 alta tensão, subgrupo A4, modalidade tarifária convencional
AVAC	Majoritariamente sistema unitário do tipo <i>split On/Off</i> e <i>inverter</i> nos quartos. Há sistema do tipo Chiller à ar para ambientes compartilhados (recepção, saguão, refeitório).
Iluminação	Diversos tipos de luminárias. É frequente o emprego de lâmpadas compactas LED (9 W e 15W) e compactas fluorescentes (25W). Há luminárias com lâmpadas tubulares tipo T8 (32W), lustres e dicroicas para iluminação cênica.
Aquecimento de água	Aquecimento de água feito com aquecedor central a gás.
Cargas de tomadas	Refrigeradores, mini refrigeradores e frigobares, secadores de cabelo, são presentes. Foi também reportado a existência de ventiladores nas áreas comuns, computadores nas áreas administrativas, televisores; utensílios de cozinha, como micro-ondas, cafeteira, fogão, entre outros.
Cargas específicas	Foi registrado a presença de elevadores com potência unitária nominal de 8.300W.
CPDs	Presença de equipamentos do tipo <i>racks</i> , <i>CPDs</i> e <i>nobreaks</i> com fonte de alimentação ininterrupta – UPS, para composição da rede interna da edificação.
Gerador	Não presente.

O pé-direito médio das edificações auditadas foi de 2,76 m, não variando muito. O número de pavimentos médio foi de 10 pavimentos e perfil de ocupação monousuário. Comparando-se com o banco de dados do estoque, percebe-se que cerca de 8% das edificações têm de 9 a 10 andares.

De modo geral, as edificações desta tipologia apresentam partido arquitetônico diverso, apesar de consistir em espaços funcionais semelhantes, como: áreas comuns (hall de acesso, recepção, área de alimentação, espaço para integração); áreas privativas (quartos, salas de uso comum); e áreas técnicas (manutenção, almoxarifado, jardins, depósitos e áreas correlatas).

Dentre as edificações auditadas, a área construída média foi de 10.437 m², com área útil média de 86% desse valor. Apesar da área construída média observada na análise do banco de dados do estoque ser 2.107,5 m², bem menor que a média dos auditados, aqueles auditados classificados na tipologia de Grande Porte e Resort possuem área construída média maior ainda, 25.862,28 m², o que viabilizou analisar estes 4 edifícios como pertencentes à tipologia de Médio Porte.

A proporção de área privativa média foi de 42%, de área comum foi de 44% e de área técnica média foi de 14% da área útil. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada.

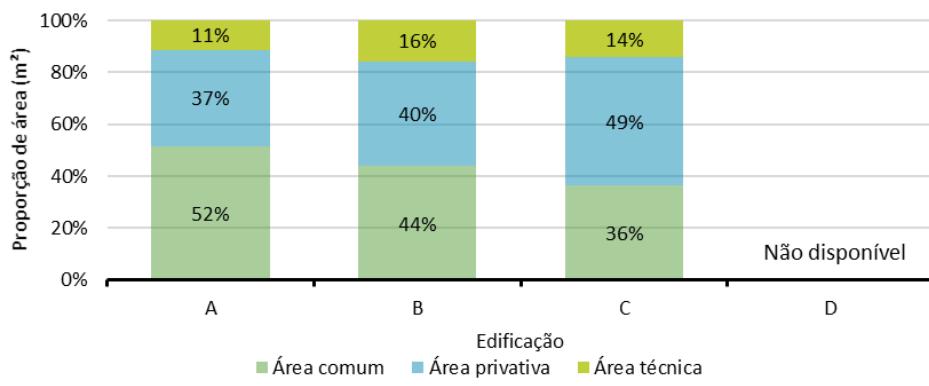


Figura 12 - Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas

Ocupação

Todas as quatro edificações analisadas têm horário de funcionamento integral, 24h por dia e 7 dias por semana, e quantidade média de funcionários de 55 pessoas, variando de 20 a 126 pessoas, em contraste com a média de 28 pessoas por edificação reportada na análise do estoque.

A relação entre área total de quartos disponíveis e as áreas de quartos efetivamente ocupados durante os últimos 12 meses das edificações auditadas variou de 41% a 64%. A Figura 13 apresenta a taxa de ocupação média anual de quartos e a quantidade de funcionários de cada edificação auditada.

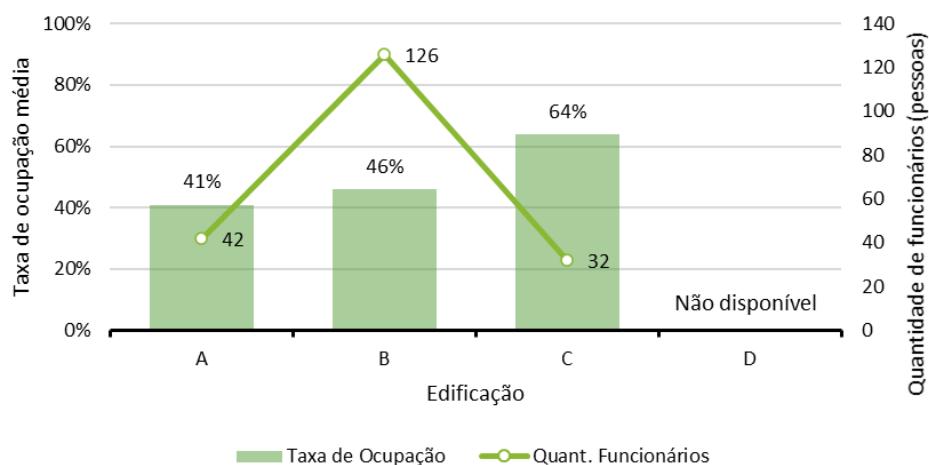


Figura 13 – Taxa de ocupação média anual de quartos e quantidade de funcionários das edificações auditadas

A quantidade de hóspedes por edificação é apresentada na Figura 14. Percebe-se que há uma variação expressiva na quantidade de hóspedes por quarto recebidos ao ano. A quantidade média de hóspedes por quarto foi de 417 pessoas por quarto por ano, em contraste com o observado na análise do estoque, que foi 773 hóspedes por quarto por ano.

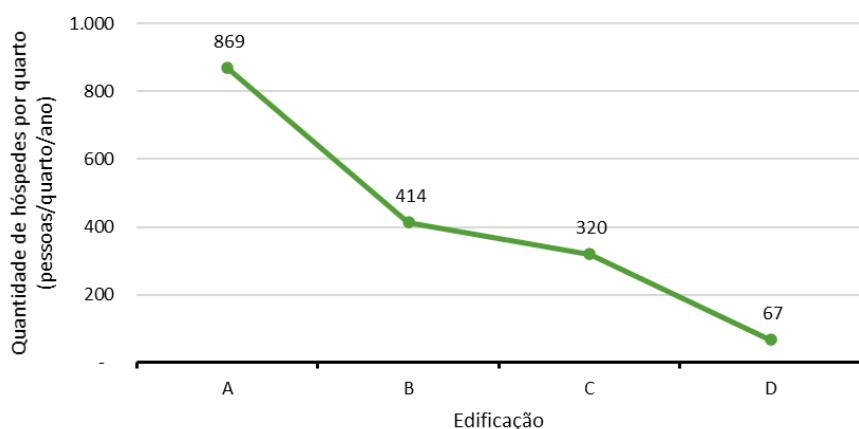


Figura 14 – Quantidade de hóspedes recebidos por quarto por ano nas edificações auditadas

CARGAS ESPECIAIS

As auditorias energéticas destacaram a presença de elevadores e CPDs como cargas especiais. Três edificações auditadas (A, B e C) reportaram 3 elevadores cada, com consumo anual de 28.207 kWh/ano, representando cerca de 3% do consumo anual estimado da edificação A, 2% do consumo anual estimado da edificação B e 4% do consumo anual estimado da edificação C.

Com relação aos equipamentos de Central de Processamento de Dados (CPD / Data Center), foram reportados sistemas compostos por *racks* de 22.800 W e *no-breaks* de 825 W de potência, ambos funcionando diariamente, 24 horas por dia. A Figura 15 apresenta o valor e a proporção do consumo com data center das edificações auditadas.

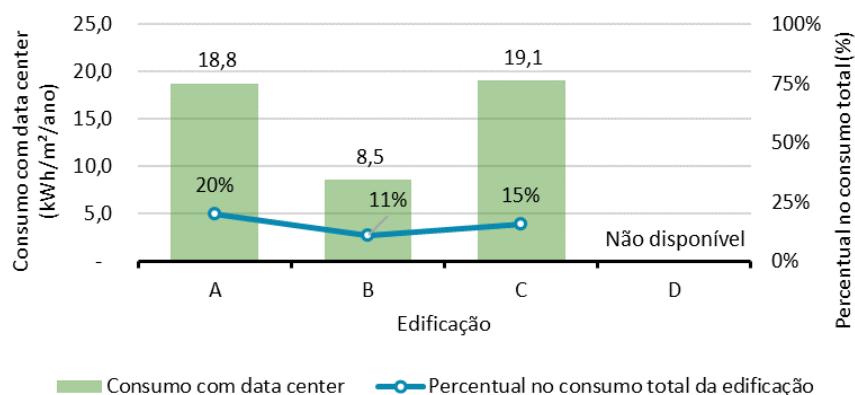


Figura 15 – Proporção do consumo com CPD/Data Center em relação ao consumo total das edificações auditadas

Percebe-se que o consumo de energia com data center corresponde a uma porção substancial no consumo total estimado das edificações, variando de 11 a 20%.

Além disso, foram observadas outras cargas especiais, como motobombas para funcionamento de drenagem, direcionamento da água e escoamento de efluentes, e equipamentos de academia. Esses equipamentos foram agrupados como outros equipamentos e o consumo total anual e sua proporção no consumo total estimado das edificações são apresentados por meio da Figura 16.

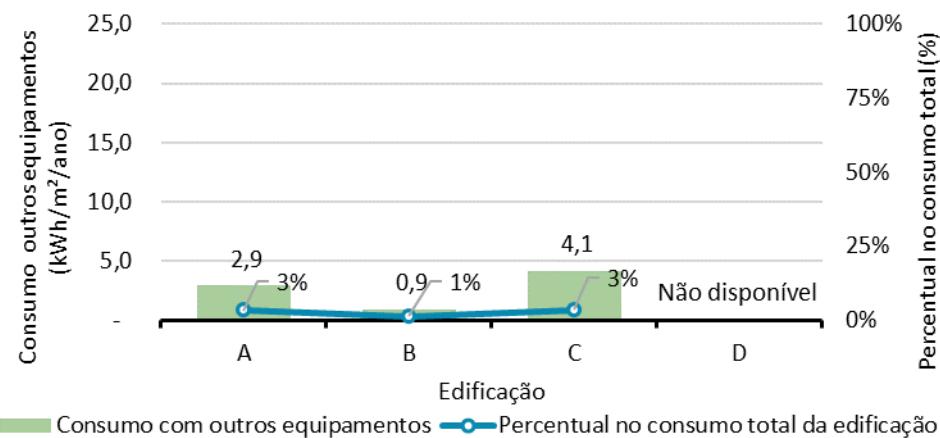


Figura 16 – Proporção do consumo de outros equipamentos em relação ao consumo total das edificações auditadas

Percebe-se que, apesar de englobar diversos equipamentos, este uso final não tem impacto significativo no consumo total das edificações auditadas, variando de 1 a 3% do consumo total estimado.

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar, a densidade de refrigeração média das edificações auditadas foi de 181,66 BTU/h/m², considerando a área condicionada total. Os quartos, devido à alta densidade de equipamentos, apresentaram uma densidade de refrigeração média maior, de 204,45 BTU/h/m².

A Tabela 5 apresenta a síntese da potência dos sistemas de condicionamento de ar para as edificações auditadas.

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

Edifício	Tipo de equipamento	Ambiente	Potência instalada [BTU/h]
A	Split Inverter	- Salas administrativas	18.000
		- Almoxarifado, Apoio térreo	12.000
	Split On/Off	- Quartos	48.000
		- Quartos	9.000
B	Split On/Off	- Salas administrativas, almoxarifado, Refeitório, Arquivo Morto	165.000
	Split Inverter	- Quartos	264.000
	Chiller Ar	- Quartos	144.000
C	Split Inverter	- Salas administrativas, apoio	54.000
	Split Cassete	- Hall	54.000
D	N/D	N/D	N/D

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

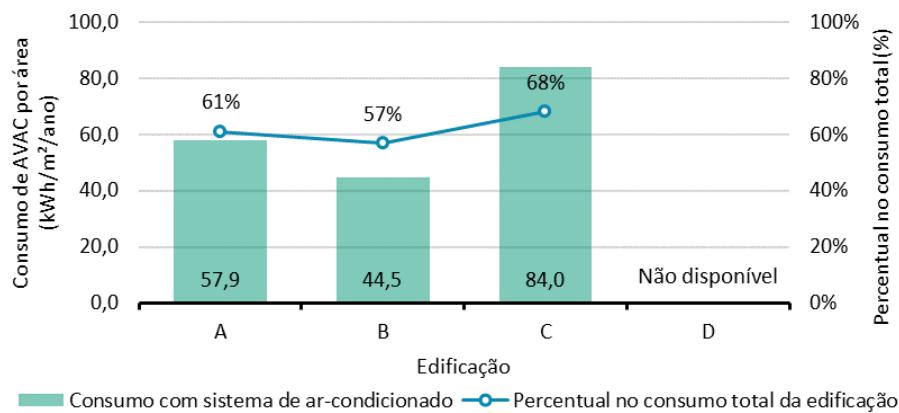


Figura 17 - Proporção do consumo dos sistemas de condicionamento de ar em relação ao consumo total nas edificações auditadas

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total desta tipologia, neste caso representando de 57% a 68% do consumo total. Além disso, há uma variedade de tipos de equipamentos de condicionamento de ar, desde sistemas centrais operados com *Chillers* a aparelhos unitários.

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 18 apresenta os GHR da região única em que três das quatro edificações auditadas e que apresentaram seus EUI e sua relação com os respectivos EUI totais de cada edificação e os consumos com os equipamentos do sistema AVAC presente. Neste cenário, a análise não foi capaz de trazer maiores correlações.

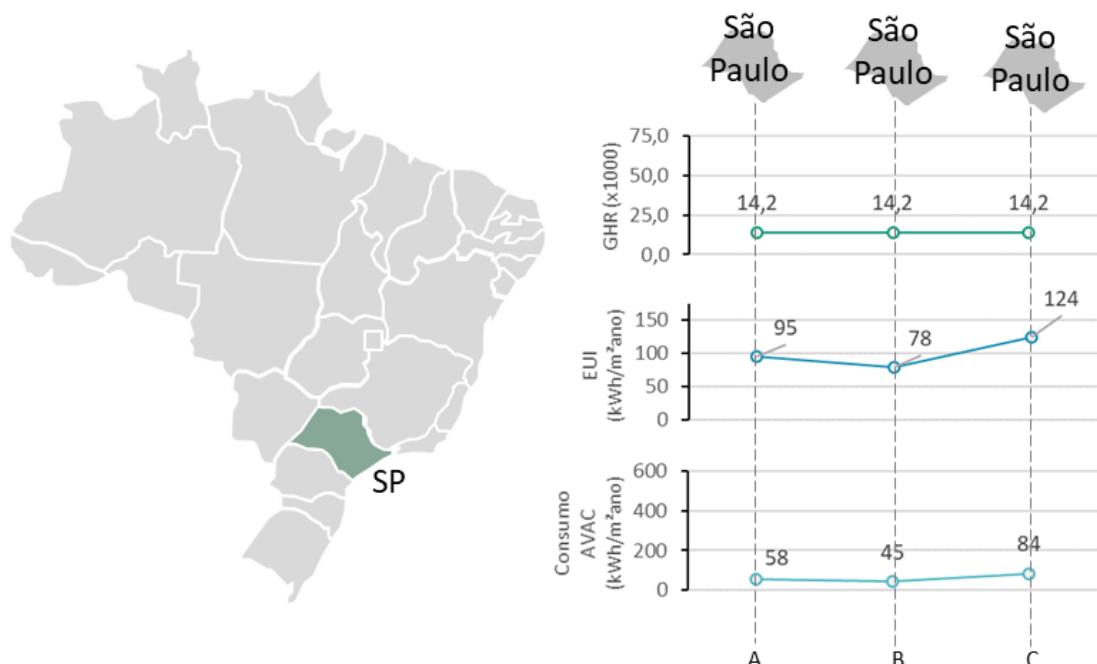


Figura 18 – Relação entre consumo do AVAC, EUI e GHR das regiões onde estão inseridas as edificações auditadas

Como não houve variação no GHR, percebe-se que o consumo com AVAC também se manteve constante, com poucas variações entre uma edificação e outra. Nota-se, no entanto, que a edificação com maior consumo com o sistema de condicionamento de ar, a edificação “C” com 84 kWh/m²/ano, também apresentou maior consumo total (124 kWh/m²/ano), reforçando a questão do impacto significativo que esse uso final tem no consumo total da edificação.

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação, verificou-se que há uma diversidade de tipos de lâmpadas e luminárias. É frequente o emprego de lâmpadas compactas LED (9 W e 15W) e compactas fluorescentes (25W), também havendo as luminárias com lâmpadas tubulares tipo T8 (32W), lustres e dicroicas para iluminação cênica.

A Figura 19 apresenta o consumo com iluminação e a sua proporção em relação ao consumo total das edificações auditadas.

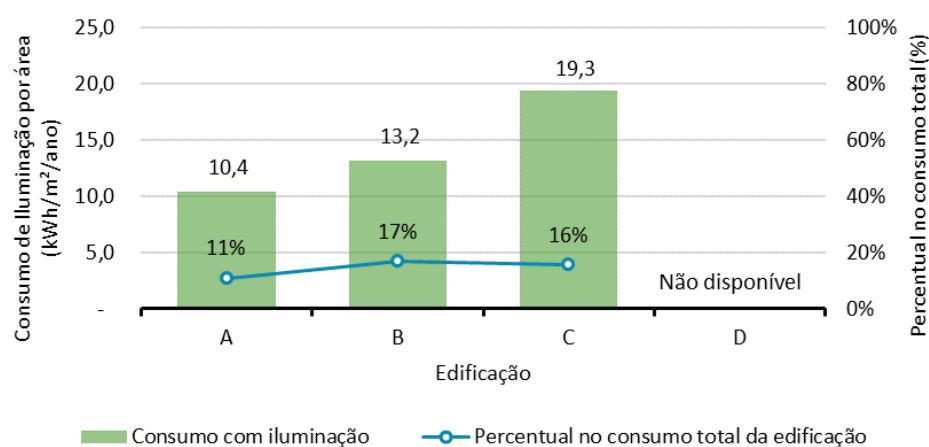


Figura 19 – Proporção do consumo de iluminação nas edificações auditadas

A Figura 19 mostra que o consumo com iluminação representa uma porção que varia de 10 a 17% do consumo total das edificações auditadas. Em média, a iluminação representou cerca de 13% do consumo total estimado das edificações, com um consumo médio anual de 14,3 kWh/m²/ano. A densidade de potência de iluminação média observado nas edificações auditadas foi de 4,00 W/m².

CARGAS DE TOMADA

As cargas de tomada constituem um uso final importante com relação ao uso de energia em edificações. Estimou-se o consumo com cargas de tomada com base na quantidade de equipamentos que foram registrados no levantamento de dados, levando-se em consideração equipamentos como: computadores, impressoras e demais equipamentos de escritório, utensílios de cozinha e preparação de refeições, entre outras cargas de tomada menores. A Figura 20 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total das edificações auditadas.

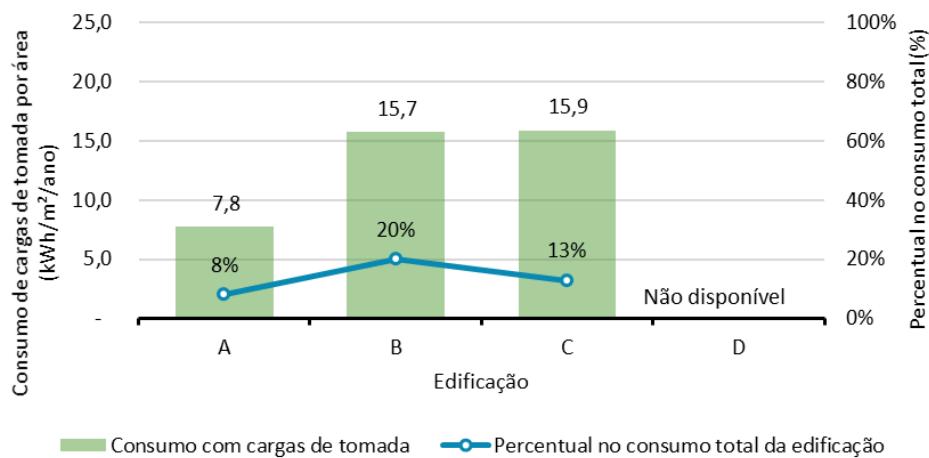


Figura 20 – Proporção do consumo de energia com cargas de tomada nas edificações auditadas

É possível perceber que a proporção das cargas de tomada representa uma parcela significativa no consumo total estimado das edificações auditadas, variando de 8 % a 20 %, com média de 13 kWh/m²/ano.

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 21 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações auditadas e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

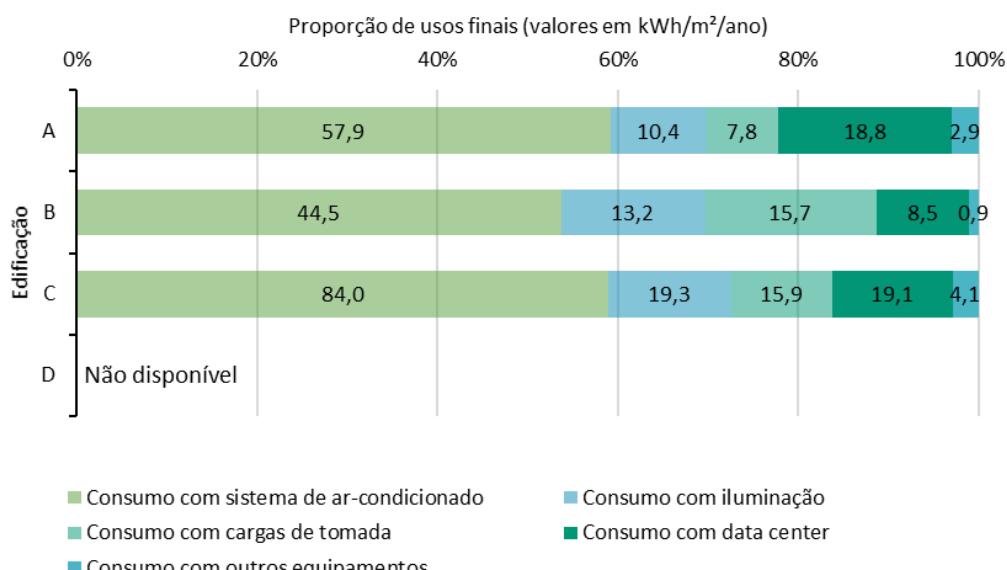


Figura 21 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível perceber que o consumo com sistemas de condicionamento de ar foi a parcela mais expressiva em todas as edificações, representando em média um consumo anual de 62,1 kWh/m²/ano, cerca de 59% do consumo médio total das edificações auditadas. O consumo com CPD/Data Center também foi expressivo, 15,5 kWh/m²/ano), representando 15% do consumo médio total. A iluminação representou 14% do consumo médio total, consumindo em média 14,3 kWh/m²/ano. O consumo com carga de tomadas representou 12% do consumo total da edificação, consumindo em média 13,1 kWh/m²/ano. O uso final menos expressivo foi referente ao consumo com outros equipamentos, que são equipamentos específicos para o desenvolvimento do serviço desta tipologia, sendo de 2,6 kWh/m²/ano, representando

cerca de 3% do consumo total da edificação. O EUI médio estimado pela planilha de auditoria CBCS-DEO foi de 107,7 kWh/m²/ano.

5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS

VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E VARIÁVEIS RELEVANTES

O arquétipo desenvolvido e detalhado no relatório RT2B.03, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados desta análise do estoque e das auditorias energéticas.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

Tabela 6 – Resumo dos principais dados construtivos

Dados	Análise do estoque	Auditorias	Arquétipo CBCS
Pavimentos	Múltiplos	10	7
Subsolos	-	0	0
Pé-Direito [m]	-	2,76	3,2*
Formato	-	Retangular	Retangular
Sombreamento	-	Persianas internas	Variável
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	Integral	Integral	Integral
Área Construída [m²]	Média = 2.107,5	Média = 10.437	2.417
Área Privativa [%]	-	42%	51,3%
Área Comum [%]	-	44%	44,3%
Área Técnica [%]	-	14%	4,4 %
Ocupação	28 funcionários, 70 quartos	55 funcionários, 176 quartos	Funcionários = Variável, 70 quartos

* Medida de Piso a forro;

O modelo do arquétipo do CBCS foi constituído por uma edificação de sete pavimentos, formato retangular, dimensões de 13,3 m x 27,6 m x 3,2 m (L x C x A), totalizando 2.417 m², do tipo monousuário, com as zonas térmicas condicionadas para 70 quartos, Recepção, Área de eventos, Restaurante e Academia.

A ocupação da edificação e os equipamentos elétricos de tomada foram definidos de acordo com a utilização de cada ambiente. Os equipamentos do restaurante, cozinha e lavanderia não foram considerados no modelo, mas as cargas referentes aos equipamentos instalados nos ambientes de restaurante e cozinha foram consideradas no modelo simulado na tipologia de Restaurante e Preparo de Alimentos.

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

- **Iluminação:** um cenário com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) média de 8,34 W/m² e outro cenário com DPI média de 12,72 W/m²;
- **AVAC:** um cenário com equipamentos tipo split (EER = 3,24W/W), outro cenário com VRF (EER = 4,41, 4,53 e 5,23 W/W) e outro cenário com Chiller a ar (EER = 3,22 W/W);
- **Condicionamento de ar nas circulações:** um cenário com circulações condicionadas e outro cenário com ventilação natural
- **Entorno:** um cenário com sombreamento pelo entorno igual à altura do edifício e outro cenário sem sombreamento pelo entorno.
- **Orientação solar:** um cenário com fachada principal voltada a Leste Oeste e outro cenário com a fachada principal voltada a Norte-Sul;
- **Envoltória:** um cenário considerando paredes e coberturas menos eficientes ($U_{parede} = 2,5$ W/m²K, $U_{cobertura} = 1,00$ W/m²K) e outro cenário considerando paredes e coberturas mais eficientes ($U_{parede} = 0,53$ W/m²K, $U_{cobertura} = 1,00$ W/m²K);
- **Absortância solar:** um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outro cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Renovação de ar:** um cenário sem renovação de ar e outro cenário com renovação de ar com a vazão apropriada de acordo com o tipo de ambiente, conforme Nível 2 da norma ABNT NBR 16401-3.

COMPARAÇÃO DO CONSUMO REAL COM OS CONSUMOS ESTIMADOS

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

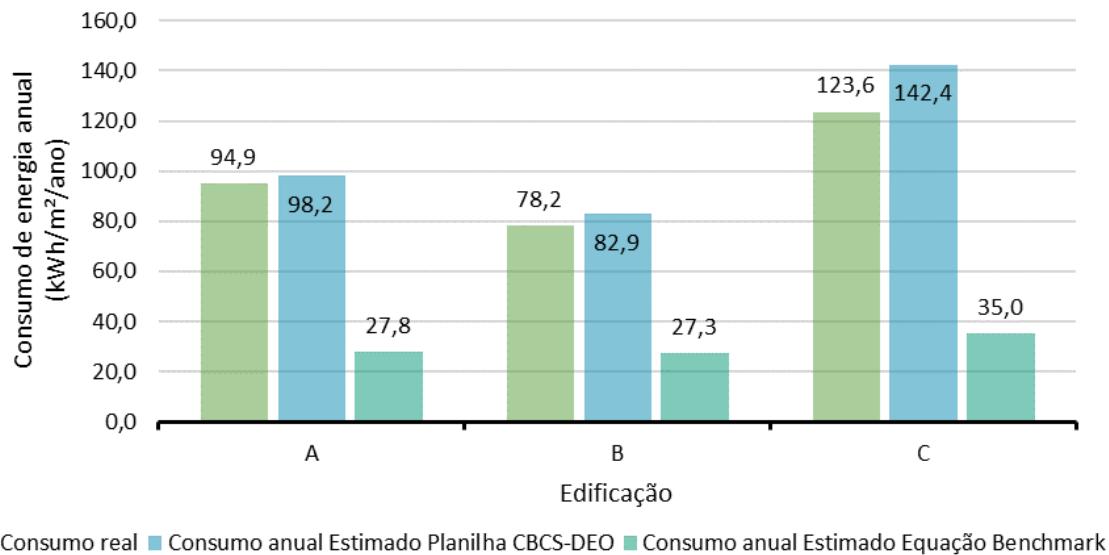
O método de estimativa de consumo energético proposto pela planilha CBCS-DEO leva em consideração as potências, a operação e o fator de uso de cada equipamento presente na edificação. Já a estimativa pela equação de *benchmark* é obtida por meio da aplicação de regressão múltipla, calculada a partir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

Assim, a estimativa do consumo de energia anual também foi calculada, por meio da inserção das informações obtidas nas auditorias realizadas nas edificações “A”, “B” e “C” (os dados da edificação “D” não foram considerados por não serem suficientes) na equação de *benchmark* desenvolvida para a tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**, detalhada no relatório **RT2B.03**, 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 (central VRF, split individual ou Chiller a ar);
- d) ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²);
- e) ENTO – Condição de entorno (0 – com sombreamento, 1 – sem sombreamento pelo entorno);
- f) ASOL – Absortância da envoltória (0,7 – cor escura, 0,3 – cor clara);
- g) RENO – Renovação de ar (0 - não tem, 1 - renovação conforme nível 2 da NBR 16401-3);
- h) CIRC – Condicionamento de ar das circulações (0 – sem condicionamento, 1 – com condicionamento);
- i) SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água de banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)
- j) Número de quartos [un];
- k) Área média dos quartos [m²]

- I) Taxa de ocupação – taxa média de ocupação anual dos quartos [%]
- m) Demais áreas – somatória de todas as áreas internas do hotel, exceto as áreas de quartos (m^2)
- n) Áreas dos quartos – somatória de todas as áreas de quartos (m^2).

A Figura 22 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.



■ Consumo real ■ Consumo anual Estimado Planilha CBCS-DEO ■ Consumo anual Estimado Equação Benchmark

Figura 22 – Comparação do consumo real e consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark desta tipologia

A diferença entre o consumo estimado pela planilha DEO-CBCS em relação ao consumo real foi de 3% maior para a edificação “A”, 6% maior para a edificação “B” e 15% maior para a edificação “C”. Essas diferenças podem ser consideradas aceitáveis dentro das variações possíveis quando se utiliza uma estimativa para se comparar com a realidade.

Com relação à comparação da estimativa de equação de *benchmark* com o consumo real, percebe-se uma diferença muito grande em todas as edificações, que a equação de *benchmark* estimou um valor de 27,8 kWh/m²/ano para a edificação “A” (diferença relativa de 71% a menos que o consumo real de 94,9 kWh/m²/ano), 27,3 kWh/m²/ano para a edificação “B” (65% a menos que o consumo real de 78,2 kWh/m²/ano), e 35kWh/m²/ano para a edificação “C” (72% a menos que o consumo real de 123,6 kWh/m²/ano).

Os fatores que podem ter contribuído para esse resultado podem variar desde a própria ineficiência no uso dos sistemas presentes nestas três edificações auditadas até a própria não consideração das cargas de tomada presentes nas cozinhas e do consumo pelo uso da lavanderia na composição da equação de *benchmark*, somado às incertezas inerentes ao processo de estimativa, que podem ser da ordem de até 40%¹ quando estimativas desse tipo são feitas em sistemas simulados de edificações. Esse tipo de variação é denominado pela literatura internacional de *energy performance gap*², e vem sendo cada vez mais explorado para identificar suas causas e procurar formas de mitigação. Atualmente, sabe-se que as

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

² 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.

principais causas do *energy performance gap* são as variações de operação causadas pelo usuário e variações climáticas que são imprevisíveis a longo prazo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta, inicialmente, a caracterização da tipologia original de **Hotel de Médio Porte** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 90 dados completos e tratados, cobrindo 21 Unidades Federativas brasileiras).

A partir de extensa 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.

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.

O processo de validação comparou estas características e os resultados das auditorias energéticas realizadas em quatro edificações em duas cidades, 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 proporciona resultados coerentes com a realidade encontrada nas edificações auditadas, uma vez que os valores de consumo estimados foram próximos dos valores de consumo reais. Diferentemente, as estimativas realizadas pela equação de *benchmark* levaram a resultados bem inferiores em relação aos resultados de consumo real por área das edificações avaliadas, com uma diferença média de 69% a menos.

Entende-se, portanto, no uso das equações desta tipologia, que o consumo pelas cargas específicas como as da lavanderia e equipamentos de cozinha, desconsideradas no modelo de simulação, deva ser descontado do consumo total medido para que possa ser comparado com o consumo calculado pela equação.

E, finalmente, as equações de *benchmark* desenvolvidas para a tipologia original de **Hotel de Médio Porte**, também são aplicáveis às edificações da tipologia de hotel de grande porte constituídas por torres verticais, uma vez que as grandezas de consumo das equações variam em função do número de quartos e da área construída. Permitindo, portanto, a alteração da nomenclatura da tipologia correspondente a estas equações para **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.