



**CBCS**

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

## **RT2B.03: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a 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

Roberto Lamberts

Kleber Moura

**Coordenação Eletrobras/Procel:** Elisete Cunha

**Publicado em 08/03/2021**

Relatório da atividade 2B com a finalidade de descrever o processo de desenvolvimento de arquétipo, o modelo de simulação, a análise de sensibilidade e as equações de *benchmark* para a tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte.

## SUMÁRIO

<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA .....</b>	<b>2</b>
Metodologia geral adotada para o convênio .....	3
<b>2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. CIDADES SELECIONADAS .....</b>	<b>5</b>
<b>4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO .....</b>	<b>6</b>
4.1. Volumetrias.....	6
4.2. Iluminação.....	8
4.3. Ocupação .....	8
4.4. Sombreamento e orientação solar .....	9
4.5. Envoltória e tipo de vidro.....	9
4.6. Definição da carga térmica e sistema de condicionamento de ar .....	10
<b>5. MODELOS DE SIMULAÇÃO.....</b>	<b>12</b>
5.1. Cenários de simulação .....	12
5.2. Método de análise dos resultados das simulações.....	13
<b>6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....</b>	<b>14</b>
6.1. análise em Cidades com GHR abaixo de 54 mil .....	14
6.1.1. Quartos.....	14
6.1.2. Demais Áreas .....	15
6.2. análise em Cidades com GHR acima de 54 mil .....	17
6.2.1. Quartos.....	17
6.2.2. Demais áreas .....	18
6.3. Identificação dos parâmetros significativos.....	19
<b>7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO .....</b>	<b>26</b>
7.1. Cidades com GHR abaixo de 54 mil.....	26
7.2. Cidades com GHR acima de 54 mil.....	28
7.3. Avaliação entre o consumo simulado e o consumo calculado .....	30
<b>8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA .....</b>	<b>31</b>
8.1. Método para cálculo das escalas .....	31
8.2. Exemplo de aplicação .....	32
<b>9. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</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.

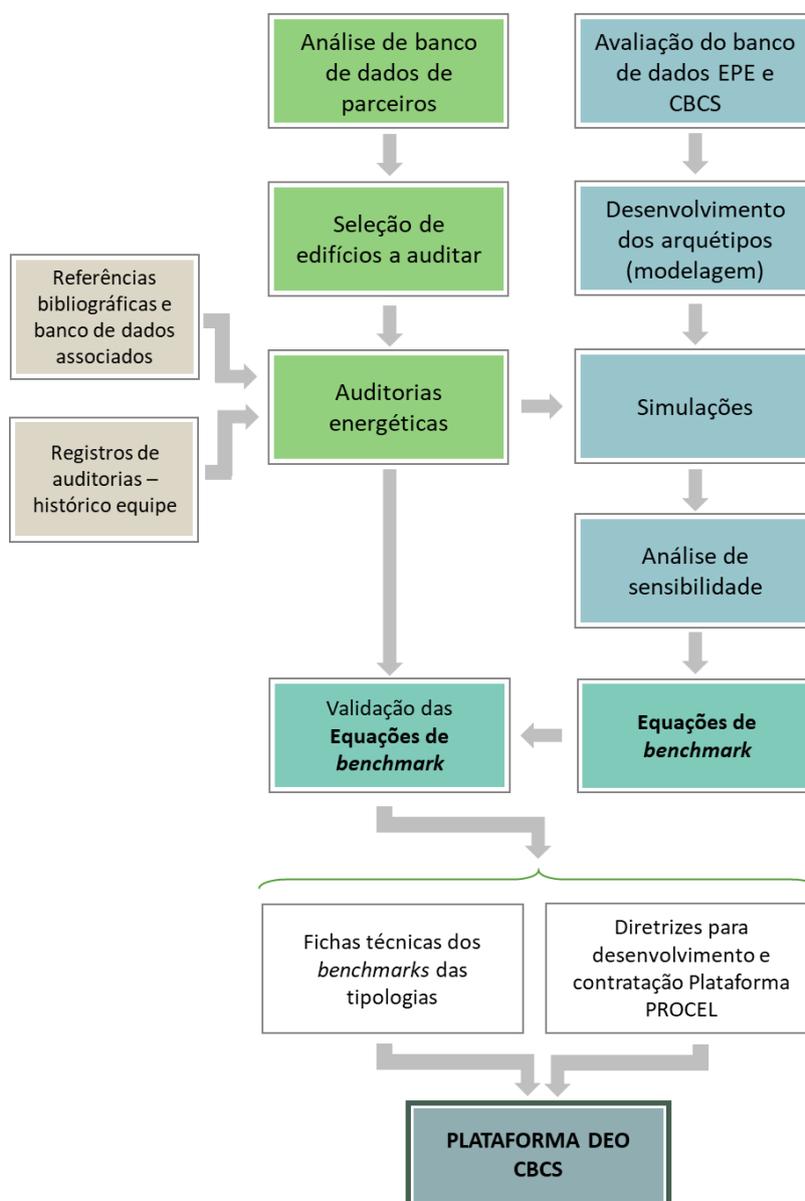
É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações 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.

## Metodologia geral adotada 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.

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.

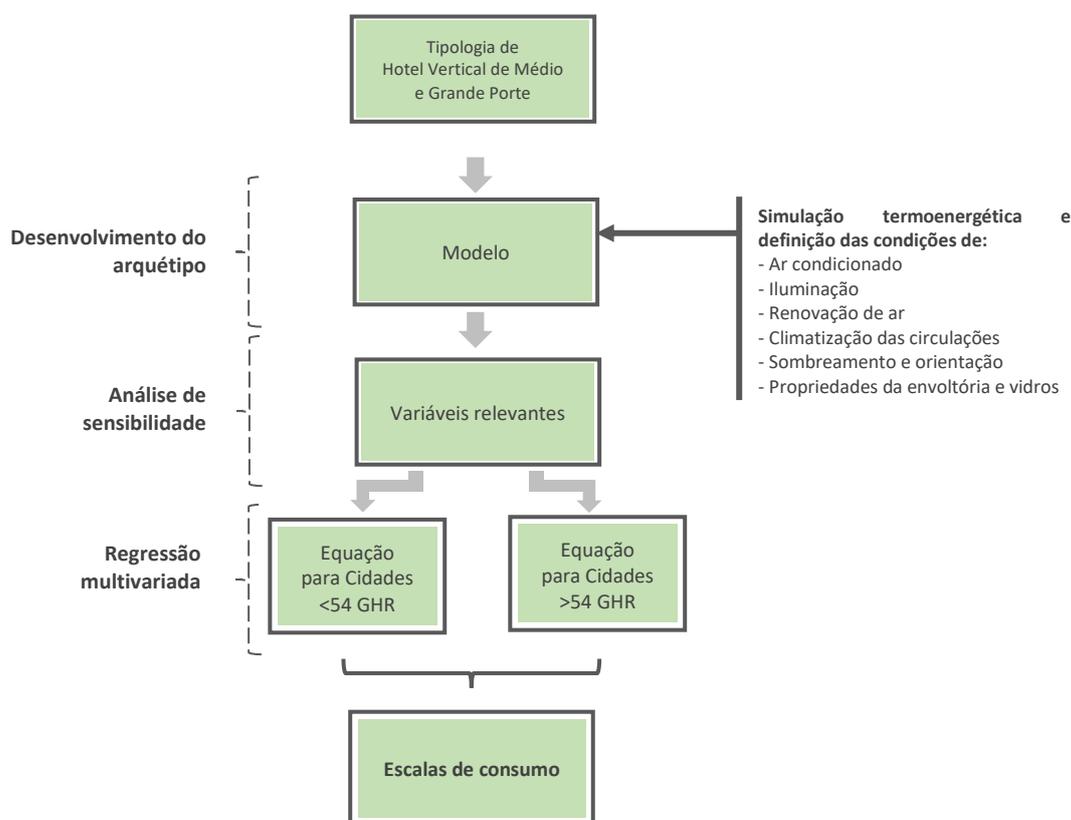


**Figura 1 – Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio**

## 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta o registro do desenvolvimento do arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.

Incluem-se neste relatório todos os processos, métodos e valores adotados para desenvolver o arquétipo e estabelecer os cenários de simulação. Variações nos cenários foram consideradas nos parâmetros de iluminação, sombreamento, orientação, envoltória e ar condicionado. Uma análise de sensibilidade foi realizada com os resultados das simulações, identificando as principais variáveis relativas a esta tipologia. Então, estas variáveis preponderantes foram utilizadas – aliadas aos resultados das simulações – para construir um modelo de regressão multivariada, dando origem à equação de *benchmark* para esta tipologia. Por fim, apresenta-se a definição das escalas de consumo, que estabelecem os limites para definição do consumo operacional como eficiente, típico ou ineficiente. A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas conduzidas neste relatório.



**Figura 2 – Fluxograma de desenvolvimento das equações de benchmark e escalas de consumo para a tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**

### 3. CIDADES SELECIONADAS

O Brasil possui um grande território com ampla variação climática. Para representar esta variedade de condições climáticas e seu impacto no consumo energético das edificações, especialmente pelos sistemas de condicionamento de ar, utilizou-se uma análise do graus-hora de resfriamento (GHR) para um grupo de 413 cidades. O GHR é um indicador de desempenho térmico que representa a somatória total anual da diferença entre a temperatura operativa horária e uma temperatura de base (RTQ, 2017). Esta abordagem foi baseada na metodologia para *benchmarking* de agências bancárias, desenvolvida pelo CBCS em 2014 e publicado por Borgstein e Lamberts (2014). Neste caso, foi adotada a temperatura de base de 15°C para cálculo do GHR.

A partir da análise do GHR para as 413 cidades, foram determinadas oito faixas de GHR que variam de 10.000 em 10.000 graus-hora. Então, uma cidade populosa e com arquivo climático disponível, foi selecionada como representativa de cada faixa.

Esta estratificação foi necessária para adequar a representatividade do clima no desempenho do ar condicionado. A Tabela 1 apresenta as faixas de GHR e as cidades representativas.

**Tabela 1 - Faixas de GHR e cidades representativas**

Faixa de GHR	Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude	GHR
entre 0 e 10.000	Campos do Jordão	SP	-22,74	-45,59	1.642	3.495
entre 10.001 e 20.000	São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172
entre 20.001 e 30.000	Porto Alegre	RS	-30,03	-51,23	47	23.954
entre 30.001 e 40.000	Campinas	SP	-22,82	-47,06	640	31.412
entre 40.001 e 50.000	Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	-22,86	-43,41	45	45.016
entre 50.001 e 60.000	Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061
entre 60.001 e 70.000	Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550
entre 70.001 e 80.000	Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394

## 4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO

O arquétipo é uma edificação representativa de uma tipologia, constituído de parâmetros extraídos das principais características do estoque de edificações estudado. Dessa forma, o arquétipo é uma abstração do estoque de uma tipologia de edificação sintetizado em um modelo representativo.

A tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte** constitui-se tipicamente por edifícios de múltiplos andares cuja função principal é a hotelaria. Originalmente, esta tipologia foi denominada de **Hotel de Médio Porte**, no entanto, após o desenvolvimento de suas equações de *benchmark*, foi reconhecida a sua aplicabilidade para qualquer hotel em edificação vertical com mais de 40 quartos e mais de 1.500 m<sup>2</sup> de área construída, logo abrangendo tanto aqueles considerados de médio porte quanto de grande porte.

Dois fontes de dados principais foram utilizadas para o desenvolvimento do arquétipo desta tipologia: (a) analisaram-se as amostras existentes desta tipologia no projeto META; e (b) refinou-se a caracterização do arquétipo por meio de auditorias energéticas. Além disso, pesquisas virtuais (por meio do *Google Street View* e *Google Maps*) foram efetuadas em diversas localidades no Brasil de forma a dar suporte para alguns entendimentos e dúvidas pontuais durante o processo.

Para a construção do *benchmarking* desta tipologia foram adotadas as seguintes condições de contorno:

- A avaliação engloba tanto edifícios independentes, ou seja, expostos à radiação solar em todas as suas faces quanto edifícios sombreados por edificações vizinhas.
- Área bruta da edificação incluindo todo os espaços internos do edifício, com ocupação permanente ou intermitente, além de todas as suas circulações horizontais e verticais, logo incluindo quartos, banheiros, recepção, restaurante, cozinha, lavanderia, academia, área de eventos, circulações horizontais (corredores) e circulações verticais (escadas de incêndio e poços de elevadores).

Para contemplar a tipologia no âmbito do presente convênio foi definido o arquétipo que representa as áreas de uso típico da maioria destas edificações. Dessa forma, os ambientes considerados neste arquétipo são: quartos, banheiros, recepção, restaurante, área de eventos, academia, cozinha, lavanderia, corredores, escadas de incêndio e poços de elevadores.

Nas seções seguintes, registra-se a composição das volumetrias e as variáveis que compõem o modelo de simulação.

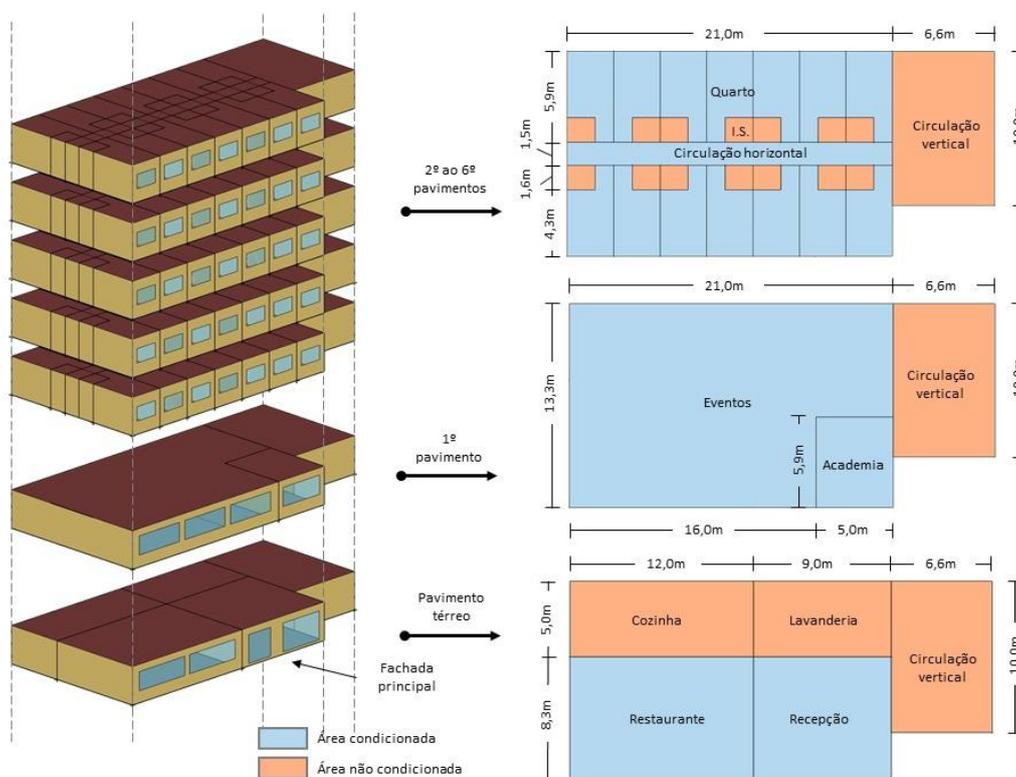
### 4.1. VOLUMETRIAS

O modelo foi construído com base em uma edificação de sete pavimentos de dimensões 13,3 m x 27,6 m x 3,2 m (L x C x A), totalizando 2.417 m<sup>2</sup>. A Tabela 2 mostra a representatividade de cada tipo de ambiente em relação à área total do arquétipo, a Figura 3 ilustra a volumetria, a planta e a configuração dos ambientes considerados e a Figura 4 as perspectivas do modelo.

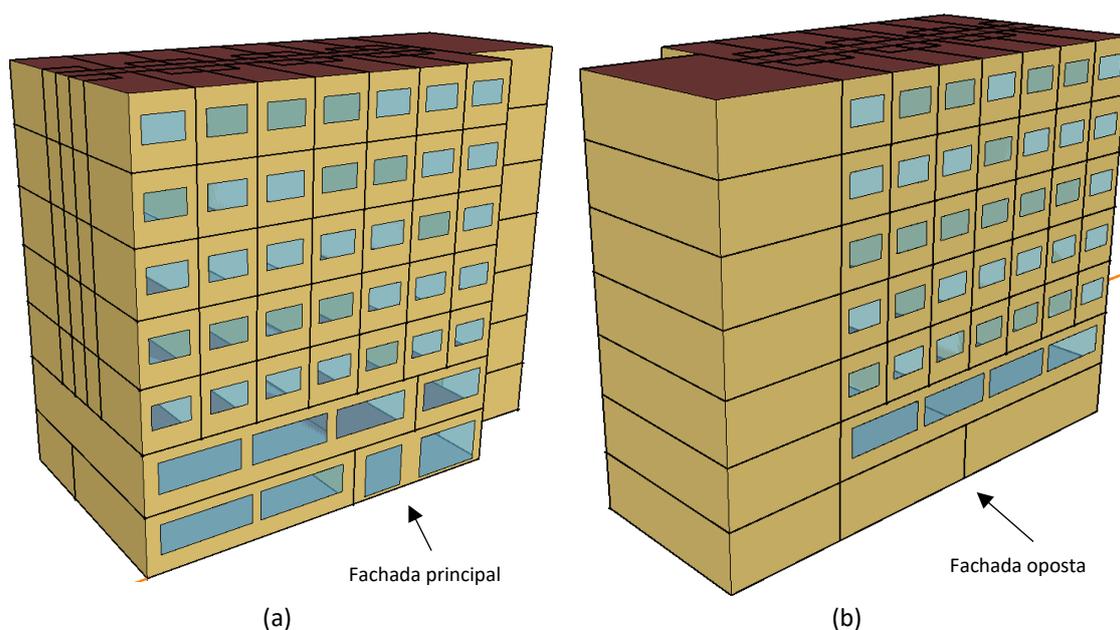
**Tabela 2 – Áreas dos ambientes considerados.**

Ambiente	Quantidade	Área total (m <sup>2</sup> )	Percentual na área total
Cozinha	1	60	2,5%
Lavanderia	1	45	1,9%
Academia	1	30	1,2%
Área de eventos	1	250	10,3%
Recepção	1	75	3,1%
Restaurante	1	100	4,1%
Circulação vertical	7	462	19,1%

Circulação horizontal	5	157,5	6,5%
Suites	70	1239	51,3%
<b>TOTAL</b>	<b>88</b>	<b>2417</b>	<b>100%</b>



**Figura 3 – Volumetria e configuração da planta do arquétipo**



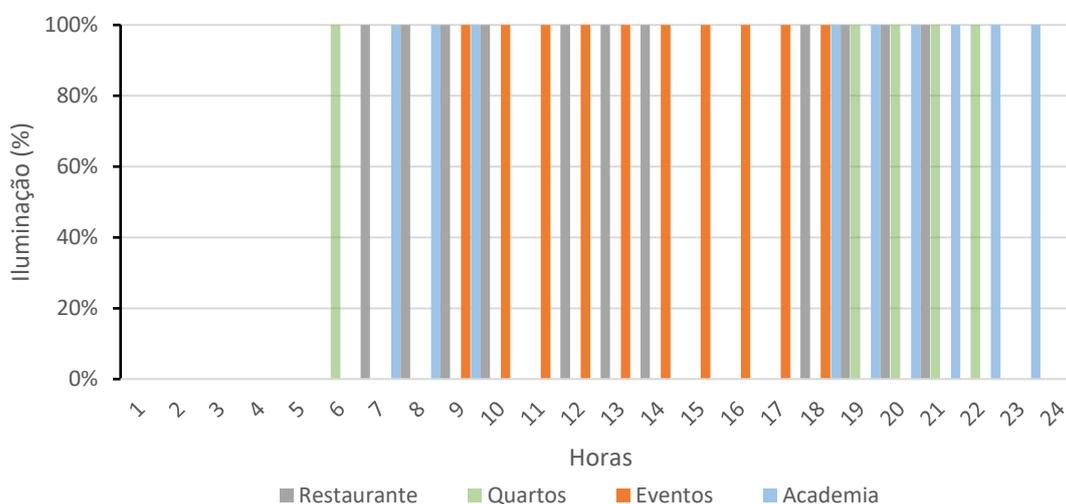
**Figura 4 – Perspectiva da volumetria da edificação (a) frente e lateral esquerda; (b) fundos e lateral direita**

## 4.2. ILUMINAÇÃO

No levantamento dos dados do projeto META foi identificada uma predominância significativa de sistemas de iluminação à base de lâmpadas halógenas e fluorescentes. Entretanto, com a evolução e disponibilização de diferentes tipos de lâmpadas de LED considerou-se que este seria um cenário mais eficiente. Portanto, foram definidos dois cenários: um cenário mais eficiente (ILUM02) representando as lâmpadas tipo LED com densidade de potência de iluminação (DPI) médio de 8,34 W/m<sup>2</sup> e um cenário menos eficiente (ILUM01) representando as lâmpadas fluorescentes com DPI médio de 12,72 W/m<sup>2</sup>, para todos os ambientes do arquétipo. Esses valores correspondem, respectivamente, às classes A e D, segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (CB3E, 2020).

Os sistemas de iluminação permanecem totalmente acesos nos ambientes de permanência prolongada ao longo de todo o período de ocupação.

A Figura 5 ilustra o cronograma de operação da iluminação, considerando os principais ambientes. Não foi considerada variação de funcionamento entre os dias de semana e os finais de semana.

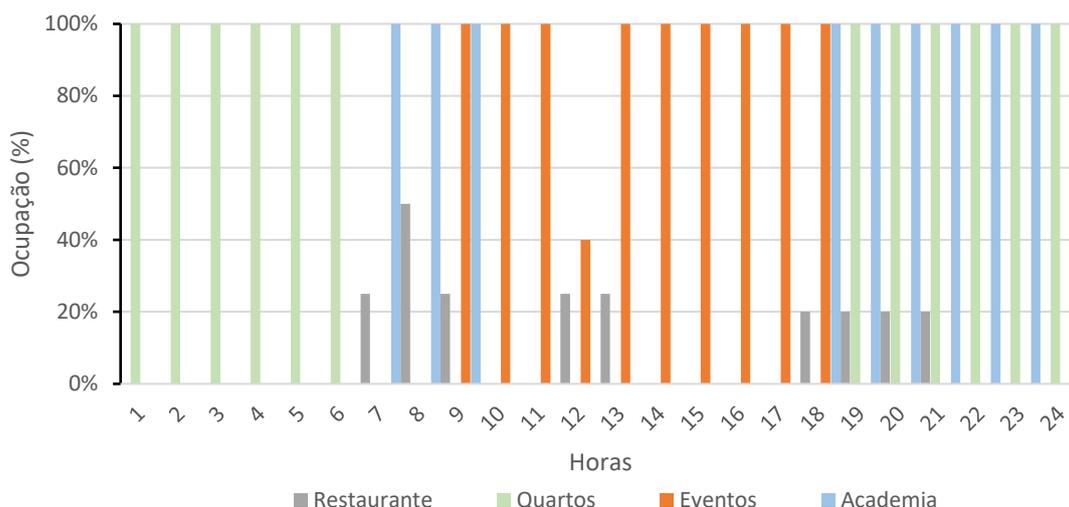


**Figura 5 – Cronograma adotado para Iluminação**

## 4.3. OCUPAÇÃO E EQUIPAMENTOS

O horário de funcionamento desta tipologia é uma variável de entrada da simulação e foi definido de acordo com o funcionamento padrão de um hotel. Não foram consideradas variações de período e de densidade de ocupação. Os quartos são ocupados das 19:00 às 07:00 e foi considerada uma pessoa por quarto, na densidade de 17,7 m<sup>2</sup> por pessoa. A Academia das 7:00 às 9:00 e das 18:00 às 24:00. Para a área de eventos, por não ter sido encontrada referência sobre um padrão de frequência de dias por semana, optou-se por concentrá-los em um único dia por semana, incluindo estes ambientes no perfil de carga térmica, considerando sua ocupação das 9:00 às 18:00. Para o restaurante considerou-se ocupação das 6:00 às 10:00, das 11:30 às 14:00 e das 18:00 às 21:00. E a recepção com funcionamento 24hs.

A Figura 6 mostra a distribuição da ocupação ao longo do dia para os principais tipos de ambiente e desconsiderando variações de ocupação entre os dias de semana e os finais de semana.



**Figura 6 – Cronograma adotado para ocupação para cada tipo de ambiente**

Os equipamentos elétricos de tomada foram definidos de acordo com a utilização de cada ambiente, exceto os equipamentos específicos do restaurante, cozinha, lavanderia, spas, academias de ginástica e piscina aquecida, que não foram considerados na simulação.

Nos banheiros, foram considerados chuveiros elétricos com potência de 5400 W por quarto e realização de dois banhos de cinco minutos cada banho por quarto.

#### 4.4. SOMBREAMENTO E ORIENTAÇÃO SOLAR

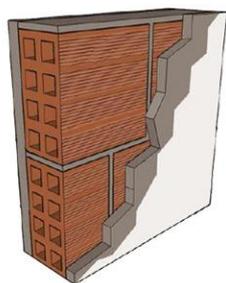
Para representar o entorno construído foram considerados dois cenários, um em que o arquétipo não recebe sombreamento do entorno (ENTO01) e outro em que há sombreamento pelas edificações de mesma altura (ENTO02).

Pela simetria do arquétipo desenvolvido, foram considerados apenas dois cenários de orientação solar, considerando as duas fachadas com aberturas orientadas a Norte/Sul (ORIE01) e a Leste/Oeste (ORIE02).

#### 4.5. ENVOLTÓRIA E TIPO DE VIDRO

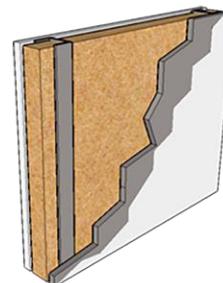
Para definir os cenários que representam a eficiência da envoltória da edificação, foi verificado que há um certo padrão na construção dos edifícios utilizando alvenaria convencional (tijolo cerâmico ou de concreto), entretanto, também há a adesão para essa tipologia de edificações por sistemas em *steel frame* (fechamento em placas estruturadas com perfis de aço galvanizado e recheio isolante). Portanto, foi definido um cenário com construção convencional e transmitância térmica das paredes igual a 2,50 W/m<sup>2</sup>.K (ENVO01) e outro cenário com construção a seco e transmitância térmica das paredes igual a 0,53 W/m<sup>2</sup>.K (ENVO02). Em ambos os casos, a transmitância térmica das coberturas foi considerada igual a 1,00 W/m<sup>2</sup>.K.

A Figura 7 apresenta a composição dos sistemas de vedação vertical e de cobertura das envoltórias consideradas.



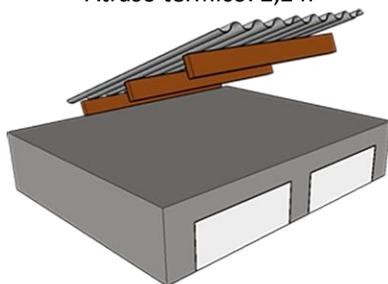
(a)

Transmitância térmica: 2,55 W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 100 kJ/m<sup>2</sup>K  
Atraso térmico: 2,2 h



(b)

Transmitância térmica: 0,53W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 32 kJ/m<sup>2</sup>K



(c)

Transmitância térmica: 1,00 W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 238 kJ/m<sup>2</sup>K  
Atraso térmico: 8,7 h

**Figura 7 – Elementos construtivos de referência para Paredes (ENVO01 (a) e ENVO02 (b)) e Cobertura (c).**

É observada, também, uma grande variação na cor do acabamento externo dessas edificações, influenciando diretamente na absorvância à radiação solar das superfícies. Assim, foi determinada uma envoltória com um material mais escuro (ASOL01) para o caso menos eficiente com absorvância de 0,7 e no caso mais eficiente um material claro (ASOL02) com absorvância de 0,3.

Em relação ao tipo de vidro, foi adotado um vidro com nível de controle solar baixo, porém melhor que o vidro comum transparente, com valor U de 5,6 W/m<sup>2</sup>.K e fator solar de 0,68.

#### 4.6. DEFINIÇÃO DA CARGA TÉRMICA E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Uma etapa preliminar de simulação termoenergética do arquétipo foi realizada, utilizando o ambiente de simulação *EnergyPls*, versão 9.2. O modelo foi simulado utilizando arquivos climáticos do tipo INMET<sup>1</sup> para as oito cidades representativas. Essa etapa preliminar de simulação foi feita considerando diversas combinações de todos os cenários de variáveis que contribuem para carga interna (ou seja, vários tipos de iluminação, diversos turnos, diversos sombreamentos, todas as orientações, entre outros).

A partir dessa etapa de simulação preliminar, foram identificados os cenários nos quais as variáveis mais impactaram os resultados de carga térmica total da simulação. Então, uma segunda rodada de simulação foi realizada, considerando apenas esse cenário único (Tabela 3). O objetivo dessa segunda rodada de simulações preliminares foi identificar a carga térmica de resfriamento (em Toneladas de Resfriamento, TR) para cada cidade representativa.

<sup>1</sup> Disponível em: [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/BRA\\_Brazil/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html)

**Tabela 3 – Cenário considerado para cálculo de carga térmica**

Variável	Cenário
Iluminação	ILUM01
Entorno	ENTO01
Orientação solar	ORIE02
Envoltória	ENVO01
Climatização dos corredores	CIRC-AC
Renovação de ar	RENO01

Nas simulações da segunda rodada preliminar foram consideradas a vazão de ar, a capacidade de refrigeração e aquecimento no modo *autosize*, com um superdimensionamento de 25% no modo aquecimento e de 15% no modo refrigeração. A eficiência dos equipamentos de ar condicionado foi mantida com o padrão do *EnergyPlus* (3 W/W no modo de refrigeração e 2,75 W/W no modo de aquecimento). Com relação à eficiência dos ventiladores, utilizaram-se os coeficientes para vazão constante ( $P [kW] = \text{vazão [l/s]} * 0,0017$ ), e para vazão variável ( $P [kW] = \text{vazão [l/s]} * 0,0024$ ), conforme recomendação da ASHRAE 90.1-2010 (ASHRAE, 2011).

Após as simulações, selecionou-se a cidade com maior carga térmica para o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar do arquétipo. Esta seleção foi feita com base em equipamentos existentes no mercado, sendo escolhido o equipamento de capacidade superior a carga térmica definida. O equipamento foi modelado na simulação termoenergética do arquétipo.

Esta abordagem foi adotada com a finalidade de simular um sistema real e existente no mercado, sendo definidas e fixadas no modelo de simulação as características do sistema, como: capacidade de refrigeração, eficiência de refrigeração, capacidade de aquecimento, eficiência de aquecimento, vazão e potência do ventilador. Dessa forma, o arquétipo pode representar de forma mais realista o que ocorre no estoque real de edificações – diferentemente do que aconteceria se fosse utilizada uma simulação no modo *autosize* em todos os casos, o que supriria a demanda de carga térmica, variando os parâmetros do sistema.

A Tabela 4 apresenta a carga térmica para as 8 cidades selecionadas como representativas e a cidade selecionada para dimensionamento do sistema.

**Tabela 4 – Carga térmica por cidade representativa**

Cidade	UF	Zona Biolimática	Carga Térmica (TR)
Campos do Jordão	SP	1	80,95
<b>São Paulo*</b>	<b>SP</b>	<b>3</b>	<b>81,60</b>
Porto Alegre	RS	3	79,80
Campinas	SP	3	79,24
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	76,77
Vitória	ES	8	70,96
Recife	PE	8	71,91
Fortaleza	CE	8	64,69

\* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi São Paulo, com 81,60 TR, sendo 62,8% desta demanda para atendimento das 70 zonas térmicas

representativas dos quartos, 24,9% da área de eventos, 6,3% do restaurante, 1,9% da academia e 5,9% das demais áreas. Dessa forma, o arquivo climático de São Paulo foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de condicionamento de ar considerado no arquétipo.

Foram considerados três cenários para a variável AVAC: (a) sistemas unitários tipo Split para cada zona térmica, com EER de 3,24W/W; (b) sistemas centrais VRF com duas condensadoras por andar atendendo as zonas dos quartos separadas por fachada (EER de 5,23W/W), uma condensadora para as circulações (EER de 5,23W/W), uma condensadora para a área de eventos (EER de 4,53W/W) e uma condensadora para o restante das zonas (EER de 4,41W/W); e (c) sistema central com dois chillers condensados à ar com EER de 3,22W/W.

Foram considerados também dois cenários relativos à climatização das circulações dos pavimentos-tipo. O cenário CIRC-AC considerando-os climatizados e o cenário CIRC-VN considerando que estes corredores não possuem sistema de condicionamento de ar. A temperatura de *setpoint* do sistema de condicionamento de ar foi definida em 26°C.

A renovação de ar em ambientes condicionados artificialmente é obrigatória pela Lei 13.589/18, com valores definidos na norma técnica ABNT NBR 16401-3. Entretanto, na prática, é comum encontrar edificações sem sistema de renovação de ar e, por vezes, quando os possuem, não operam adequadamente. Por esta razão, foram considerados dois cenários: um sem renovação de ar (RENO02) e outro com renovação de ar (RENO01) na vazão apropriada conforme o tipo de ambiente e de acordo com o Nível 2 da norma ABNT NBR 16401-3.

## 5. MODELOS DE SIMULAÇÃO

### 5.1. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas utilizando-se uma abordagem paramétrica, considerando as variações dos cenários apresentados e as oito cidades representativas (capítulo 3). No total, 384 casos foram simulados. Foi utilizado o programa de simulação *EnergyPlus* (versão 9.2). Os resultados das simulações foram compilados em um banco de dados com os consumos anuais totais, consumos desagregados por uso final e por ambiente. A Tabela 5 apresenta a síntese das características dos cenários adotados nas simulações termoenergéticas para esta tipologia.

**Tabela 5 – Cenários adotados para as simulações**

Parâmetro	Cenário	Dado utilizado
Iluminação	ILUM01	Iluminação com DPI médio de 12,72 W/m <sup>2</sup> , PBE classe D
	ILUM02	Iluminação com DPI médio de 8,34 W/m <sup>2</sup> , PBE classe A
Entorno	ENTO01	Sem sombreamento de entorno
	ENTO02	Com sombreamento de entorno por edifícios de mesma altura
Orientação solar	ORIE01	Aberturas orientadas a norte/sul
	ORIE02	Aberturas orientadas a leste/oeste
Envoltória	ENVO01	U <sub>par</sub> = 2,50 W/m <sup>2</sup> .K; U <sub>cob</sub> = 1,00 W/m <sup>2</sup> .K
	ENVO02	U <sub>par</sub> = 0,53 W/m <sup>2</sup> .K; U <sub>cob</sub> = 1,00 W/m <sup>2</sup> .K
Absortância da parede externa	ASOL01	Parede escura. Absortância = 0,70
	ASOL02	Parede clara. Absortância = 0,30
AVAC	Split	Sistema Split (EER = 3,24W/W)
	VRF	Sistema VRF (EER = 4,41W/W, 4,53W/W, 5,23W/W)

Renovação de ar	Chiller	Sistema central chiller condensado à ar (EER = 3,22W/W)
	RENO01	Com renovação de ar (Taxas de cada ambiente conforme Nível 2 da ABNT NBR 16401-3)
	RENO02	Sem renovação de ar
Condicionamento das circulações	CIRC-AC	Circulações condicionadas
	CIRC-VN	Circulações ventiladas naturalmente

Notas: U = Transmitância térmica

## 5.2. MÉTODO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados obtidos nas simulações mostraram um consumo significativo de aquecimento nas cidades mais frias. Portanto, as análises e equações foram divididas em dois grupos a partir da relação GHR e GDA (Graus-dia de aquecimento).

No primeiro grupo inseriu-se as cidades que apresentaram algum GDA. Nesse caso, as cidades possuem no máximo cerca de 54.000 GHR. No segundo grupo, inseriu-se as cidades que apresentam mais de 54.000 GHR. A Tabela 6 apresenta as cidades e seus grupos.

**Tabela 6 – Graus-Hora de Resfriamento (GHR) para as cidades adotadas**

Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude	GHR	Grupo
Campos do Jordão	SP	-22,74	-45,59	1.642	3.495	<54.000 GHR
São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172	
Porto Alegre	RS	-30,03	-51,23	47	23.954	
Campinas	SP	-22,82	-47,06	640	31.412	
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	-22,86	-43,41	45	45.016	>54.000 GHR
Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061	
Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550	
Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394	

Duas análises principais foram realizadas: (a) efeito de cada parâmetro no consumo de energia (*main effects plot for total end uses*); e (b) interação entre os parâmetros (*interaction plot for total end use*).

A partir da análise do efeito do parâmetro no consumo de energia foram escolhidos aqueles com o maior impacto no consumo de energia. Esses parâmetros serviram como fatores no modelo estatístico de regressão multivariada para o desenvolvimento da equação de regressão.

Além disso, a contribuição dos ambientes não considerados, tais como salas de máquinas, depósitos, piscina aquecida e garagens cobertas, os quais podem conter cargas especiais, não foi considerada no arquetipo. Neste caso, como trata-se de um consumo muito particular de cada caso, definiu-se que essas cargas entrariam de forma isolada na equação de *benchmarking*, conforme seus perfis de carga e de utilização.

## 6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os resultados das simulações foram utilizados na análise de sensibilidade, com o objetivo de identificar os impactos dos diferentes parâmetros no consumo energético total do modelo.

O objetivo da análise de sensibilidade é quantificar a influência dos parâmetros no modelo e, a partir daqueles mais significativos, utilizá-los na modelagem estatística da equação de *benchmark*. Utilizou-se como critério para definir se um parâmetro teve impacto ou não no consumo final, se a alteração desta foi maior ou igual a 10%. Por exemplo, se a variação de um parâmetro causou uma variação no resultado da simulação maior que 10%, esse parâmetro foi considerado significativo.

É importante mencionar que os parâmetros que os usuários tenham dificuldade para levantar ou identificar, ou que tenham pouco impacto no consumo final da edificação, não foram considerados nas equações. Essa definição é importante para tornar o uso da ferramenta de *benchmarking* fácil e acessível.

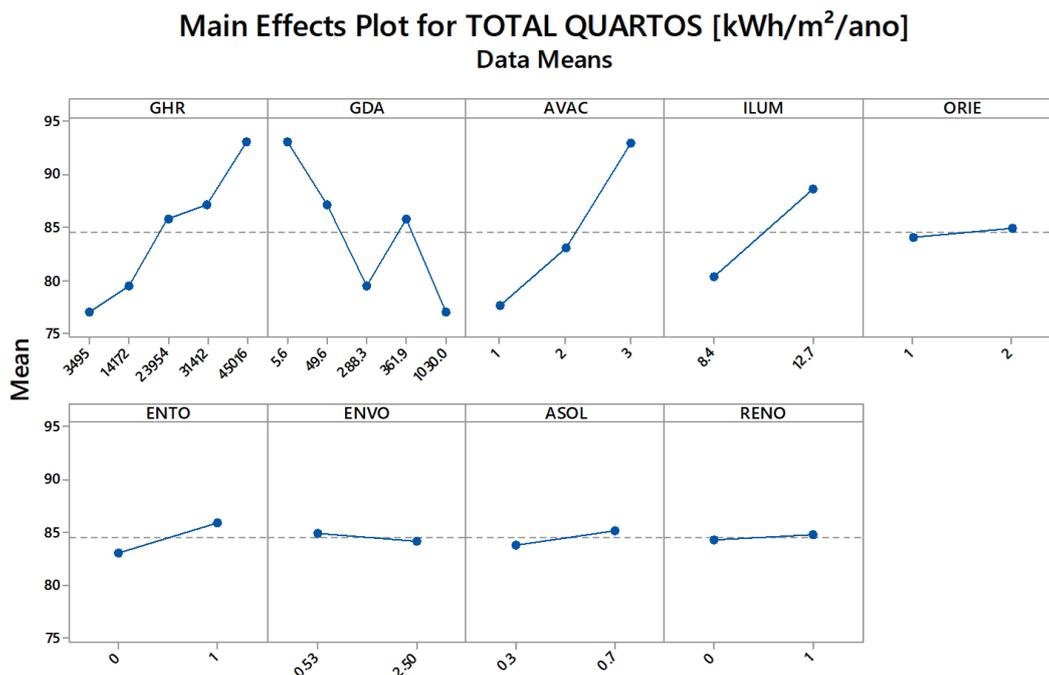
Os parâmetros analisados foram: iluminação (ILUM), entorno (ENTO), orientação solar (ORIE), envoltória (ENVO), cor da fachada (ASOL), tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC), renovação de ar (RENO) e condicionamento das circulações (CIRC). Além disso, a carga térmica, influenciada pela cidade (GHR, GDA) também foi um parâmetro analisado.

Assim, para as equações de *benchmark*, foram considerados somente os parâmetros cuja variação apresentou impacto significativo no consumo energético total do edifício. Esses parâmetros podem apresentar um consumo direto, por meio do seu uso efetivo (potência e funcionamento), ou um consumo indireto, por exemplo, a carga térmica interna gerada no uso dos ambientes aumenta a necessidade de funcionamento do ar condicionado para manter as condições locais de conforto.

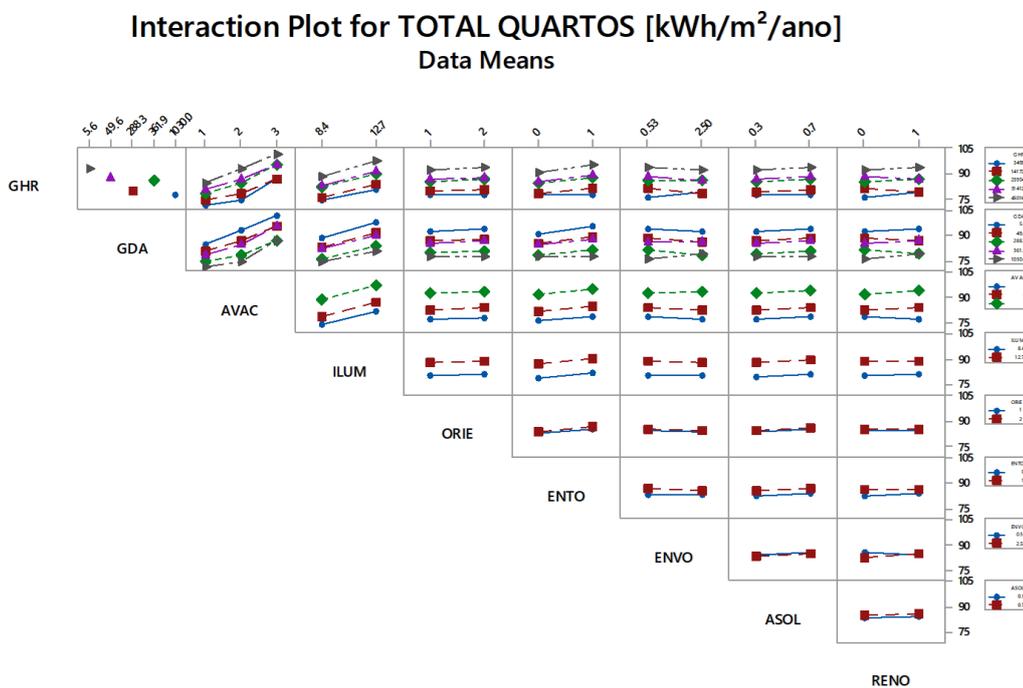
### 6.1. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

#### 6.1.1. QUARTOS

Pelos gráficos das Figura 8 e Figura 9, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, AVAC, ILUM e ENTO. As variações dos parâmetros RENO, ENVO, ASOL e ORIE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia, logo foram desconsiderados nas análises da equação de regressão.



**Figura 8 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia**



**Figura 9 - Interação entre os parâmetros**

#### 6.1.2. DEMAIS ÁREAS

Por meio das Figuras 10 e 11, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, AVAC e ILUM. As variações dos parâmetros CIRC, RENO, ASOL, ENVO, ORIE e ENTO tiveram um

impacto pequeno no cálculo do consumo de energia, logo foram desconsiderados nas análises da equação de regressão.

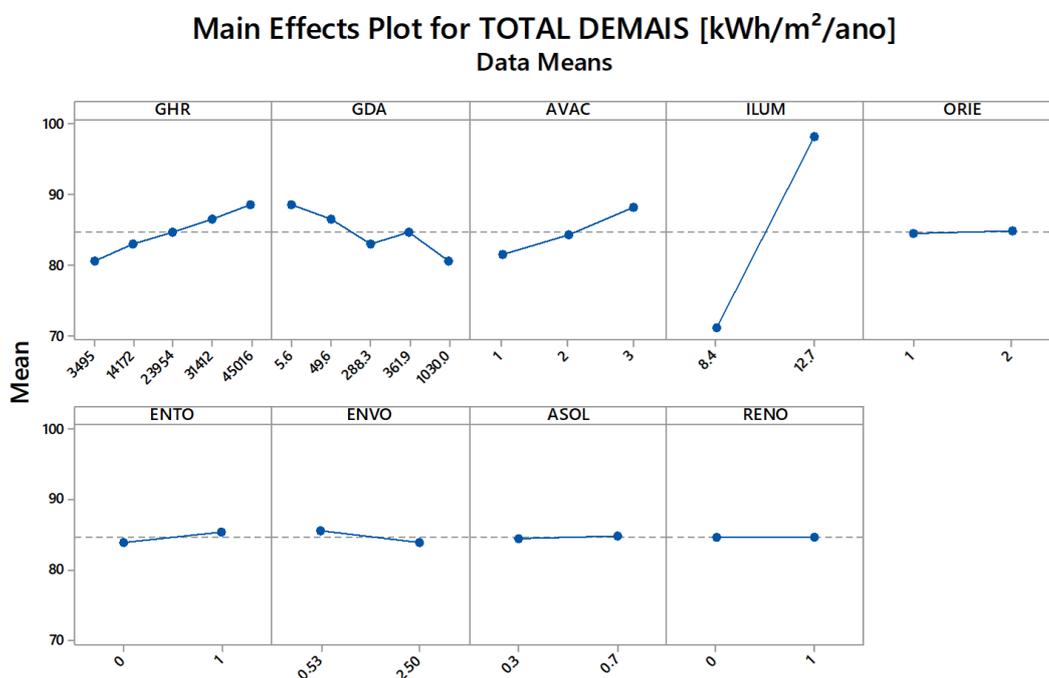


Figura 10 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

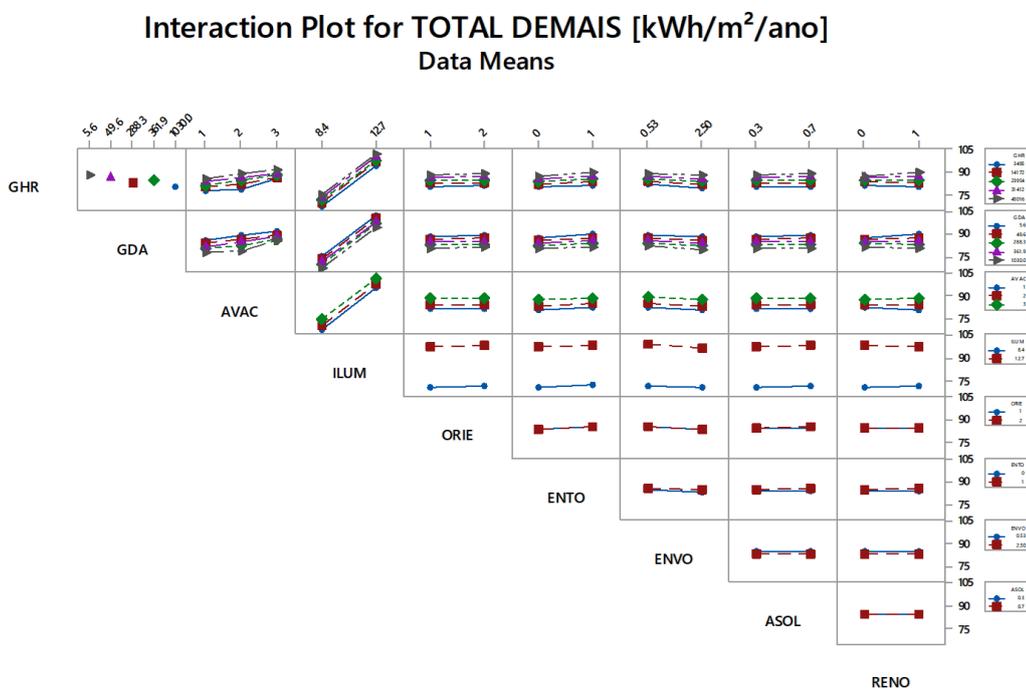
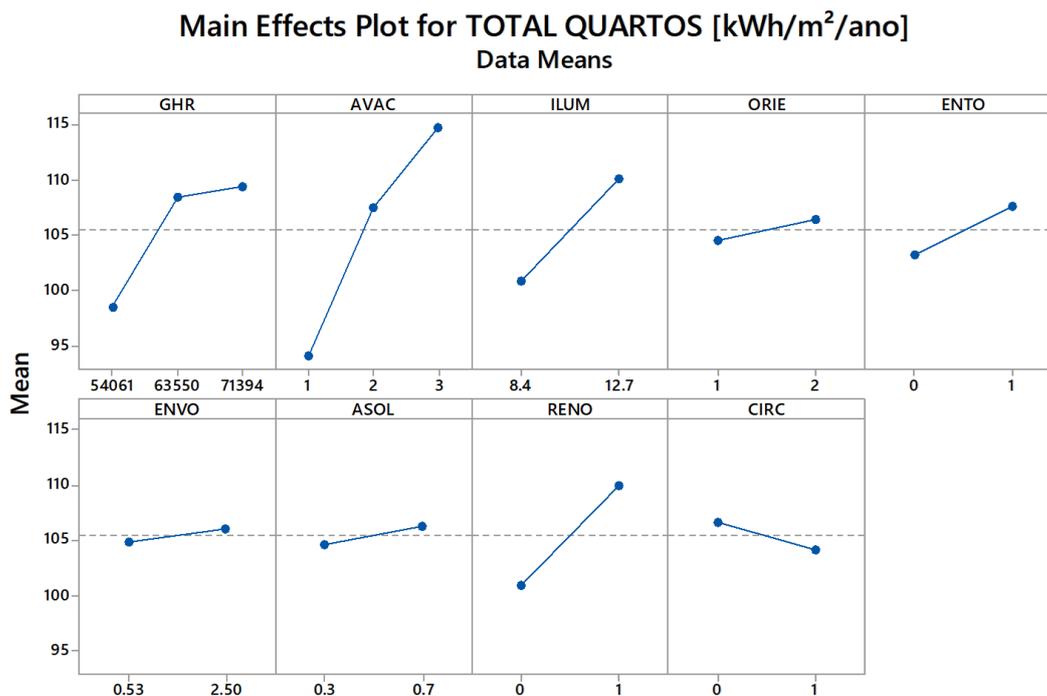


Figura 11 - Interação entre os parâmetros

## 6.2. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

### 6.2.1. QUARTOS

Por meio das Figura 12 e Figura 13, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC, ILUM, ENTO e RENO. A variação dos parâmetros ASOL, ENVO e ORIE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia, no entanto, a variação do parâmetro ASOL mostrou-se relevante ao ser analisado pelo método de identificação de impactos na carga térmica, detalhado no item 6.3 a seguir, tendo sido, portanto, considerado na equação de *benchmarking*.



**Figura 12 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia**

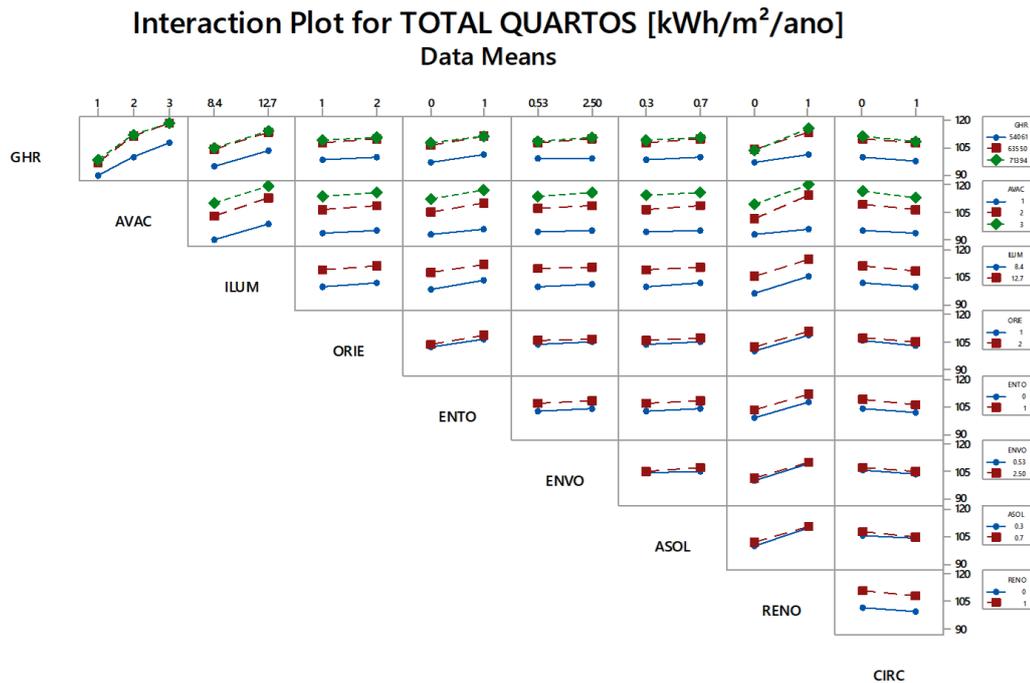


Figura 13 - Interação entre os parâmetros

#### 6.2.2. DEMAIS ÁREAS

Por meio das Figura 14 e Figura 15, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC, ILUM, RENO e CIRC. A variação dos parâmetros ORIE, ENTO, ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

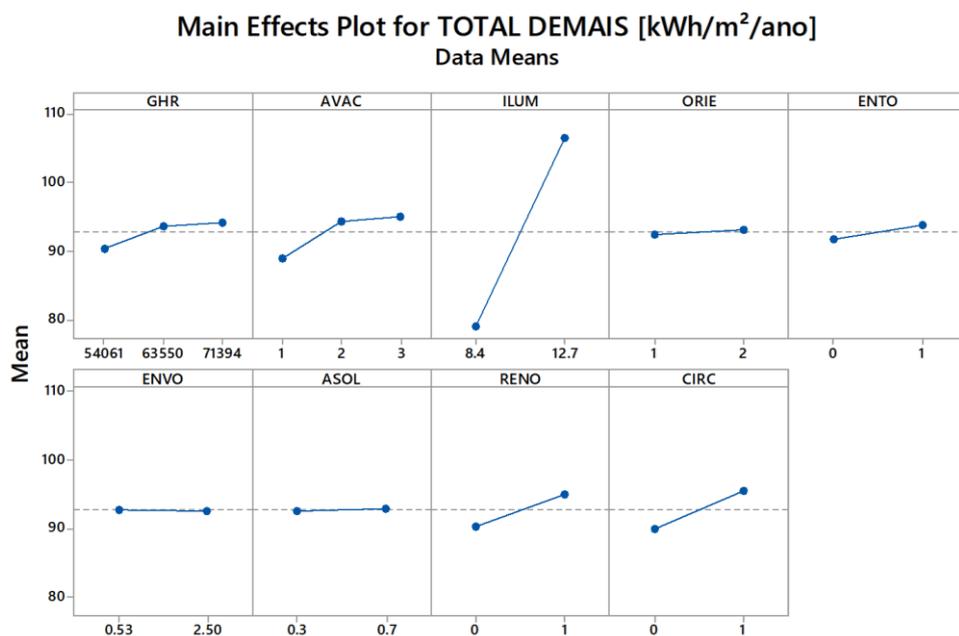
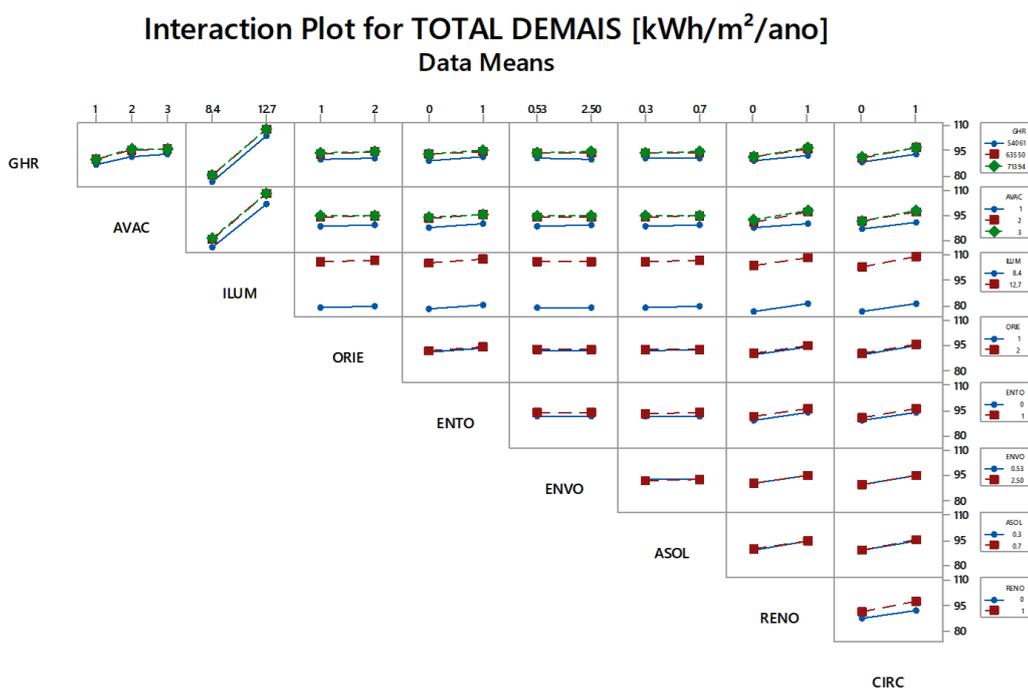


Figura 14 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia



**Figura 15 - Interação entre os parâmetros**

### 6.3. ANÁLISE DO IMPACTO DOS PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS

Uma vez identificados os parâmetros que apresentaram maior impacto no consumo anual de energia desta tipologia, verificou-se o percentual de variação que uma alteração nesses parâmetros causa no resultado final da simulação. Foram eles: GHR, GDA, AVAC, ILUM, RENO, CIRC, ENTO e ASOL.

O sistema de iluminação, além do consumo próprio de energia elétrica, também aumenta a carga térmica dentro da edificação, influenciando o consumo de energia do sistema de ar condicionado. A Tabela 7 ilustra o impacto no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar ao substituir o sistema de iluminação no padrão PBE classe D (12,72W/m<sup>2</sup>) para um PBE classe A (8,34W/m<sup>2</sup>), por vezes reduzindo mais de 10% no consumo de resfriamento da edificação. Este parâmetro possui um impacto significativo no consumo de energia da edificação como um todo e por isso foi utilizado para construir a equação de *benchmark*.

**Tabela 7 - Impacto do sistema de iluminação no consumo do sistema de condicionamento de ar**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema split (EER =3,24 W/W)		
	Iluminação: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Orientação Solar: Norte		
	Entorno: Sem sombreamento pelo entorno		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. $\alpha$ : 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condição de ar: CIRC-AC		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Iluminação</b>		
	PBE classe D	PBE classe A	
Campos do Jordão	4,42	3,67	-17,0%
São Paulo	12,08	10,32	-14,6%
Porto Alegre	17,83	16,12	-9,6%
Campinas	22,39	19,97	-10,8%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	29,76	27,06	-9,0%
Vitória	36,9	33,45	-7,8%
Recife	48,25	45,37	-6,0%
Fortaleza	50,02	47,04	-6,0%

A ocorrência de sombreamento das edificações pelo entorno também causa um grande impacto no consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar. Ao ser sombreada pelo entorno a edificação deixa de receber a carga interna proveniente da radiação solar direta que chegaria no interior através dos elementos opacos e transparentes da envoltória (Tabela 8). Portanto, esse parâmetro também foi selecionado como fator na equação de *benchmark*.

**Tabela 8 – Impacto do sombreamento pelo entorno no consumo do sistema de condicionamento de ar**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema split (EER =3,24 W/W)		
	Iluminação: PBE classe D (12,72 W/m <sup>2</sup> )		
	Orientação Solar: Norte		
	Entorno: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α: 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condição de circulação: CIRC-AC		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Entorno</b>		
	Sem sombreamento pelo entorno	Com sombreamento por edifícios de mesma altura no entorno	
Campos do Jordão	4,42	3,04	-31,1%
São Paulo	12,08	9,30	-23,0%
Porto Alegre	17,83	14,95	-16,2%
Campinas	22,39	18,19	-18,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	29,76	25,01	-15,9%
Vitória	36,29	31,12	-14,2%
Recife	48,25	43,04	-10,8%
Fortaleza	50,02	46,00	-8,0%

Há também uma variação no consumo de energia dependendo da cor das fachadas. Quanto maior for a absorvância à radiação solar dos materiais de acabamento externo, maior será a porcentagem da radiação solar direta absorvida pelo sistema. A Tabela 9 apresenta a diferença no consumo de energia de acordo com a absorvância das fachadas.

**Tabela 9 – Impacto da absorvância das fachadas no consumo do sistema de condicionamento de ar**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema split (EER =3,24 W/W)		
	Iluminação: PBE classe A (8,34 W/m <sup>2</sup> )		
	Orientação Solar: Norte		
	Entorno: Sem sombreamento pelo entorno		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absorvância: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condicionamento circulações CIRC-AC		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Absorvância</b>		
	Escura (α: 0,7)	Clara (α: 0,3)	
Campos do Jordão	3,67	2,99	-18,5%
São Paulo	10,32	8,79	-14,9%
Porto Alegre	16,12	14,16	-12,2%
Campinas	19,97	17,57	-12,0%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	27,06	24,48	-9,5%
Vitória	33,45	30,33	-9,3%
Recife	45,37	40,86	-9,9%
Fortaleza	47,04	43,89	-6,7%

O próprio sistema de condicionamento de ar possui diversas tecnologias com eficiências energéticas distintas que impactam no consumo de energia total de uma edificação. A Tabela 10 ilustra a diferença no consumo de energia do sistema central VRF, que é o que apresenta melhor desempenho, do sistema unitário *Split*, mais comum e mais barato para se instalar, e do sistema central com Chiller à ar, que apresenta um consumo próximo ao do Split. Este parâmetro também foi utilizado para construir a equação de *benchmark*.

**Tabela 10 – Impacto do tipo de sistema de condicionamento de ar no consumo do sistema AVAC**

Modelo base	AVAC: Parâmetro analisado		
	Iluminação: PBE classe D (12,72 W/m <sup>2</sup> )		
	Orientação Solar: Norte		
	Entorno: Sem sombreamento pelo entorno		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α: 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condição de circulação: CIRC-AC		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ] Parâmetro analisado: sistema AVAC		Variação no consumo de AVAC
	Central VRF	Split Individual	
Campos do Jordão	3,36	4,42	31,5%
São Paulo	8,78	12,08	37,6%
Porto Alegre	12,15	17,83	46,8%
Campinas	15,32	22,39	46,2%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	19,88	29,76	49,7%
Vitória	24,01	36,29	51,2%
Recife	31,22	48,25	54,6%
Fortaleza	32,88	50,02	52,1%
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ] Parâmetro analisado: sistema AVAC		Variação no consumo de AVAC
	Central VRF	Central Chiller à ar	
Campos do Jordão	3,36	9,50	182,7%
São Paulo	8,78	17,69	101,5%
Porto Alegre	12,15	23,00	89,3%
Campinas	15,32	27,30	78,2%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	19,88	34,23	72,2%
Vitória	24,01	39,97	66,5%
Recife	31,22	50,26	61,0%
Fortaleza	32,88	51,64	57,1%

Outro fator que também impacta no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar é a renovação do ar interno da instalação. Apesar de este fator ser obrigatório por lei (nº 13.589, de 4 de janeiro de 2018) e devesse ser utilizado em todas as instalações, é possível perceber que em muitas edificações esse fator não é levado em consideração, seja por falta de recursos ou negligência. A Tabela 11 informa que, em climas mais frios, a utilização da renovação de ar propicia um consumo anual de energia do sistema de condicionamento de ar menor. Essa redução se dá pela estratégia chamada *free-cooling*, quando a entalpia do ar externo é inferior à do ar interno. Para climas mais quentes, no entanto o desligamento da renovação de ar reduz de forma significativa o consumo de energia elétrica. Esta variável serviu como calibração para o consumo do usuário final, que poderá avaliar sua instalação de acordo com o seu padrão de utilização, advertindo-se, no entanto, sobre a não conformidade com a legislação vigente.

**Tabela 11 – Impacto do sistema de renovação de ar interno no consumo do sistema de condicionamento de ar**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema Central Chiller à ar (EER =3,22 W/W)		
	Iluminação: PBE classe D (12,72 W/m <sup>2</sup> )		
	Orientação Solar: Norte		
	Entorno: Sem sombreamento pelo entorno		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. $\alpha$ : 0,7		
	Renovação de ar: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Condicionamento circulações CIRC-AC		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Renovação de ar</b>		
	com renovação	sem renovação	
Campos do Jordão	9,50	12,97	36,6%
São Paulo	17,69	20,20	14,2%
Porto Alegre	23,00	23,43	1,9%
Campinas	27,30	27,18	-0,4%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	34,23	30,93	-9,6%
Vitória	39,97	34,03	-14,9%
Recife	50,26	40,47	-19,5%
Fortaleza	51,64	39,30	-23,9%

Outro parâmetro que se mostrou importante foi o condicionamento artificial ou não das circulações horizontais, os corredores que dão acesso aos quartos. Neste arquétipo as circulações horizontais têm uma área de 6,5% da área total, sendo a terceira maior parcela de área se comparado apenas as áreas condicionadas. A Tabela 12 ilustra o impacto no consumo de energia apenas do sistema de condicionamento de ar ao comparar o cenário em que as circulações horizontais são climatizadas com o cenário em que elas são ventiladas naturalmente. Este parâmetro apresentou um impacto significativo no consumo de energia da edificação e foi utilizado como fator para construção da equação de *benchmark*.

**Tabela 12 – Impacto da presença ou não de condicionamento de ar nas circulações no consumo do sistema AVAC**

Modelo base	AVAC: Sistema VRF (EER = 4,41 W/W; 4,53 W/W; 5,23W/W)		
	Iluminação: PBE classe D (12,72 W/m <sup>2</sup> )		
	Orientação Solar: Norte		
	Entorno: Sem sombreamento pelo entorno		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α: 0,7		
	Renovação de ar: Com renovação		
	Condicionamento circulações <b>Parâmetro analisado</b>		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ]		Variação no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Circulação		
	Condicionada	Não Condicionada	
Campos do Jordão	3,36	3,35	-0,3%
São Paulo	8,78	8,53	-2,8%
Porto Alegre	12,15	11,52	-5,2%
Campinas	15,32	14,52	-5,2%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	19,88	18,77	-5,6%
Vitória	24,01	22,47	-6,4%
Recife	31,22	28,95	-7,3%
Fortaleza	32,88	30,47	-7,3%

## 7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia da tipologia **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**, utilizou-se um modelo estatístico de regressão linear multivariada. Para teste da qualidade do modelo, avaliou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Quanto mais próximo de 1,00, mais o modelo consegue prever valores próximos aos valores utilizados para construí-lo.

A regressão linear multivariada resulta em uma equação, na qual a variável resposta (ou dependente) é o consumo de energia da edificação e as variáveis explicativas (ou independentes) são os parâmetros utilizados para construir o modelo. Para realizar as análises apresentadas neste capítulo foi utilizada a metodologia de regressão linear múltipla, realizada por meio do *software Minitab*.

O modelo estatístico do *benchmarking* foi segmentado em cidades com necessidade tanto de aquecimento (GHR menores que 54.000) quanto resfriamento ambiental e aquelas com demanda apenas de resfriamento (GHR maiores ou iguais a 54.000). Em suma, foram construídas 2 equações para esta tipologia.

### 7.1. CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

#### Análise dos parâmetros – Quartos

Candidate terms: logGHR, logGDA, AVAC, ILUM, ENTO

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	69.228		82.918		62.788		25.84	
AVAC	7.661	0.000	7.661	0.000	7.661	0.000	7.661	0.000
logGDA			-6.535	0.000	-6.535	0.000	-3.626	0.000
ILUM					1.9096	0.000	1.9096	0.000
logGHR							7.268	0.000
ENTO								
S	7.93609		5.99590		4.31842		4.01142	
R-sq	38.34%		64.82%		81.76%		84.27%	
R-sq(adj)	38.31%		64.79%		81.73%		84.24%	
R-sq(pred)	38.22%		64.72%		81.69%		84.19%	
Mallows' Cp	6674.81		2987.22		629.07		281.48	

	-----Step 5-----	
	Coef	P
Constant	24.42	
AVAC	7.661	0.000
logGDA	-3.626	0.000
ILUM	1.9096	0.000
logGHR	7.268	0.000
ENTO	2.851	0.000

S	3.74985
R-sq	86.26%
R-sq(adj)	86.23%
R-sq(pred)	86.17%
Mallows' Cp	6.00

$\alpha$  to enter = 0.15,  $\alpha$  to remove = 0.15

#### Análise de variância

**Analysis of Variance**

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	169006	86.26%	169006	33801.1	2403.83	0.000
logGHR	1	51631	26.35%	4916	4915.7	349.59	0.000
logGDA	1	5166	2.64%	5166	5165.8	367.38	0.000
AVAC	1	75121	38.34%	75121	75120.6	5342.34	0.000
ILUM	1	33187	16.94%	33187	33186.9	2360.14	0.000
ENTO	1	3902	1.99%	3902	3901.8	277.48	0.000
Error	1914	26913	13.74%	26913	14.1		
Lack-of-Fit	54	11179	5.71%	11179	207.0	24.47	0.000
Pure Error	1860	15734	8.03%	15734	8.5		
Total	1919	195919	100.00%				

**Resumo do Modelo**

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.74985	86.26%	86.23%	86.17%

**Equação de Regressão**

Consumo por quarto [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = 24.42 + 7.268 log\_GHR - 3.626 log\_GDA + 7.661 AVAC + 1.9096 ILUM + 2.851 ENTO

**Análise dos parâmetros – Demais áreas**

Candidate terms: logGHR, logGDA, AVAC, ILUM

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	18.994		12.351		-16.090		-0.42	
ILUM	6.2306	0.000	6.2306	0.000	6.2306	0.000	6.2306	0.000
AVAC			3.3214	0.000	3.3214	0.000	3.3214	0.000
logGHR					6.700	0.000	3.843	0.000
logGDA							-1.691	0.000
S	4.46044		3.54120		2.40946		2.28519	
R-sq	90.25%		93.86%		97.16%		97.45%	
R-sq(adj)	90.25%		93.85%		97.15%		97.44%	
R-sq(pred)	90.23%		93.84%		97.15%		97.43%	
Mallows' Cp	5391.39		2689.42		218.07		5.00	

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

**Análise de variância**

**Analysis of Variance**

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	381473	97.45%	381473	95368	18262.55	0.000
logGHR	1	12916	3.30%	1374	1374	263.16	0.000
logGDA	1	1123	0.29%	1123	1123	215.07	0.000
AVAC	1	14120	3.61%	14120	14120	2703.97	0.000
ILUM	1	353314	90.25%	353314	353314	67657.80	0.000
Error	1915	10000	2.55%	10000	5		
Lack-of-Fit	25	1341	0.34%	1341	54	11.71	0.000
Pure Error	1890	8659	2.21%	8659	5		
Total	1919	391474	100.00%				

**Resumo do Modelo**

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.28519	97.45%	97.44%	97.43%

### Equação de Regressão

Consumo demais áreas [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = -0.42 + 3.843\*log\_GHR - 1.691\*log\_GDA + 3.3214\*AVAC + 6.2306\*ILUM

#### EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR MENORES QUE 54 MIL

CONSUMO FINAL [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = (((24,42 + 7,268 logGHR – 3,626 logGDA + 7,661 AVAC + 1,9096 ILUM + 2,851 ENTO)\* nº de quartos \* área média dos quartos \* taxa de ocupação) + ((-0,42 + 3,843\*logGHR – 1,691\*logGDA + 3,3214\*AVAC + 6,2306\*ILUM) \* DEMAIS ÁREAS)) / (ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS) + (494,1\* nº de quartos \* taxa de ocupação \* SAQ)/(ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS)

Em que:

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 – Chiller a ar)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m<sup>2</sup>)

ENTO – Condição de entorno (0 – com sombreamento por edifícios de mesma altura, 1 – sem sombreamento pelo entorno)

SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)

Número de quartos (un)

Área média dos quartos (m<sup>2</sup>)

Taxa de ocupação – taxa média de ocupação anual dos quartos (%)

Demais áreas– somatória de todas as áreas internas do hotel, exceto as áreas de quartos (m<sup>2</sup>)

Área dos quartos – somatória de todas as áreas de quartos (m<sup>2</sup>)

## 7.2. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

### Análise dos parâmetros – Quartos

Candidate terms: AVAC, logGHR, ILUM, RENO, ENTO, ASOL

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	84.902		-365.4		-387.9		-392.6	
AVAC	10.292	0.000	10.292	0.000	10.292	0.000	10.292	0.000
logGHR			93.89	0.000	93.90	0.000	93.93	0.000
ILUM					2.1301	0.000	2.1319	0.000
RENO							8.976	0.000
ENTO								
ASOL								
S		9.37915		8.14326		6.69238		4.95957
R-sq		44.64%		58.30%		71.86%		84.56%
R-sq(adj)		44.59%		58.23%		71.79%		84.51%
R-sq(pred)		44.46%		58.10%		71.68%		84.43%
Mallows' Cp		4143.72		2840.29		1546.98		335.94
	-----Step 5-----		-----Step 6-----					
	Coef	P	Coef	P				
Constant	-394.9		-396.8					
AVAC	10.292	0.000	10.292	0.000				
logGHR	93.94	0.000	93.95	0.000				
ILUM	2.1328	0.000	2.1325	0.000				
RENO	8.988	0.000	8.983	0.000				
ENTO	4.437	0.000	4.433	0.000				
ASOL			3.892	0.000				
S		4.43516		4.36787				
R-sq		87.66%		88.05%				
R-sq(adj)		87.61%		87.98%				
R-sq(pred)		87.54%		87.90%				
Mallows' Cp		41.49		7.00				

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15



Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	243681	97.58%	243681	48736	9219.84	0.000
logGHR	1	2861	1.15%	2869	2869	542.67	0.000
AVAC	1	7135	2.86%	7135	7135	1349.76	0.000
ILUM	1	218241	87.39%	218383	218383	41313.34	0.000
RENO	1	6434	2.58%	6421	6421	1214.66	0.000
CIRC	1	9010	3.61%	9010	9010	1704.57	0.000
Error	1143	6042	2.42%	6042	5		
Lack-of-Fit	66	3967	1.59%	3967	60	31.21	0.000
Pure Error	1077	2074	0.83%	2074	2		
Total	1148	249723	100.00%				

#### Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.29913	97.58%	97.57%	97.56%

#### Equação de Regressão

Consumo demais áreas [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = -138.09 + 31.86\*log\_GHR + 3.0480\*AVAC + 6.3322\*ILUM + 4.728\*RENO + 5.601\*CIRC

#### EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR MAIORES OU IGUAIS A 54 MIL

CONSUMO FINAL [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = (((-396,8 + 93,95 logGHR + 10,292 AVAC + 2,1325 ILUM + 4,433 ENTO + 3,892 ASOL + 8,983 RENO)\* n° de quartos \* área média dos quartos \* taxa de ocupação) + ((-138,09 + 31,86\*logGHR + 3,0480\*AVAC + 6,3322\*ILUM + 4,728\*RENO + 5,601\*CIRC) \* DEMAIS ÁREAS)) / (ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS) + (494,1\* n° de quartos \* taxa de ocupação \* SAQ)/(ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS)

Em que:

GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação

AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1- Central VRF, 2 - Split Individual, 3 – Chiller a ar)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m<sup>2</sup>)

ENTO – Condição de entorno (0 – com sombreamento por edifícios de mesma altura, 1 – sem sombreamento pelo entorno)

ASOL – Absortância da envoltória (0,7 – cor escura, 0,3 – cor clara)

RENO – Renovação de ar (0 – não tem, 1 – tem renovação conforme nível 2 da NBR 16401-3)

CIRC – Condicionamento de ar das circulações (0 – sem condicionamento, 1 – com condicionamento)

SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)

Número de quartos (un)

Área média dos quartos (m<sup>2</sup>)

Taxa de ocupação – taxa média de ocupação anual dos quartos (%)

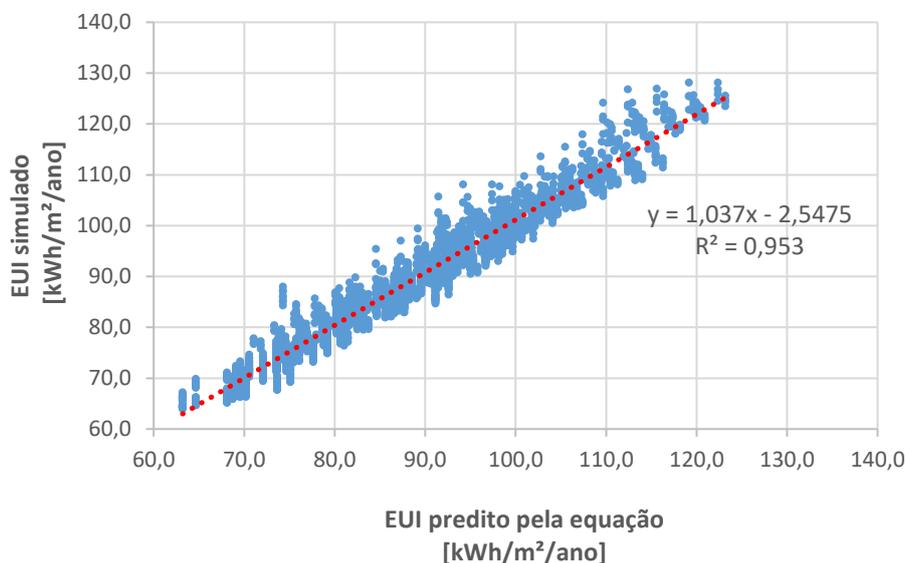
Demais áreas – somatória de todas as áreas internas do hotel, exceto as áreas de quartos (m<sup>2</sup>)

Área dos quartos – somatória de todas as áreas de quartos (m<sup>2</sup>)

### 7.3. AVALIAÇÃO ENTRE O CONSUMO SIMULADO E O CONSUMO CALCULADO

A partir das equações desenvolvidas, foram utilizadas as características de cada modelo e calculado o consumo de energia da edificação. Esse consumo de energia foi comparado com o consumo de energia obtido a partir da simulação computacional e verificada a diferença entre eles.

A Figura 16 apresenta os valores obtidos por meio da equação e por simulação computacional. Objetiva-se verificar a aderência dos pontos na bissetriz do gráfico. Quanto mais aderentes os pontos à bissetriz, melhor a equação consegue representar os valores simulados. A equação presente no gráfico representa esta aderência, apresentando um coeficiente de determinação de 95,3%, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.



**Figura 16 – Comparação entre o EUI simulado e o predito pela equação**

## 8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA

### 8.1. MÉTODO PARA CÁLCULO DAS ESCALAS

A classificação da eficiência da edificação analisada é feita por meio da comparação entre o consumo operacional da edificação e as escalas de consumo. As escalas de consumo foram definidas a partir dos parâmetros cujas variações representaram impactos significativos na equação de *benchmark* para esta tipologia, identificados e descritos nos capítulos anteriores deste relatório.

Os parâmetros considerados para esta tipologia e que serão inseridos na plataforma de cálculo de *benchmark* são apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13 – Parâmetros para Escala de Consumo de Energia em função do GHR, para a tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**

Parâmetro	Parâmetros significativos de acordo com a cidade	
	GHR < 54mil	GHR ≥ 54mil
Cidade		
Tipo de AVAC	VRF	
	Split	x
	Chiller à ar	x
Iluminação	W/m <sup>2</sup>	x
Absortância solar	-	x
Renovação de ar	Sem renovação	
	Com renovação	x

Entorno	Com sombreamento		
	Sem sombreamento	x	x
Condicionamento de ar na Circulação	Circulação condicionada		
	Circulação não condicionada		x
Tipo de Sistema de Aquecimento de Água	0 (Gás, solar, outro)		
	1 (Chuveiro elétrico)	x	x

A escala de eficiência é definida por meio do cálculo dos consumos máximo e mínimo, determinados a partir das informações da edificação em análise, considerando o cenário base utilizado para o desenvolvimento da equação de *benchmark*. A Tabela 14 apresenta a definição do cenário utilizado para determinar os consumos mínimos e máximos para esta tipologia.

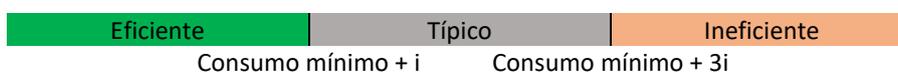
**Tabela 14 – Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para a tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**

Parâmetros		Limite Mínimo	Limite Máximo
Cidade	GHR	Parâmetro fixo	
	GDA		
Tipo de AVAC	-	VRF	Chiller à ar
Iluminação	W/m <sup>2</sup>	8,4	12,7
Absortância	-	0,3	0,7
Renovação de ar	-	Parâmetro fixo	
Entorno	-	0	1
Circulação		Parâmetro fixo	
Tipo de Sistema de Aquecimento de Água	-	Parâmetro fixo	

Portanto, a partir da entrada de dados da edificação em análise no cenário de base, a equação de *benchmark* calcula os consumos máximos e mínimos específicos para a condição da edificação em análise.

A faixa de consumo típico é obtida a partir da variável do cálculo posto a seguir, que considera como limite inferior o consumo mínimo acrescido de um coeficiente “i” e, o limite superior, como sendo o consumo mínimo acrescido de três vezes o fator “i”. Dessa forma, a escala é definida, identificando as faixas de consumo consideradas para edificações eficientes, típicas e ineficientes.

$$i = \frac{\text{consumo máximo da edificação} - \text{consumo mínimo da edificação}}{5}$$



## 8.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificar a aplicação deste método e calcular as escalas de consumo de uma edificação, será apresentado o cálculo para um Hotel Vertical de Médio e Grande Porte localizado na cidade de São Paulo (GHR=14172, GDA= 233,8), condicionamento de ar Chiller a Ar, 7,08 W/m<sup>2</sup> de Iluminação, sem sombreamento pelo entorno e sistema de aquecimento de água a gás. A área dos quartos é 2432,92m<sup>2</sup>, das demais áreas é 2723,28m<sup>2</sup> e a taxa de ocupação anual média dos quartos é de 64%. **O consumo de energia operacional calculado é 60.43 kWh/m<sup>2</sup>/ano.**

Realizando o cálculo do consumo deste hotel nos cenários de consumo mínimo e consumo máximo, obtém-se os limites indicados na Tabela 15.

**Tabela 15 – Exemplo de Escala de Eficiência – Hotel Vertical de Médio e Grande Porte em São Paulo.**

Parâmetros		Mínimo	Máximo
VARIÁVEIS	AR-CONDICIONADO	Tipo	VRF
	ILUMINAÇÃO	DPI (W/m <sup>2</sup> )	8,4
	ENTORNO	-	Sim
	ABSORTÂNCIA	-	0,3
SÃO PAULO		GHR=14172	
		GDA=233,8	
FIXOS	ÁREAS	QUARTOS = 2432,96	Consumo geral: <b>56,53</b> [kWh/m <sup>2</sup> /ano]
		DEMAIS = 2723,28	Consumo geral: <b>82,16</b> [kWh/m <sup>2</sup> /ano]
	SISTEMA AQUECIMENTO DE ÁGUA	0 - gás	

Então, a partir destes limites calculados, as faixas de consumo eficiente, típico e ineficiente para o cenário descrito são apresentadas a seguir:

$$i = \frac{82,16 - 56,53}{5} = 5,126$$



Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo operacional inferior ao consumo mínimo da faixa típica (**60.43 < 61,66 kWh/m<sup>2</sup>/ano**), sendo classificada como eficiente.

As escalas de eficiência são ferramentas importantes para a aplicação das equações de *benchmark*, uma vez que permitem a comparação de dados reais de edificações com suas faixas de consumo, viabilizando tanto a detecção de ineficiências quanto a determinação de metas de melhores práticas.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresentou o registro do desenvolvimento do arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.

Ao término dos trabalhos e a partir das equações de *benchmarking* elaboradas para as três tipologias de hotelaria, as equações de *benchmark* adotadas para esta tipologia, originalmente denominada Hotel de Médio Porte, com arquétipo caracterizado por volumetria vertical, sombreada ou não pelo seu entorno, foram testadas e validadas para as edificações da parte da amostra de hotéis selecionados na tipologia original de Hotel de Grande Porte e Resort, que possuía arranjo similar. Nestes casos, as variáveis número de quartos e áreas é que fazem a diferenciação do porte dos hotéis e ambas estão consideradas na equação.

Entende-se, portanto, que as equações desenvolvidas e apresentadas neste relatório possam ser aplicadas tanto para hotéis de médio porte quanto para hotéis de grande porte constituídos por edificação vertical, sombreada ou não por seu entorno, e abrigando atividades hoteleiras similares. Deve-se, portanto, associar as equações descritas neste relatório RT2B.03 à tipologia denominada **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**, considerando aqueles com mais de 40 quartos e mais de 1.500 m<sup>2</sup> de área construída.

Os parâmetros com maior impacto no consumo de energia desta tipologia foram: graus-hora de resfriamento (GHR); graus-dia de aquecimento (GDA); iluminação (ILUM); entorno (ENTO); tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC), renovação de ar (RENO), absortância solar (ASOL) e condicionamento de ar nas circulações horizontais (CIRC). O tipo de sistema de aquecimento de água para banho, caso sejam adotados chuveiros elétricos, tem o cálculo de seu consumo realizado por meio da segunda parcela da equação.

As variações de orientação solar das fachadas da edificação e o tipo de envoltória não apresentaram impacto significativo no consumo de energia final e, portanto, não foram incluídos na equação de *benchmark* proposta para esta tipologia.

O GHR representa as variações do clima externo de acordo com a localização do modelo e, portanto, tem impacto representativo no consumo do sistema de condicionamento de ar uma vez que cidades mais quentes tendem a apresentar um maior consumo para resfriamento. Verifica-se que as cidades que apresentam GDA também tem um impacto no consumo por aquecimento, portanto foi necessário dividir em duas equações para ter uma melhor correlação das equações de regressão nas cidades que apresentavam essa característica.

A iluminação artificial, além do impacto direto no consumo geral da edificação, tem impacto no consumo do sistema de condicionamento de ar, uma vez que parte da energia consumida pelas lâmpadas é dissipada na forma de calor. Logo, quanto maior a densidade de potência de iluminação instalada maior será o consumo para resfriamento.

O sombreamento da edificação pelo entorno construído tem um impacto considerável na quantidade de radiação solar direta que incidirá na fachada e que poderá ser transmitida para o interior e impactar na carga térmica a ser retirada pelo sistema de condicionamento de ar, sendo este, conforme o tipo adotado, outra determinante do consumo de energia total da edificação. Complementando, a absortância à radiação solar atua no percentual de radiação solar direta incidente na fachada e que será absorvida e transmitida para o interior da edificação, incrementando a carga térmica a ser resolvida pelo sistema de condicionamento de ar presente.

A existência ou não de renovação de ar também impacta significativamente, uma vez que a renovação representa uma carga térmica a mais ou a menos a ser resolvida pelo sistema AVAC e, sobre a presença de condicionamento de ar nas circulações horizontais dos pavimentos-tipo, também há influência, representando uma área a mais de condicionamento e, conseqüentemente, um consumo de energia adicional se comparado ao consumo em edificações com estas circulações ventiladas naturalmente.

Cabe observar também que durante a condução das simulações energéticas e auditorias foram identificadas peculiaridades na composição real da tipologia que impossibilitaram a caracterização energética de forma mais precisa. O arquétipo desenvolvido visou abranger grande parte do perfil de consumo de energia desta tipologia, que são os quartos, banheiros e as cargas de tomada simples, iluminação e condicionamento de ar de algumas facilidades como restaurante, academia e área de eventos. Entretanto, há uma grande variedade de configurações para as edificações de hotéis verticais de médio e grande porte, as quais apresentam facilidades não consideradas, tais como piscinas aquecida e garagens.

Algumas áreas não tiveram seu consumo contabilizado totalmente ou o foram em parte, como por exemplo a cozinha e a lavanderia. Elas foram consideradas no consumo de iluminação, mas não foram consideradas no consumo de equipamentos, dada a grande diversidade de arranjos possíveis de maquinaria para esses ambientes. Igualmente, não foram considerados o consumo dos sistemas de iluminação externa, dos equipamentos das academias de ginástica, dos sistemas de aquecimento de piscinas, das saunas, dos spas, de sistema centrais elétricos de aquecimento de água para as unidades de hospedagem e de outras facilidades encontradas nesta tipologia hoteleira. Conseqüentemente, definiu-se que os consumos relativos a estes ambientes deverão ser levantados e analisados à parte das equações de *benchmark* da tipologia.

Ao término dos trabalhos, percebe-se que o que diferencia o uso das equações para esta tipologia em relação à adoção das equações das tipologias de **Hotel do tipo Resort** e de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada** é o porte do empreendimento. As equações aqui desenvolvidas para a tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte** são aplicáveis para hotéis com mais de 40 quartos e mais de 1.500 m<sup>2</sup> de área construída.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R<sup>2</sup> de 95,3%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.

A Tabela 16 resume os parâmetros estudados e identifica os considerados significativos para o desenvolvimento das equações de *benchmark* para esta tipologia.

**Tabela 16 - Parâmetros analisados e sua relevância para a equação de benchmark da tipologia de Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**

Parâmetros analisados	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil
Clima GHR	✓	✓
Clima GDA	✓	
AVAC	✓	✓
Iluminação	✓	✓
Entorno	✓	✓
Absortância		✓
Renovação de ar interno		✓
Condicionamento das circulações horizontais		✓
Orientação Solar da edificação		
Envoltória		
Sistema de aquecimento de água	✓	✓

## REFERÊNCIAS

- ASHRAE Procedures for Commercial Building Energy Audits, second edition, ASHRAE 2011
- ASHRAE Standard 90.4P, Proposed Energy Standard for Data Centers and Telecommunications Buildings, public review 2015, ASHRAE
- Borgstein, E. H., and R. Lamberts - Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. *Energy and Buildings* 82 (2014) 82–91.
- Borgstein, E.H. - Energia primária em edifícios no Brasil, *Revista Sistemas Prediais, Engenharia e Arquitetura*, January 2014
- CB3E - Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, agosto 2017
- CBCS - Comunicação técnica: Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, outubro 2014
- CIBSE – TM22: Energy Assessment and Reporting Methodology, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2006
- CIBSE – TM46: Energy Benchmarks, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2008
- CIBSE - TM47: Operational Ratings and Display Energy Certificates, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2009
- CIBSE Guide D - Transportation systems in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2010
- CIBSE Guide F - Energy efficiency in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2012
- CIBSE TM54 - Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2013
- ECON19 - Energy Efficiency Best Practices Programme, Energy Consumption Guide 19: Energy use in Offices, March 2003
- EN 15603 - Energy performance of buildings — Overall energy use, CO2 emissions and definition of energy ratings, 2008
- EPE - Estudos de Demanda de Energia, Nota técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-1
- EPE - Estudos Econômicos, Nota técnica DEA 12/14 : Cenário Econômico 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-2
- Healy, D. - Asset Ratings and Operational Ratings: The relationship between different energy certificate types for UK buildings, Submitted to the University of Cambridge in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Studies in Interdisciplinary Design for the Built Environment, 2011
- Hinge, A., A. Cullen, B. Neely, C. Taylor - Building energy rating schemes around the world: What do we know? ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2014
- Hong, S.M. and P. Steadman – An Analysis of Display Energy Certificates for Public Buildings, 2008-2012, A report to the Chartered Institute of Building Services Engineers, UCL Energy Institute December 2013
- IEA - Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy efficiency. International Energy Agency, OECD, Paris, 2010
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, De Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

MENEZES, A.C., A. Cripps, D. Bouchlaghem, R. Buswell, 2013 - Benchmarking small power energy consumption in UK office buildings: a review of data published in CIBSE guide F. Building Services Engineering Research and Technology, 34 (1), pp. 73-86

SARFRAZ, O.; BACH, C. K.; WILLKINS, C. K. ASHRAE RP-1742 – Plug load design factors. ASHRAE Journals, janeiro, 2018.

Standeven, M. and B. Bordass – Landlord's Energy Statement: Guidance and Specification, version 2.3, Usable Buildings Trust, April 2007

YUVENTI, J.; MEHDIZADEH, R. A critical analysis of power usage effectiveness and its use in communicating data center energy consumption. Energy and Buildings 64 (2013) 90-94.