



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2B.13: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de Hospital

PROJETO: ECV – PRFP 003B/2020

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

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

Ana Carolina Veloso

Ana Paula Melo

Anderson Letti

Arthur Cursino

Camila Suizu

Clarice Degani

Daniel Amaral

Eduardo Kanashiro

Roberto Lamberts

Kleber Moura

Coordenação Eletrobras/Procel: Elisete Cunha

Publicado em 10/03/2021

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 Hospital.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	1
1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA	2
Metodologia geral adotada para o convênio	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. CIDADES SELECIONADAS	5
4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO	6
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
5. MODELOS DE SIMULAÇÃO	12
5.1. Cenários de simulação	12
5.2. Método de análise dos resultados das simulações	12
6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	14
6.1. ANÁLISE EM Cidades com GHR abaixo de 54 mil	15
6.1.1. Centro Cirúrgico	15
6.1.2. Leitos de UTI	16
6.1.3. Leitos comuns	17
6.1.4. Exames e laboratórios	18
6.1.5. Demais áreas	19
6.2. análises em Cidades com GHR acima de 54 mil	20
6.2.1. Centro cirúrgico	20
6.2.2. Leitos de UTI	21
6.2.3. Leitos comuns	22
6.2.4. Exames e laboratórios	23
6.2.5. Demais áreas	24
6.3. ANÁLISE DO IMPACTO dos parâmetros significativos	25
7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	28
7.1. Cidades com GHR abaixo de 54 mil	28
7.2. Cidades com GHR acima de 54 mil	33
7.3. Avaliação entre o consumo simulado e o consumo calculado	38
8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA	39
8.1. Método para cálculo das escalas	39
8.2. Exemplo de aplicação	40
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	43

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.

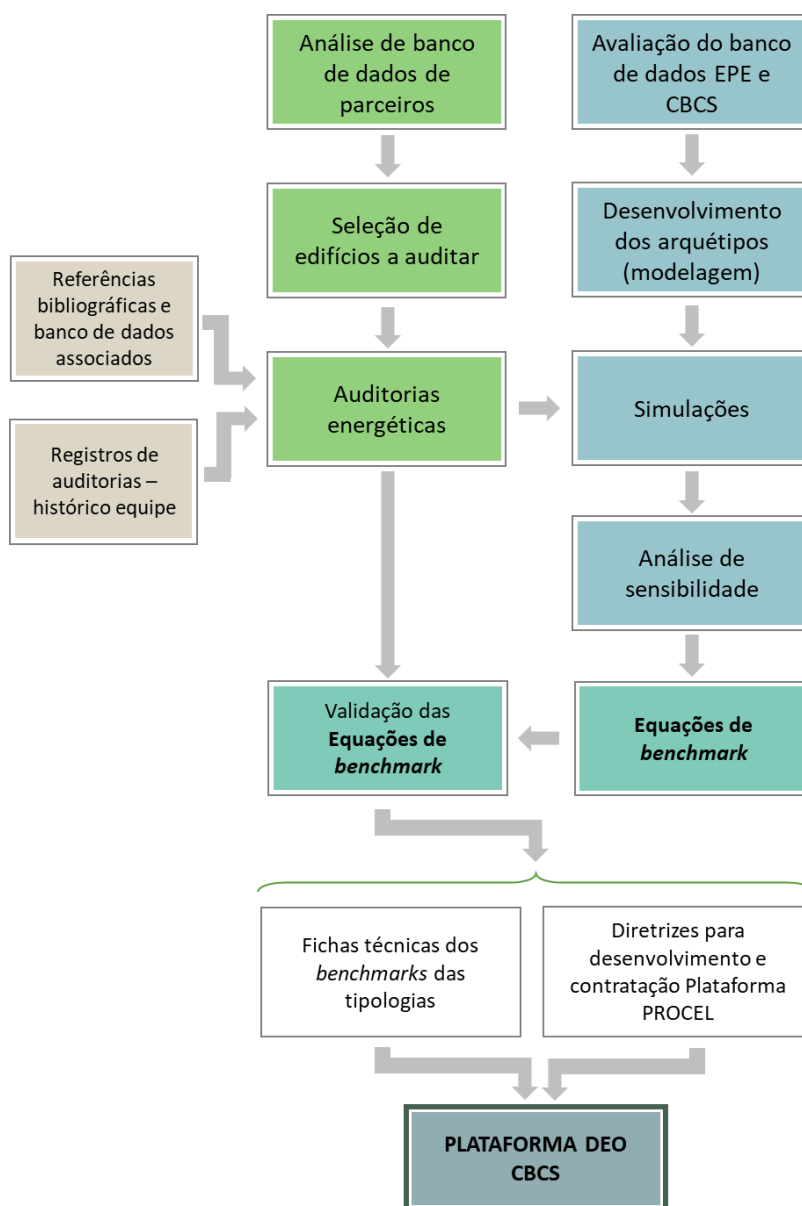


Figura 1 – Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

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 **Hospital**.

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, ocupação, 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.

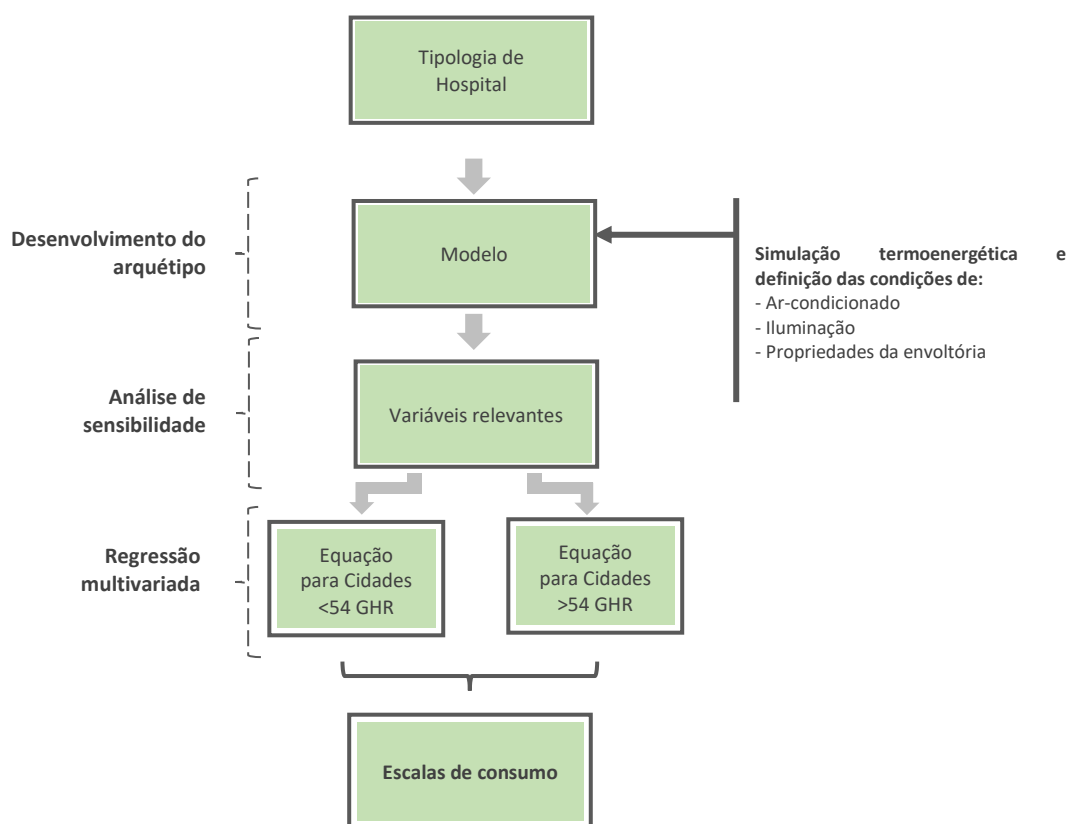


Figura 2 – Fluxograma de desenvolvimento das equações de benchmark e escalas de consumo para a tipologia de Hospital

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 **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** 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 **Hospital** constitui-se tipicamente por edificações cuja função principal seja de cuidado a doentes, através de consultas, exames, procedimentos e internações.

As fontes de dados principais utilizadas para o desenvolvimento do arquétipo desta tipologia foram: (a) amostras existentes desta tipologia no projeto META; (b) arquivo modelo de referência ASHRAE901_Hospital_STD2019_Atlanta.idf do software EnergyPlus v.9.2 e (c) auditoria energética obtida em publicação técnica.

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

- A avaliação engloba uma edificação independente, ou seja, exposta à radiação solar em todas as suas faces, com seis pavimentos.
- A área bruta da edificação inclui todo o espaço interno ao edifício, tenham ocupação permanente ou intermitente, além de todas as circulações horizontais e verticais, ou seja, inclui quartos, enfermarias, centro cirurgicos, centros de tratamento intensivos, atendimento de emergência, laboratórios, consultórios, restaurante, cozinha e um subsolo.

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, enfermarias, centro cirurgicos, centros de tratamento intensivos, atendimento de emergência, laboratórios, consultórios, restaurante, cozinha e um subsolo. Nas seções seguintes, registra-se a composição das volumetrias e as variáveis que compõem o modelo de simulação.

4.1. VOLUMETRIAS

O modelo do arquétipo constitui-se por uma edificação com seis pavimentos de dimensões 70,1 m x 53,3 m x 23,80 m (L x C x A). A área total considerando todos os pavimentos é de 19.960m². A Figura 3 apresenta a volumetria, a planta e a configuração dos ambientes considerados e a Figura 4 as perspectivas do modelo.

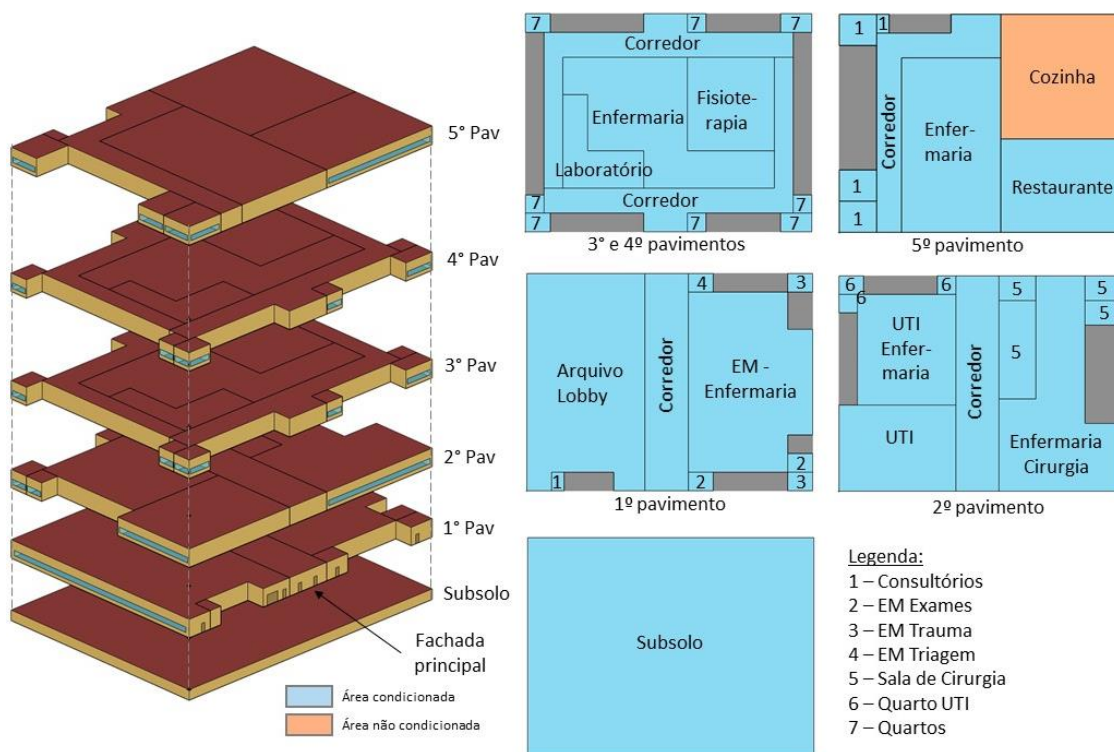


Figura 3 – Volumetria e configuração da planta do arquétipo para a edificação geral.

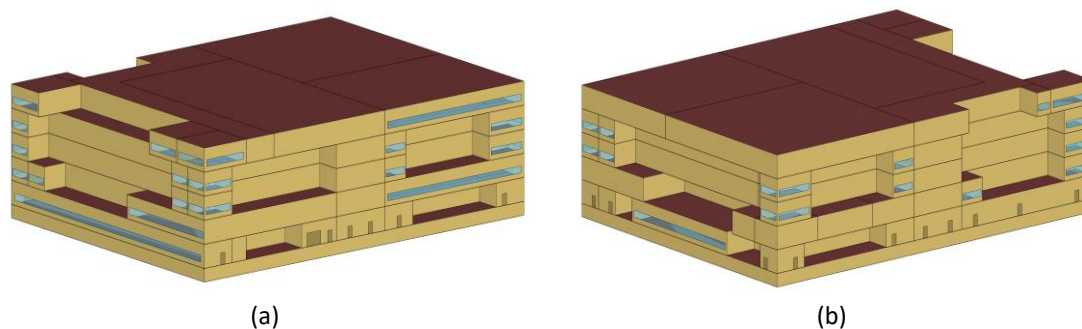


Figura 4 – Perspectiva da volumetria da edificação (a) frente e lateral esquerda e (b) fundos e lateral direita

A representatividade de cada tipo de ambiente em relação à área total do arquétipo é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Áreas dos ambientes considerados

Ambiente	Quantidade	Área total (m ²)	Percentual na área total
Corredores	7	3906,6	19,6%
Enfermarias	3	2852,1	14,3%
Emergência	6	1375,0	6,9%
UTI	5	1356,4	6,8%
Centro Cirúrgico	5	1402,8	7,0%
Exames/Laboratório	4	1505,0	7,5%
Consultórios	5	306,6	1,5%
Quartos individuais/coletivos	16	415,3	2,1%
Demais áreas	4	6840,0	34,3%
TOTAL	55	19960	100%

4.2. ILUMINAÇÃO

No levantamento dos dados do projeto META foi identificada 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), com lâmpadas tipo LED e densidade de potência de iluminação (DPI) médio de 10,77 W/m², e um cenário menos eficiente (ILUM01), com lâmpadas fluorescentes e DPI médio de 17,81 W/m². Esses valores correspondem, respectivamente, a uma classe A e classe 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 mostra a distribuição do funcionamento da iluminação ao longo do dia para os dois principais esquemas de funcionamento do hospital, ininterrupto (24hs/7dias) e em horário comercial. As zonas com horário comercial funcionam com o mesmo esquema de segunda-feira à sábado.

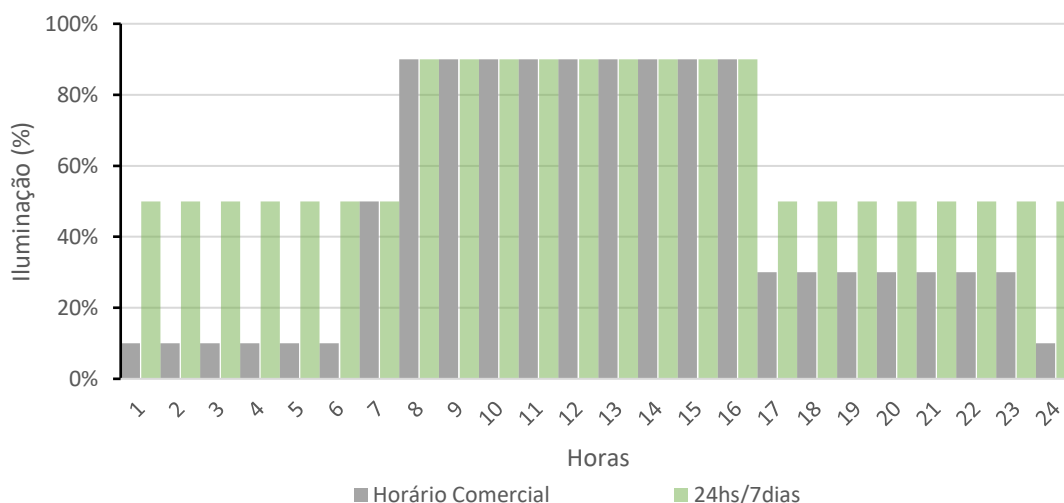


Figura 5 – Cronograma adotado para Iluminação

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 hospital. Foram definidos dois esquemas principais para o funcionamento e ocupação das zonas. Um primeiro ininterrupto, funcionando 24 horas e 7 dias por semana. E um segundo esquema, funcionando em horário comercial estendido, das 07:00 às 22:00 horas, de segunda-feira à sábado. A Figura 6 mostra a distribuição da ocupação ao longo do dia para os dois esquemas de funcionamento e ocupação definidos.

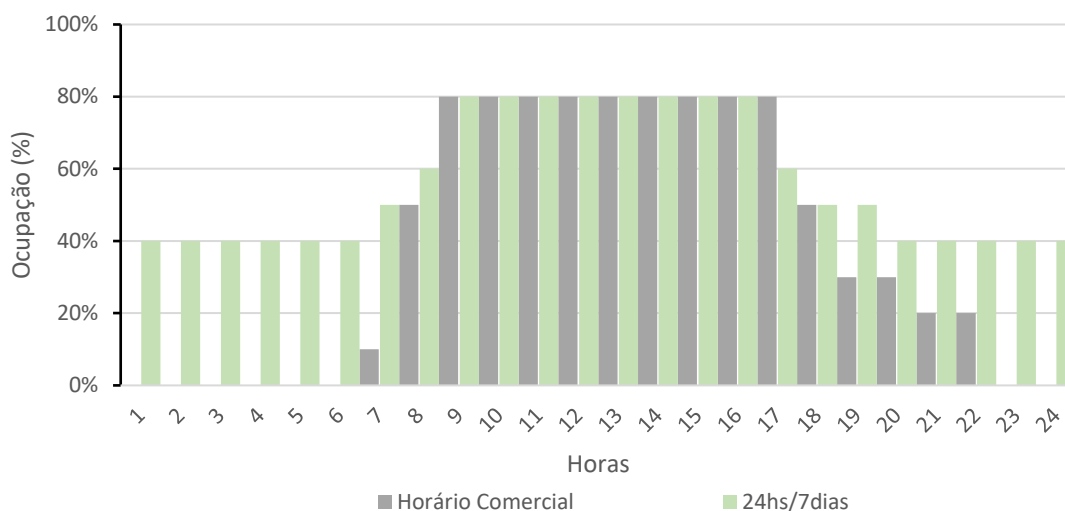


Figura 6 – Cronograma adotado para ocupação para cada tipo de ambiente

As densidades de carga dos equipamentos de tomada foram fixadas nas simulações, por tipo de ambiente, da seguinte maneira:

- Salas de exame – 16,0 W/m²
- Consultórios – 8,4 W/m²
- Cozinha – 81,8 W/m²
- Enfermarias – 12,7 W/m²
- Quartos – 23,1 W/m²
- Laboratórios – 43,0 W/m²
- Salas cirúrgicas – 43,1 W/m²
- Radiologia – 107,6 W/m²
- Restaurante – 10,8 W/m²
- UTI – 32,3 W/m²
- Áreas de apoio – 6,1 W/m²

4.4. SOMBREAMENTO E ORIENTAÇÃO SOLAR

As edificações típicas de hospitais foram consideradas isoladas, ou seja, sem entorno edificado com volumetria capaz de gerar sombreamento significativo nas mesmas. Deste modo, não foram considerados cenários de sombreamento de entorno.

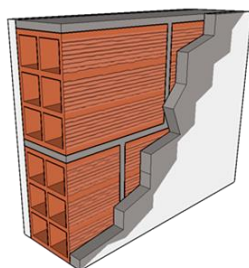
Pela simetria geral do arquétipo e distribuição uniforme das aberturas nas fachadas, não foram considerados cenários de orientação solar para essa tipologia.

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 há uma adesão cada vez maior para essa tipologia de edificações feitas com construção a seco (drywall). Portanto, foi definido um cenário de construção convencional com transmitância térmica das paredes de 2,50 W/m².K (ENVO01) e outro cenário de construção a seco, com

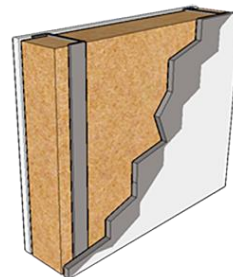
transmitância térmica das paredes de $0,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (ENVO02). Em ambos os casos, a transmitância térmica das coberturas foi considerada igual a $1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

A Figura 7 apresenta a composição dos sistemas de vedação vertical e de cobertura das envoltórias consideradas. É verificada também uma grande variação na cor do acabamento externo dessas edificações, influenciando diretamente na absorvância da 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.



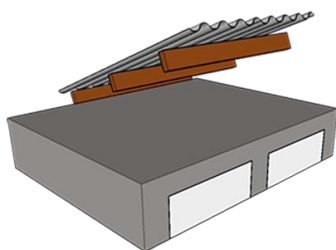
(a)

Transmitância térmica: $2,55 \text{ W/m}^2\text{K}$
Capacidade térmica: $100 \text{ kJ/m}^2\text{K}$
Atraso térmico: 2,2 h



(b)

Transmitância térmica: $0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$
Capacidade térmica: $32 \text{ kJ/m}^2\text{K}$



(c)

Transmitância térmica: $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Capacidade térmica: $238 \text{ kJ/m}^2\text{K}$
Atraso térmico: 8,7 h

Figura 7 – Elementos construtivos de referência para Paredes – ENVO01(a), ENVO02(b) e Cobertura de ambos os cenários (c)

Em relação ao tipo de vidro foi utilizado um vidro com um nível de controle solar baixo, porém melhor que o vidro comum transparente, com valor U de $5,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e com 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 *EnergyPlys*, versão 9.2. O modelo foi simulado utilizando arquivos climáticos do tipo INMET¹ 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

¹ Disponível em: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html

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.

Tabela 3 – Cenário considerado para cálculo de carga térmica

Variável	Cenário
Iluminação	ILUM01
Envoltória	ENVO01
Absortância à radiação solar	ASOLO1

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 tendo como 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 Bioclimática	Carga Térmica (TR)
Campos do Jordão	SP	1	373,97
São Paulo	SP	3	370,83
Porto Alegre	RS	3	473,29
Campinas	SP	3	378,14
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	493,79
Vitória	ES	8	492,03
Recife*	PE	8	550,23
Fortaleza	CE	8	486,93

* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi Recife, com 550,23 TR, sendo 13% desta demanda é para atender os corredores, 22,1% as enfermarias,

13,2% as áreas de emergência, 3,0% as áreas de UTI, 15,4% o centro cirúrgico, 12,5% as zonas de exames/laboratórios, 2,3% os consultórios, 5,4% os quartos e 13,6% as demais áreas. Dessa forma, o arquivo climático de Recife foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de condicionamento de ar considerado no arquétipo.

Foram considerados três cenários para a variável AVAC. Um sistema unitário do tipo Split (EER de 3,24W/W); sistemas centrais VRF (EER de 4,06W/W, 4,21W/W, 4,24W/W, 4,26W/W, 4,41W/W, e 4,69W/W); e o terceiro cenário um sistema central com volume de ar constante (VAC) com dois chillers condensados à ar com EER de 3,08W/W. Em todos os cenários as zonas de UTI, Centro Cirúrgico e Radiologia foram climatizadas por um sistema central com volume de ar variável (VAV) com um chiller condensado à ar e EER de 2,96W/W.

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, e as edificações de saúde também tem valores específicos para determinados usos definidos pela norma técnica ABNT NBR 7256. Devido à natureza da edificação e a fiscalização mais presente, não foi considerado cenário sem renovação de ar.

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, 8 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 PBE classe D (DPI médio de 17,81W/m ²)
	ILUM02	Iluminação PBE classe A (DPI médio de 10,77W/m ²)
Envoltória	ENVO01	Upar = 2,50 W/m ² .K; Ucob = 1,00 W/m ² .K
	ENVO02	Upar = 0,53 W/m ² .K; Ucob = 1,00 W/m ² .K
Absortância da parede externa	ASOLO1	Parede escura. Absortância = 0,70
	ASOLO2	Parede clara. Absortância = 0,30
AVAC	Split	EER = 3,24W/W
	VRF	Sistema VRF (EER = 4,06W/W, 4,21W/W, 4,24W/W, 4,26W/W, 4,41W/W, e 4,69W/W)
	Chiller	Sistema central chiller condensado à ar (EER = 3,08W/W)

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 divididos 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 tomografia, ressonância magnética, salas de isolamento, salas de parto, maternidade e unidade de tratamento intensivos neonatal, entre outras, que podem possuir cargas especiais, não foi modelada no arquétipo. 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), envoltória (ENVO), cor da fachada (ASOL) e tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC). 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.

As análises foram divididas pelos tipos de uso dos espaços mais específicos como Centro cirúrgico, Leitos de UTI, Leitos comuns, Exames/laboratórios e demais áreas. Ao fazer essa divisão pretende-se que o usuário das equações de *benchmark* possa determinar a quantidade de cada uma dessas áreas e assim obter uma análise ajustada para sua realidade. Os centros cirúrgicos são compostos pelas salas de cirurgia, propriamente ditas, e pelas áreas de preparo dos pacientes para cirurgia e de observação, logo após os procedimentos cirúrgicos. Os leitos de UTI são compostos pelas áreas de enfermaria, leitos conjuntos e quartos individuais. Já os leitos comuns são compostos pelas áreas de enfermarias coletivas, quartos individuais e compartilhados. As salas de laboratórios são compostas pelas áreas de exames laboratoriais e específicos como radiologia, ressonância magnética, dentre outros exames.

6.1. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

6.1.1. CENTRO CIRÚRGICO

Pelos gráficos das Figura 8 e Figura 9, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA e ILUM. As variações dos parâmetros AVAC, ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

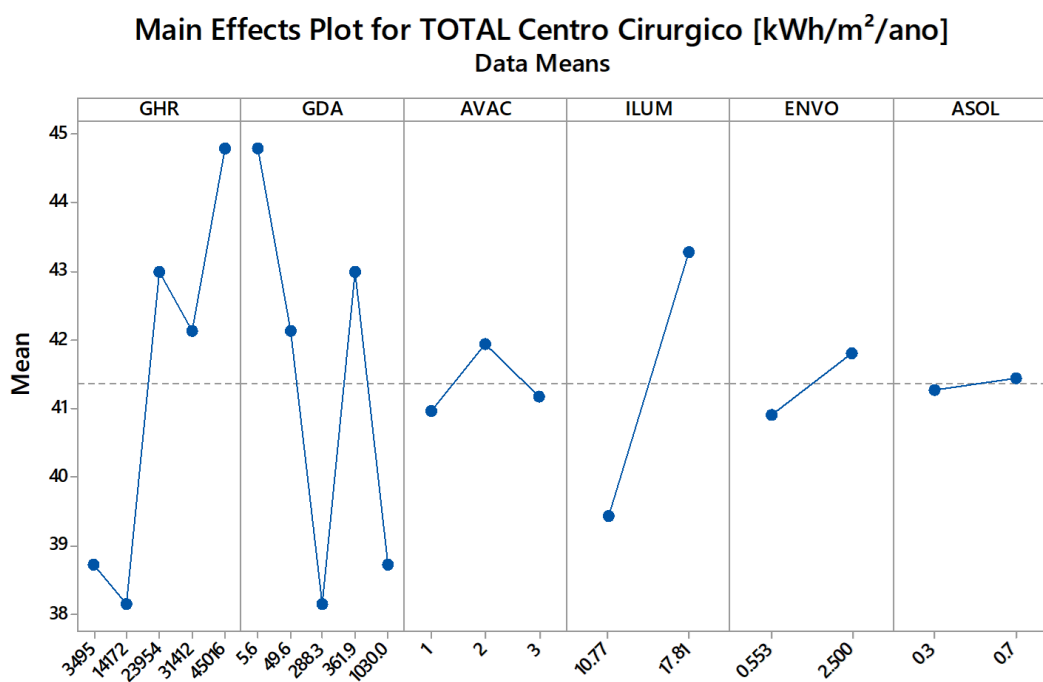


Figura 8 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

Interaction Plot for TOTAL Centro Cirurgico [kWh/m²/ano] Data Means

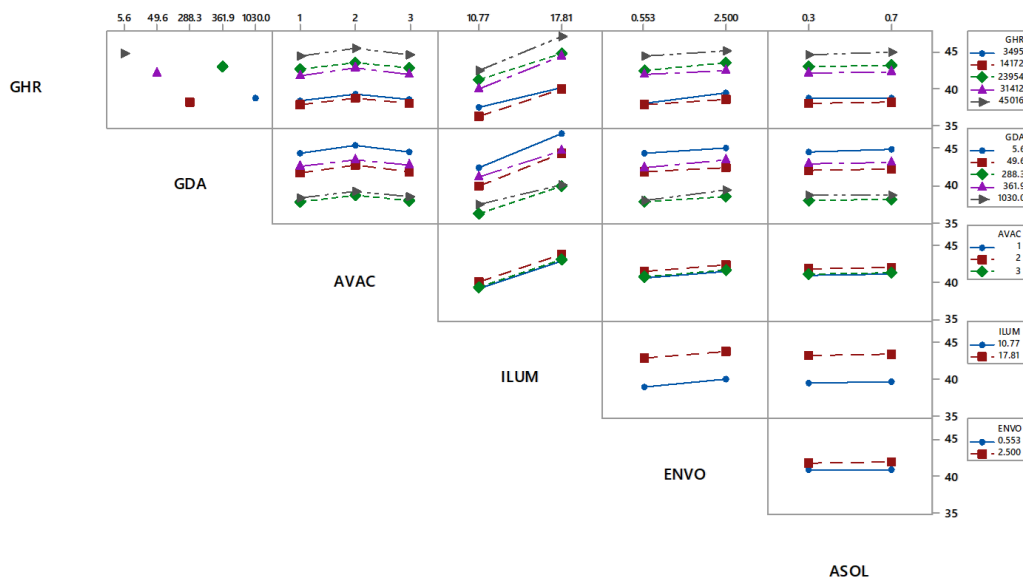


Figura 9 - Interação entre os parâmetros

6.1.2. LEITOS DE UTI

Por meio das Figura 10 e Figura 11, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA e ILUM. As variações dos parâmetros AVAC, ASOL e ENVO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

Main Effects Plot for TOTAL Leitos de UTI [kWh/m²/ano] Data Means

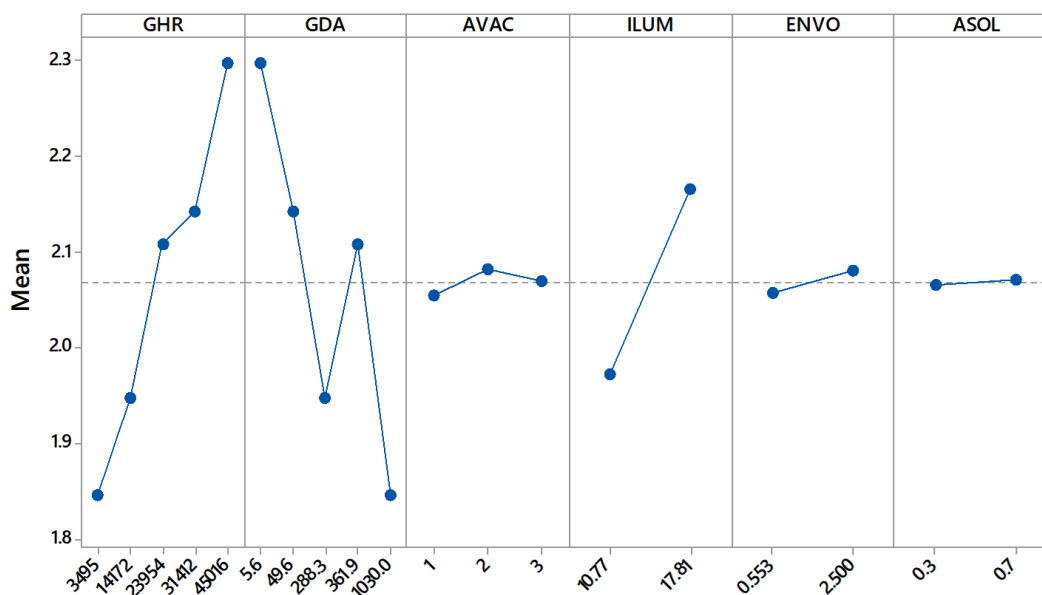


Figura 10 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

Interaction Plot for TOTAL Leitos de UTI [kWh/m²/ano] Data Means

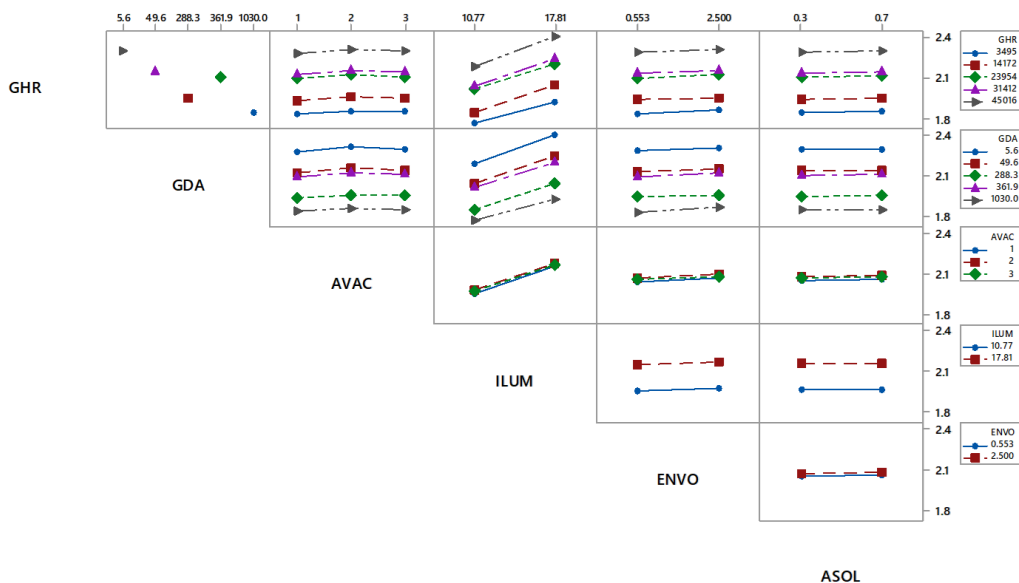


Figura 11 - Interação entre os parâmetros

6.1.3. LEITOS COMUNS

Por meio das Figura 12 e Figura 13, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, ILUM e AVAC. As variações dos parâmetros ASOL e ENVO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

Main Effects Plot for TOTAL Leitos Comuns [kWh/m²/ano] Data Means

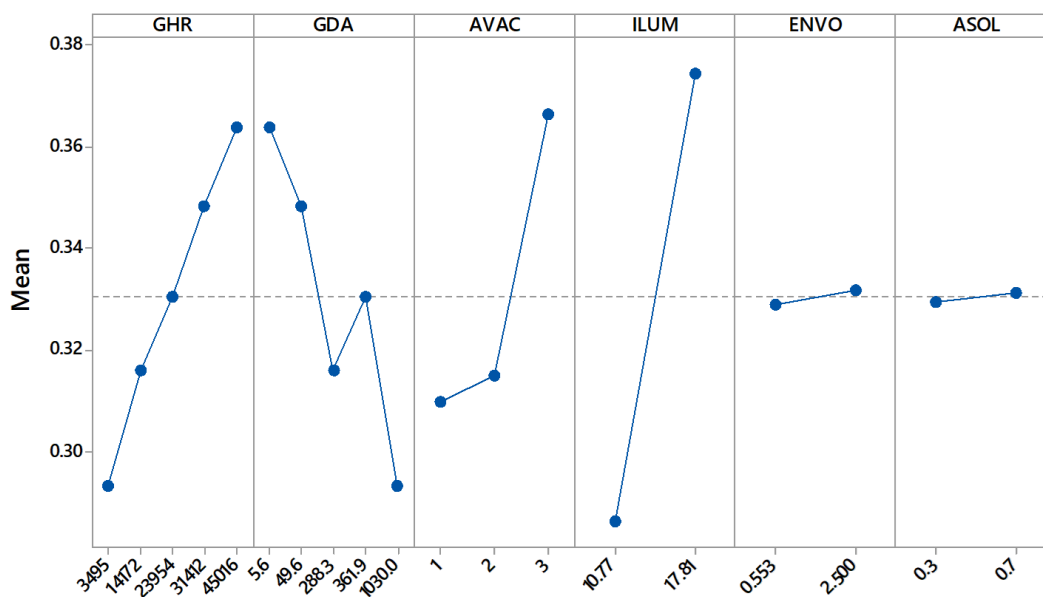


Figura 12 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

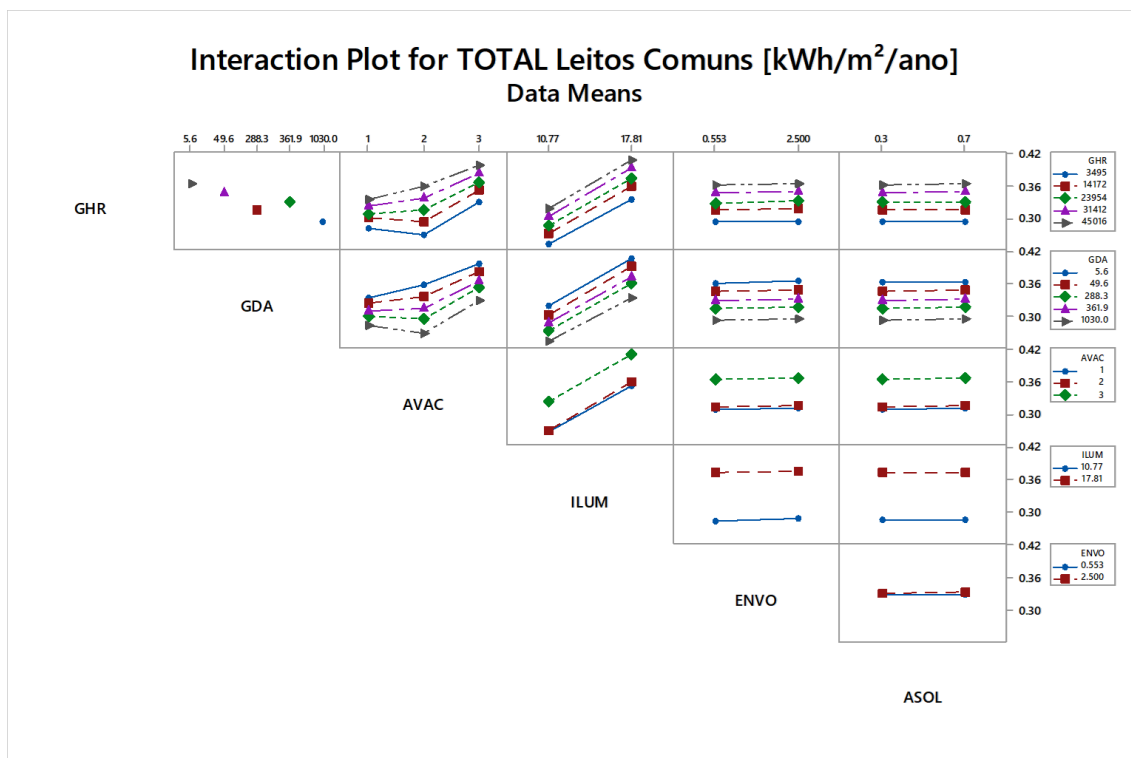


Figura 13 - Interação entre os parâmetros

6.1.4. EXAMES E LABORATÓRIOS

Por meio das Figura 14 e Figura 15, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, ILUM, AVAC e ENVO. . As variações do parâmetro ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

Main Effects Plot for TOTAL Exames/Laboratorio [kWh/m²/ano]
Data Means

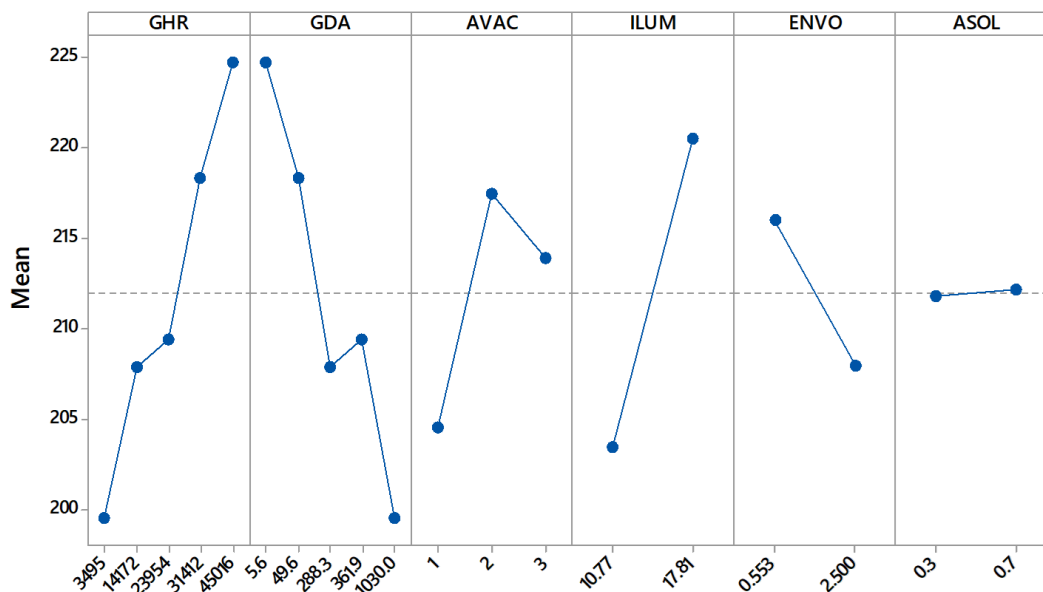


Figura 14 - Efeito os parâmetros no consumo de energia

Interaction Plot for TOTAL Exames/Laboratorio [kWh/m²/ano]
Data Means

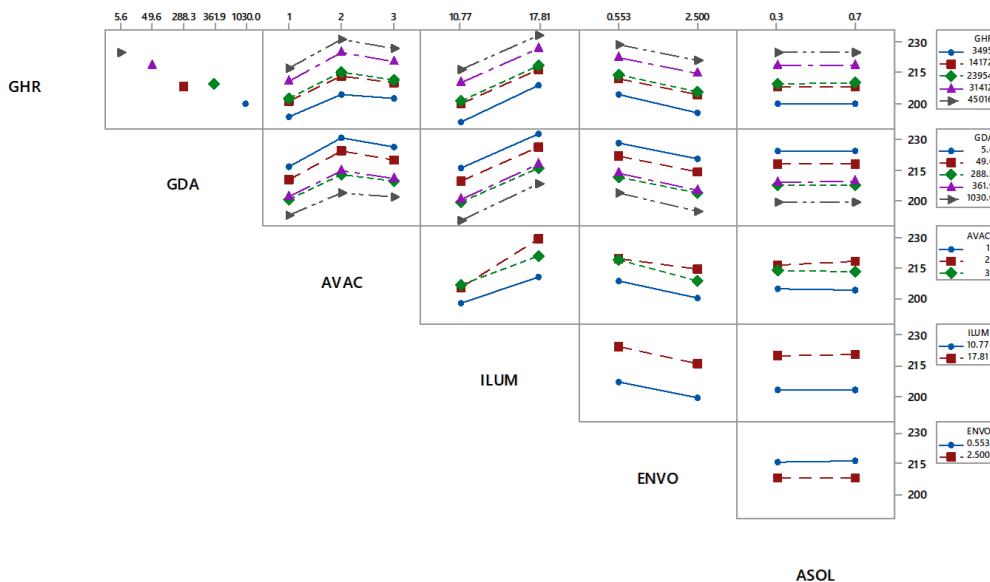


Figura 15 - Interação entre os parâmetros

6.1.5. DEMAIS ÁREAS

Por meio das Figura 16 e Figura 17, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, ILUM e AVAC. As variações dos parâmetros ASOL e ENVO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

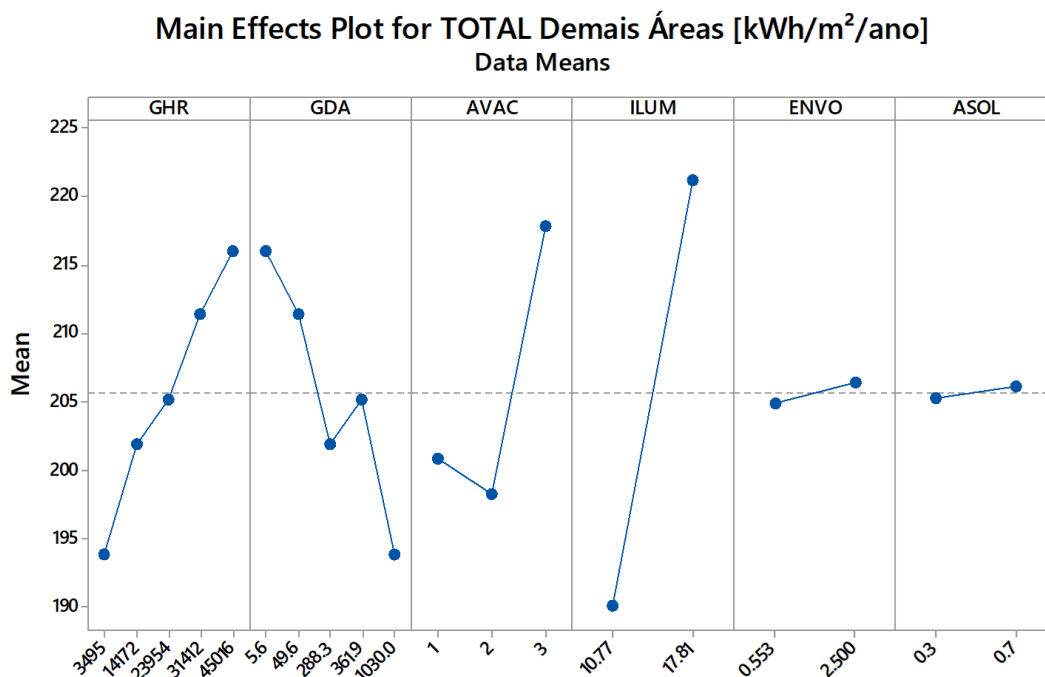


Figura 16 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

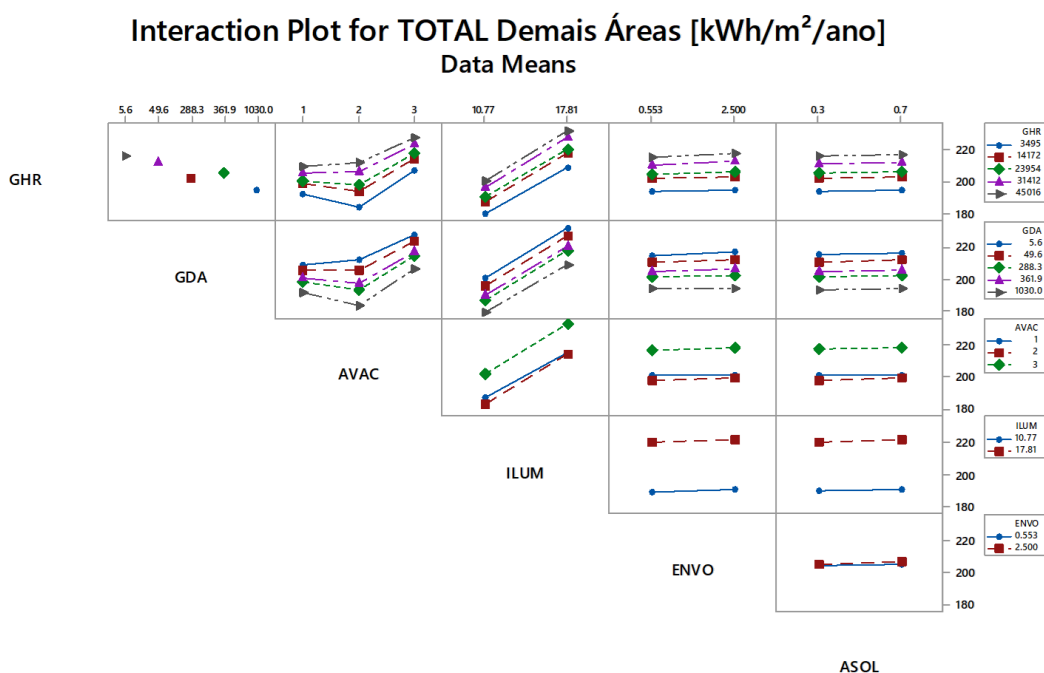


Figura 17 - Interação entre os parâmetros

6.2. ANÁLISES EM CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

6.2.1. CENTRO CIRÚRGICO

Por meio das Figuras 18 e 19, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR e ILUM. As variações dos parâmetros AVAC, ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

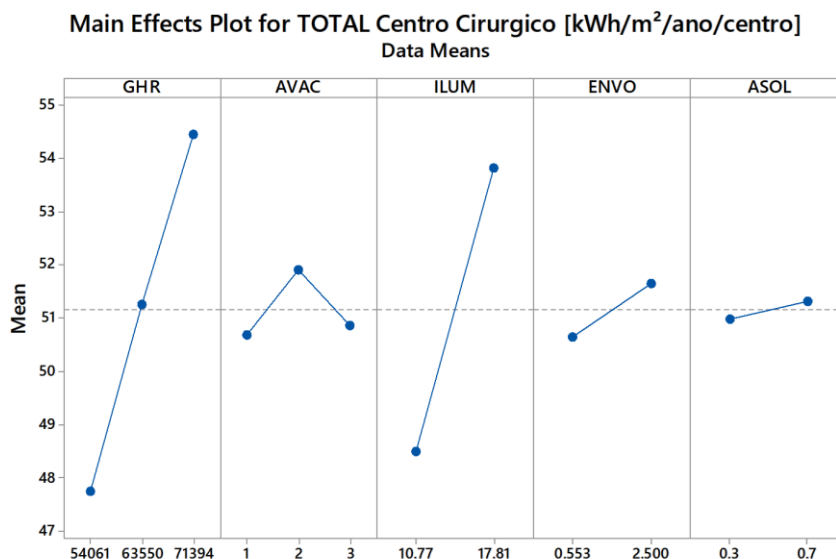


Figura 18 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

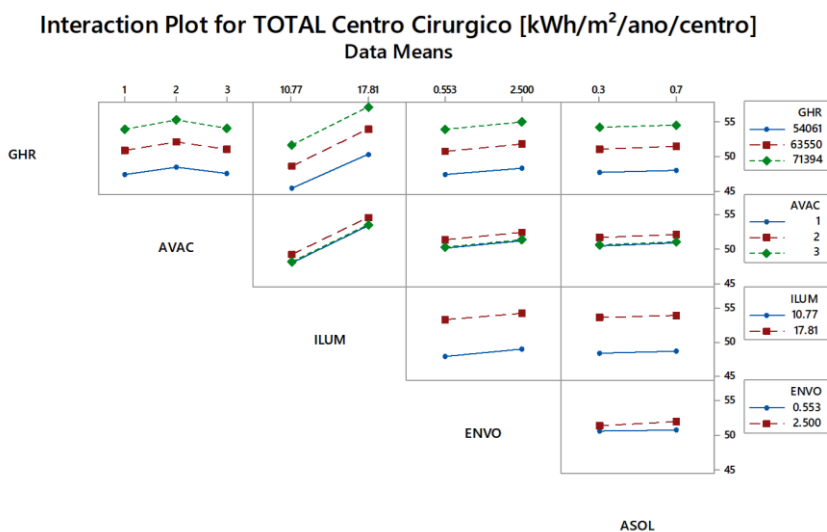


Figura 19 - Interação entre os parâmetros

6.2.2. LEITOS DE UTI

Por meio das Figuras 20 e 21, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC e ILUM. As variações dos parâmetros ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

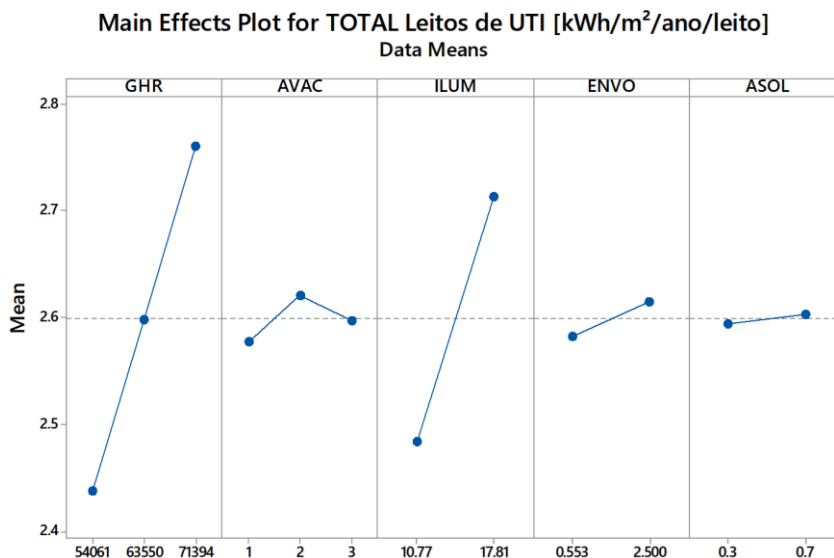


Figura 20 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

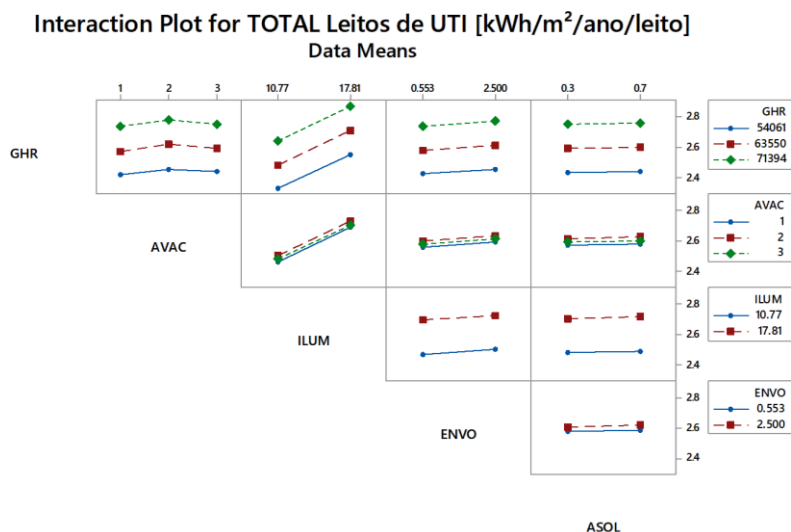


Figura 21 - Interação entre os parâmetros

6.2.3. LEITOS COMUNS

Por meio das Figuras 22 e 23, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC e ILUM. As variações dos parâmetros ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

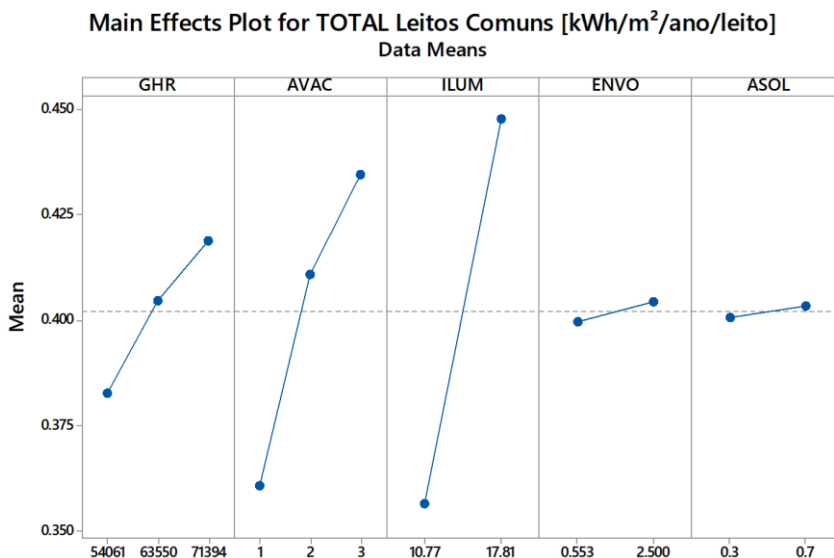


Figura 22 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

Interaction Plot for TOTAL Leitos Comuns [kWh/m²/ano/leito]

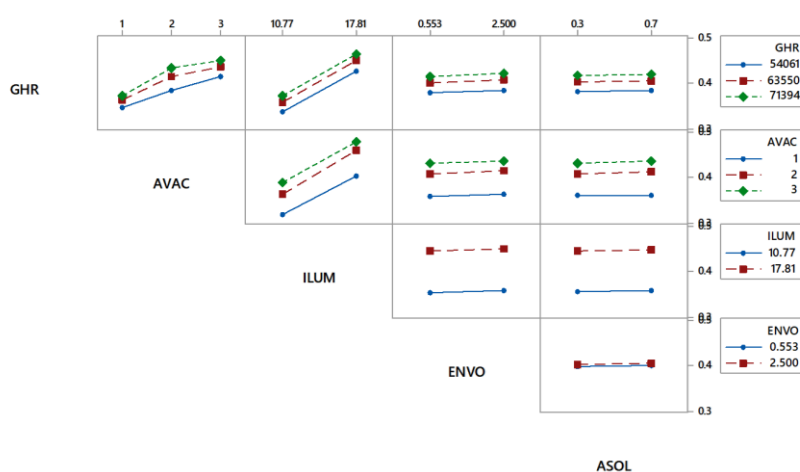


Figura 23 - Interação entre os parâmetros

6.2.4. EXAMES E LABORATÓRIOS

Por meio das Figuras 24 e 25, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC, ILUM e ENVO. A variação do parâmetro ASOL teve um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

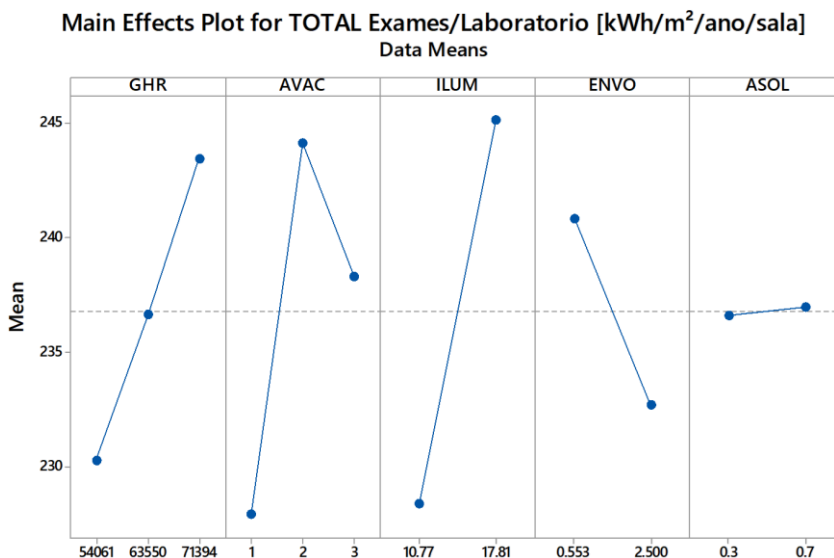


Figura 24 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

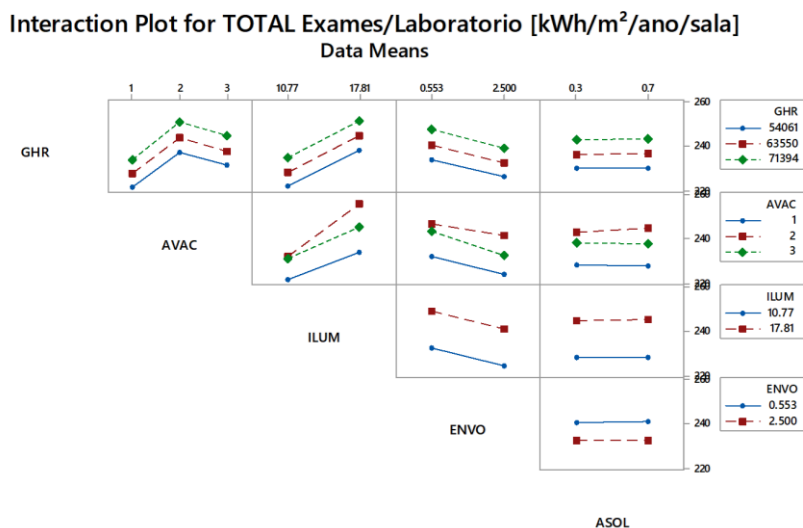


Figura 25 - Interação entre os parâmetros

6.2.5. DEMAIS ÁREAS

Por meio das Figuras 26 e 27, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC e ILUM. As variações dos parâmetros ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

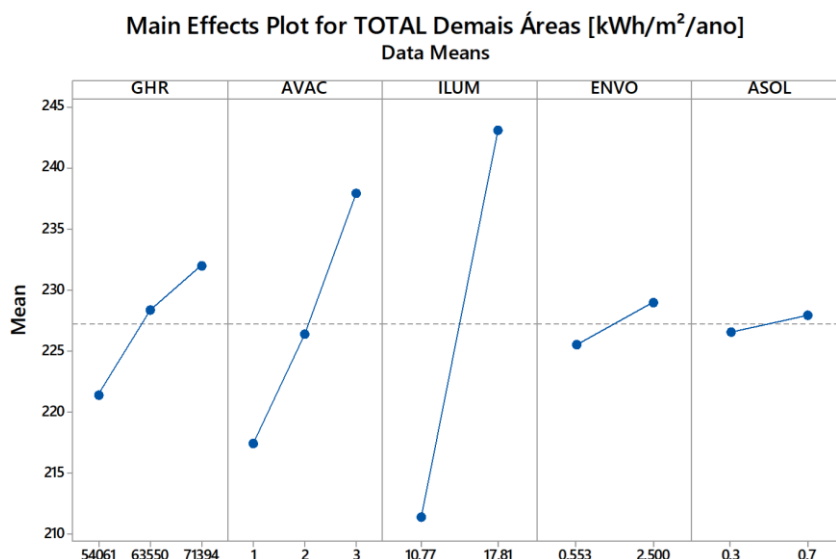


Figura 26 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

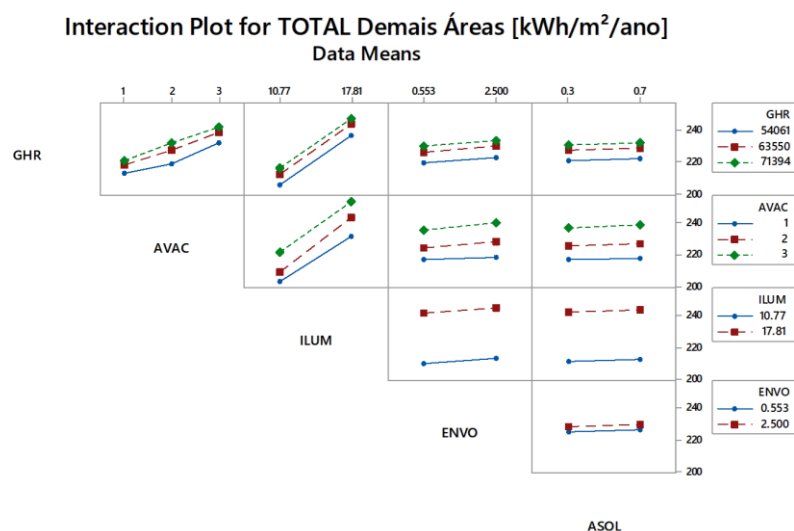


Figura 27 - Interação entre os parâmetros

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, ILUM, ENVO e AVAC.

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 condicionamento de ar. A Tabela 7 ilustra o impacto no consumo de energia do sistema AVAC ao substituir o sistema de iluminação no padrão PBE classe D (17,81W/m²) para um PBE classe A (10,77W/m²), 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

Modelo base	AVAC: Sistema Split (EER =3,24W/W)		
	Iluminação: Parâmetro analisado		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α : 0,7		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²] Parâmetro analisado: Iluminação		Variação no consumo de AVAC
	PBE classe D	PBE classe A	
Campos do Jordão	33,91	25,44	-25,0%
São Paulo	50,95	40,80	-19,9%
Porto Alegre	59,25	49,43	-16,6%
Campinas	72,47	61,12	-15,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	84,06	72,17	-14,2%
Vitória	96,45	84,27	-12,6%
Recife	111,81	99,29	-11,2%
Fortaleza	121,25	108,51	-10,5%

Há também uma variação no consumo de energia dependendo da composição da envoltória. Quanto maior for a transmitância térmica (U), maior será a transmissão de calor pelo sistema, tanto para o ambiente interno ganhar ou perder calor. A Tabela 8 apresenta a diferença no consumo de energia de acordo com a absortância das fachadas.

Tabela 8 – Impacto da envoltória no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Sistema split (EER =3,24W/W)		
	Iluminação: PBE classe A (10,77 W/m ²)		
	Envoltória: Parâmetro analisado		
	Absortância: Cor escura. α : 0,7		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²] Parâmetro analisado: Envoltória		Variação no consumo de AVAC
	Upar: 2,5 / Ucob: 1,0	Upar: 0,53 / Ucob: 1,0	
Campos do Jordão	25,44	25,75	1,2%
São Paulo	40,80	40,04	-1,9%
Porto Alegre	49,43	47,84	-3,2%
Campinas	61,12	59,02	-3,4%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	72,17	69,27	-4,0%
Vitória	84,27	80,69	-4,2%
Recife	99,29	94,50	-4,8%
Fortaleza	108,51	104,04	-4,1%

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 9 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 implantar, e do sistema central com Chiller à ar, que apresentou o pior desempenho dentre os sistemas. Este parâmetro foi utilizado para construir a equação de *benchmark*.

Tabela 9 – Impacto do tipo de sistema AVAC no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Parâmetro analisado		
	Iluminação: PBE classe D (17,81 W/m ²)		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α: 0,7		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²] Parâmetro analisado: sistema AVAC		Variação no consumo de AVAC
	Central VRF	Split Individual	
Campos do Jordão	36,75	33,91	-7,7%
São Paulo	49,08	50,95	3,8%
Porto Alegre	54,34	59,25	9,0%
Campinas	63,15	72,47	14,8%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	71,26	84,06	18,0%
Vitória	79,49	96,45	21,3%
Recife	89,10	111,81	25,5%
Fortaleza	96,21	121,25	26,0%
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²] Parâmetro analisado: sistema AVAC		Variação no consumo de AVAC
	Central VRF	Central Chiller à ar	
Campos do Jordão	36,75	54,09	47,2%
São Paulo	49,08	69,41	41,4%
Porto Alegre	54,34	75,48	38,9%
Campinas	63,15	86,32	36,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	71,26	95,00	33,3%
Vitória	79,49	104,84	31,9%
Recife	89,10	116,94	31,2%
Fortaleza	96,21	124,84	29,8%

7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia da tipologia de **Hospital**, 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 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 – Centro Cirúrgico

Candidate terms: logGHR, logGDA, ILUM, ENVO

	----Step 1----		-----Step 2----		-----Step 3----		-----Step 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	18.87		11.09		20.74		20.02	
logGHR	5.298	0.000	5.298	0.000	3.537	0.000	3.537	0.000
ILUM			0.5450	0.000	0.5450	0.000	0.5450	0.000
logGDA					-1.041	0.002	-1.041	0.001
ENVO							0.468	0.002
S	2.56823		1.69649		1.63501		1.57470	
R-sq	39.34%		73.75%		75.83%		77.77%	
R-sq(adj)	38.82%		73.31%		75.21%		77.00%	
R-sq(pred)	37.54%		72.51%		74.38%		76.07%	
Mallows' Cp	197.87		21.80		13.05		5.00	

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	997.83	249.458	100.60	0.000
logGHR	1	72.79	72.791	29.35	0.000
logGDA	1	26.64	26.636	10.74	0.001
ILUM	1	441.57	441.572	178.08	0.000
ENVO	1	24.93	24.932	10.05	0.002
Error	115	285.16	2.480		
Lack-of-Fit	15	262.62	17.508	77.64	0.000
Pure Error	100	22.55	0.225		
Total	119	1283.00			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.57470	77.77%	77.00%	76.07%

Equação de Regressão

Consumo Centro Cirúrgico [kWh/m²/ano/centro] = -20.02 + 3.537*logGHR - 1.041*logGDA + 0.545*ILUM + 0.468*ENVO

Análise dos parâmetros – Leitos UTI

Candidate terms: logGHR, logGDA, ILUM

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	0.454		0.0601		0.8451	
logGHR	0.3804	0.000	0.3804	0.000	0.2373	0.000
ILUM			0.02757	0.000	0.02757	0.000
logGDA					-0.08469	0.000
S	0.114606		0.0598941		0.0458216	
R-sq	62.67%		89.89%		94.13%	
R-sq(adj)	62.36%		89.72%		93.98%	
R-sq(pred)	61.48%		89.38%		93.78%	
Mallows' Cp	622.17		85.90		4.00	

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	3.90856	1.30285	620.52	0.000
logGHR	1	0.32744	0.32744	155.95	0.000
logGDA	1	0.17616	0.17616	83.90	0.000
ILUM	1	1.13016	1.13016	538.27	0.000
Error	116	0.24356	0.00210		
Lack-of-Fit	6	0.20674	0.03446	102.94	0.000
Pure Error	110	0.03682	0.00033		
Total	119	4.15211			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0458216	94.13%	93.98%	93.78%

Equação de Regressão

Consumo Leitos de UTI [kWh/m²/ano/leito] = 0.8451 + 0.2373*logGHR - 0.08469*logGDA + 0.02757*ILUM

Análise dos parâmetros – Leitos comuns

Candidate terms: logGHR, logGDA, ILUM, AVAC

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	0.1518		-0.1060		-0.1625	
ILUM	0.012505	0.000	0.012505	0.000	0.012505	0.000
logGHR			0.06072	0.000	0.06072	0.000
AVAC					0.02826	0.000
logGDA						
S	0.0362792		0.0275829		0.0147165	
R-sq	59.95%		77.05%		93.52%	
R-sq(adj)	59.61%		76.65%		93.35%	
R-sq(pred)	58.58%		75.85%		93.08%	
Mallows' Cp	766.72		391.93		30.79	
	-----Step 4-----					
	Coef	P				
Constant	-0.0317					
ILUM	0.012505	0.000				
logGHR	0.03687	0.000				
AVAC	0.02826	0.000				
logGDA	-0.01411	0.000				
S	0.0132644					
R-sq	94.78%					
R-sq(adj)	94.60%					
R-sq(pred)	94.35%					
Mallows' Cp	5.00					

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	0.367588	0.091897	522.31	0.000
logGHR	1	0.007907	0.007907	44.94	0.000
logGDA	1	0.004889	0.004889	27.79	0.000
ILUM	1	0.232512	0.232512	1321.51	0.000
AVAC	1	0.063892	0.063892	363.14	0.000
Error	115	0.020234	0.000176		
Lack-of-Fit	25	0.019869	0.000795	196.23	0.000
Pure Error	90	0.000365	0.000004		
Total	119	0.387821			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0132644	94.78%	94.60%	94.35%

Equação de Regressão

Consumo Leitos de comuns [kWh/m²/ano/leito] = -0.0317 + 0.03687*logGHR - 0.01411*logGDA + 0.012505*ILUM + 0.02826*AVAC

Análise dos parâmetros – Exames e Laboratórios

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

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	177.34		199.72		206.07		196.70	
ILUM	2.423	0.000	2.423	0.000	2.423	0.000	2.423	0.000
logGDA			-10.684	0.000	-10.684	0.000	-10.684	0.000
ENVO					-4.155	0.000	-4.155	0.000
AVAC							4.686	0.000
logGHR								
S		11.5209		7.73173		6.58549		5.33573
R-sq		35.79%		71.33%		79.38%		86.58%
R-sq(adj)		35.25%		70.84%		78.84%		86.11%
R-sq(pred)		33.60%		69.81%		77.90%		85.47%
Mallows' Cp		508.09		164.70		88.46		20.46
	-----Step 5-----							
	Coef	P						
Constant	153.9							
ILUM	2.423	0.000						
logGDA	-7.31	0.000						
ENVO	-4.155	0.000						
AVAC	4.686	0.000						
logGHR	8.43	0.000						
S		5.00959						
R-sq		88.27%						
R-sq(adj)		87.76%						
R-sq(pred)		87.12%						
Mallows' Cp		6.00						

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	21531.8	4306.36	171.60	0.000
logGHR	1	413.1	413.11	16.46	0.000
logGDA	1	1312.8	1312.78	52.31	0.000
ILUM	1	8730.5	8730.54	347.89	0.000
AVAC	1	1756.7	1756.70	70.00	0.000
ENVO	1	1963.5	1963.46	78.24	0.000
Error	114	2860.9	25.10		
Lack-of-Fit	54	2814.0	52.11	66.54	0.000
Pure Error	60	47.0	0.78		
Total	119	24392.7			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.00959	88.27%	87.76%	87.12%

Equação de Regressão

Consumo Exames e laboratórios [kWh/m²/ano/sala] = 153.9 + 8.43*logGHR - 7.31*logGDA + 2.423*ILUM + 4.686*AVAC - 4.155*ENVO

Análise dos parâmetros – Demais áreas

Candidate terms: logGHR, logGDA, ILUM, AVAC

	----Step 1----		----Step 2----		----Step 3----		----Step 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	142.61		61.96		44.99		87.1	
ILUM	4.412	0.000	4.412	0.000	4.412	0.000	4.412	0.000
logGHR			19.00	0.000	19.00	0.000	11.32	0.000
AVAC					8.487	0.000	8.487	0.000
logGDA							-4.55	0.000
S		11.8624		9.29715		6.12405		5.78067
R-sq		63.55%		77.80%		90.45%		91.56%
R-sq(adj)		63.24%		77.42%		90.20%		91.27%
R-sq(pred)		62.30%		76.62%		89.81%		90.87%
Mallows' Cp		380.90		188.64		18.19		5.00

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	41708.8	10427.2	312.04	0.000
logGHR	1	744.8	744.8	22.29	0.000
logGDA	1	507.6	507.6	15.19	0.000
ILUM	1	28947.2	28947.2	866.26	0.000
AVAC	1	5762.7	5762.7	172.45	0.000
Error	115	3842.9	33.4		
Lack-of-Fit	25	3715.7	148.6	105.15	0.000
Pure Error	90	127.2	1.4		
Total	119	45551.7			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.78067	91.56%	91.27%	90.87%

Equação de Regressão

Consumo Demais áreas [kWh/m²/ano] = 87.1 + 11.32*logGHR - 4.55*logGDA + 8.487*AVAC + 4.412*ILUM

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR MENORES QUE 54 MIL

$$\text{CONSUMO FINAL [kWh/m}^2\text{/ano]} = (((-20,02 + 3,537 \cdot \log \text{GHR} - 1,041 \cdot \log \text{GDA} + 0,545 \cdot \text{ILUM} + 0,468 \cdot \text{ENVO}) \cdot \text{n}^\circ \text{ de centros cirúrgicos} \cdot \text{área média do centro cirúrgico}) + ((0,8451 + 0,2373 \cdot \log \text{GHR} - 0,08469 \cdot \log \text{GDA} + 0,02757 \cdot \text{ILUM}) \cdot \text{n}^\circ \text{ de leitos de UTI} \cdot \text{área média por leito de UTI}) + ((-0,0317 + 0,03687 \cdot \log \text{GHR} - 0,01411 \cdot \log \text{GDA} + 0,012505 \cdot \text{ILUM} + 0,02826 \cdot \text{AVAC}) \cdot \text{n}^\circ \text{ de leitos comuns} \cdot \text{área média por leito comum}) + ((153,9 + 8,43 \cdot \log \text{GHR} - 7,31 \cdot \log \text{GDA} + 2,423 \cdot \text{ILUM} + 4,686 \cdot \text{AVAC} - 4,155 \cdot \text{ENVO}) \cdot \text{n}^\circ \text{ salas de exames} \cdot \text{área média das salas de exames}) + ((87,1 + 11,32 \cdot \log \text{GHR} - 4,55 \cdot \log \text{GDA} + 8,487 \cdot \text{AVAC} + 4,412 \cdot \text{ILUM}) \cdot \text{área das demais áreas}))/\text{área total do hospital}$$

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 – Central Chiller)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²)

ENVO – Transmitância térmica das paredes externas (valores entre 0,53 e 2,50 W/m².K)

N° de centros cirúrgicos - quantidade de unidades de centro cirúrgico

Área média do centro cirúrgico - média das áreas das unidades de centro cirúrgico

Número de leitos de UTI - quantidade total de leitos de UTI

Área média por leito de UTI – média das áreas de cada configuração de leito de UTI

N° de leitos comuns - quantidade total de leitos das Enfermarias e Quartos

Área média por leito comum - média das áreas de cada configuração de leito comum

N° salas de exames - quantidade total de salas de exame

Área média das salas de exames – média das áreas de todas as salas de exame

Área das demais áreas – somatória de todas as demais dependências do hospital

Área total do hospital – somatória de todas as áreas anteriores

7.2. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Análise dos parâmetros – Centro cirúrgico

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	-213.1		-223.91		-224.69	
logGHR	55.10	0.000	55.10	0.000	55.10	0.000
ILUM			0.7540	0.000	0.7540	0.000
ENVO					0.5137	0.000
S	2.80857		0.807526		0.629955	
R-sq	49.26%		95.87%		97.52%	
R-sq (adj)	48.54%		95.75%		97.41%	
R-sq (pred)	46.35%		95.51%		97.22%	
Mallows' Cp	1320.93		47.18		3.88	

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1061.30	353.768	891.45	0.000
logGHR	1	536.13	536.125	1350.97	0.000
ILUM	1	507.17	507.170	1278.01	0.000
ENVO	1	18.01	18.009	45.38	0.000
Error	68	26.99	0.397		
Lack-of-Fit	32	23.93	0.748	8.80	0.000
Pure Error	36	3.06	0.085		
Total	71	1088.29			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.629955	97.52%	97.41%	97.22%

Equação de Regressão

Consumo Centro Cirúrgico [kWh/m²/ano/centro] = -224.69 + 55.10*logGHR + 0.754*ILUM + 0.5137*ENVO

Análise dos parâmetros – Leitos UTI

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	-10.08		-10.548		-10.567	
logGHR	2.644	0.000	2.6435	0.000	2.6435	0.000
ILUM			0.032663	0.000	0.032663	0.000
AVAC					0.00964	0.018
S		0.120003		0.0285520		0.0275965
R-sq		55.04%		97.49%		97.69%
R-sq (adj)		54.40%		97.42%		97.59%
R-sq (pred)		52.45%		97.28%		97.44%
Mallows' Cp		1255.64		7.86		4.00

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	2.19037	0.73012	958.71	0.000
logGHR	1	1.23411	1.23411	1620.49	0.000
AVAC	1	0.00446	0.00446	5.86	0.018
ILUM	1	0.95179	0.95179	1249.78	0.000
Error	68	0.05179	0.00076		
Lack-of-Fit	14	0.03037	0.00217	5.47	0.000
Pure Error	54	0.02142	0.00040		
Total	71	2.24215			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0275965	97.69%	97.59%	97.44%

Equação de Regressão

Consumo Leitos de UTI [kWh/m²/ano/leito] = -10.567 + 2.6435*logGHR + 0.00964*AVAC + 0.032663*ILUM

Análise dos parâmetros – Leitos comuns

Candidate terms: logGHR, AVAC, ILUM

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	0.2166		0.1426		-1.306	
ILUM	0.01298	0.000	0.012985	0.000	0.012985	0.000
AVAC			0.03697	0.000	0.03697	0.000
logGHR					0.3020	0.000
S	0.0352606		0.0176165		0.0088315	
R-sq	63.35%		90.98%		97.77%	
R-sq(adj)	62.82%		90.72%		97.67%	
R-sq(pred)	61.22%		90.28%		97.53%	
Mallows' Cp	1047.85		208.54		4.00	

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0.232141	0.077380	992.11	0.000
logGHR	1	0.016110	0.016110	206.54	0.000
AVAC	1	0.065618	0.065618	841.30	0.000
ILUM	1	0.150413	0.150413	1928.47	0.000
Error	68	0.005304	0.000078		
Lack-of-Fit	14	0.004698	0.000336	29.91	0.000
Pure Error	54	0.000606	0.000011		
Total	71	0.237445			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0088315	97.77%	97.67%	97.53%

Equação de Regressão

Consumo Leitões de comuns [kWh/m²/ano/leito] = -1.306 + 0.302*logGHR + 0.03697*AVAC + 0.012985*ILUM

Análise dos parâmetros – Exames e Laboratórios

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	202.76		-316.5		-326.9		-320.5	
ILUM	2.381	0.000	2.381	0.000	2.381	0.000	2.381	0.000
logGHR			108.3	0.000	108.3	0.000	108.3	0.000
AVAC					5.19	0.000	5.193	0.000
ENVO							-4.180	0.000
S	10.1017		8.57477		7.45484		6.21382	
R-sq	41.45%		58.42%		69.02%		78.80%	
R-sq(adj)	40.61%		57.21%		67.66%		77.53%	
R-sq(pred)	38.06%		54.72%		65.49%		75.86%	
Mallows' Cp	117.00		65.39		33.87		5.00	

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	9613.0	2403.24	62.24	0.000
logGHR	1	2069.8	2069.83	53.61	0.000
AVAC	1	1294.3	1294.27	33.52	0.000
ILUM	1	5056.8	5056.78	130.97	0.000
ENVO	1	1192.1	1192.09	30.87	0.000
Error	67	2587.0	38.61		
Lack-of-Fit	31	2558.0	82.52	102.52	0.000
Pure Error	36	29.0	0.80		
Total	71	12199.9			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
6.21382	78.80%	77.53%	75.86%

Equação de Regressão

Consumo Exames e laboratórios [kWh/m²/ano/sala] = -320.5 + 108.3*logGHR + 5.193*AVAC + 2.381*ILUM - 4.18*ENVO

Análise dos parâmetros – Demais áreas

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	162.89		142.44		-279.5	
ILUM	4.501	0.000	4.501	0.000	4.5011	0.000
AVAC			10.223	0.000	10.223	0.000
logGHR					87.96	0.000
S	9.90351		5.17635		2.66335	
R-sq	72.47%		92.59%		98.07%	
R-sq (adj)	72.08%		92.37%		97.98%	
R-sq (pred)	70.88%		91.99%		97.84%	
Mallows' Cp	899.87		194.64		4.00	

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	24457.3	8152.4	1149.29	0.000
logGHR	1	1366.5	1366.5	192.64	0.000
AVAC	1	5016.7	5016.7	707.23	0.000
ILUM	1	18074.1	18074.1	2548.00	0.000
Error	68	482.4	7.1		
Lack-of-Fit	14	193.6	13.8	2.59	0.006
Pure Error	54	288.8	5.3		
Total	71	24939.7			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.66335	98.07%	97.98%	97.84%

Equação de Regressão

Consumo Demais áreas [kWh/m²/ano] = -279.5 + 87.96*logGHR + 10.223*AVAC + 4.5011*ILUM

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

CONSUMO FINAL [kWh/m²/ano] = (((-224,69 + 55,10*logGHR + 0,754*ILUM + 0,5137*ENVO)*n° de centros cirúrgicos * área média do centro cirúrgico) + ((-10,567 + 2,6435*logGHR + 0,00964*AVAC + 0,032663*ILUM) * n° de leitos de UTI * área média por leito de UTI) + ((-1,306 + 0,302*logGHR + 0,03697*AVAC + 0,012985*ILUM) * n° de leitos comuns * área média por leito comum) + ((-320,5 + 108,3*logGHR + 5,193*AVAC + 2,381*ILUM - 4,18*ENVO) * n° salas de exames * área média das salas de exames) + ((-279,5 + 87,96*logGHR + 10,223*AVAC + 4,5011*ILUM) * área das demais áreas))/área total do hospital

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 – Central Chiller)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²)

ENVO – Transmitância térmica das paredes externas (valores entre 0,53 e 2,50 W/m².K)

N° de centros cirúrgicos - quantidade de unidades de centro cirúrgico

Área média do centro cirúrgico - média das áreas das unidades de centro cirúrgico

Número de leitos de UTI - quantidade total de leitos de UTI

Área média por leito de UTI – média das áreas de cada configuração de leito de UTI

N° de leitos comuns - quantidade total de leitos das Enfermarias e Quartos

Área média por leito comum - média das áreas de cada configuração de leito comum

N° salas de exames - quantidade total de salas de exame

Área média das salas de exames – média das áreas de todas as salas de exame

Área das demais áreas – somatória de todas as demais dependências do hospital

Área total do hospital – somatória de todas as áreas anteriores

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 28 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 94,63%, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de **Hospital**.

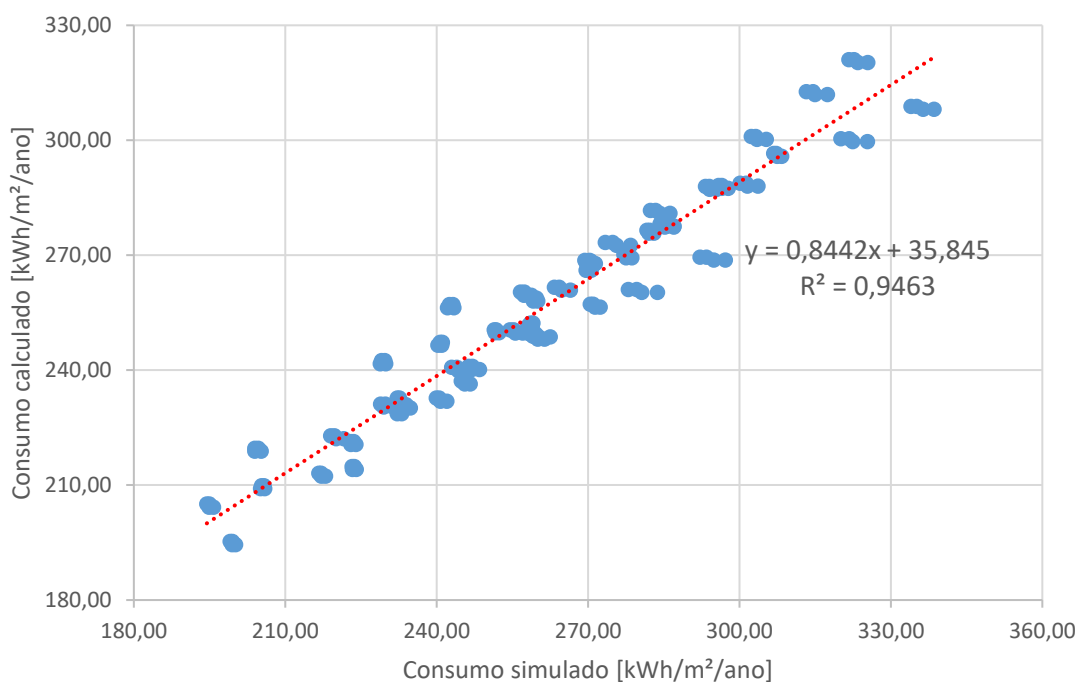


Figura 28 – Comparação entre o EUI simulado e o predito pela equação

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 10.

Tabela 10 – Parâmetros para Escala de Consumo de Energia em função do GHR.

Parâmetro		Parâmetros significativas de acordo com a cidade	
Cidade		GHR < 54mil	GHR ≥ 54mil
Iluminação	W/m ²	X	X
Envoltória	W/m ² .K	X	X
Ar Condicionado	Split		
	VRF	X	X
	Chiller condensado a ar		

A escala de eficiência foi definida a partir do cálculo dos consumos mínimo e máximo obtidos pela simulação do arquétipo utilizando os cenários fixos, utilizados para o desenvolvimento da equação de *benchmark*. A Tabela 11 apresenta a definição do cenário utilizado para determinar os consumos mínimos e máximos para esta tipologia.

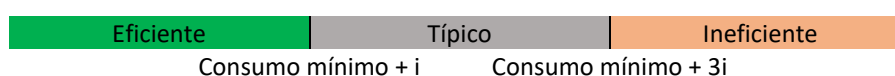
Tabela 11 – Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para a tipologia de Hospital

Parâmetros		Limite Mínimo	Limite Máximo
Cidade	GHR GDA	Parâmetro fixo	
Iluminação	W/m ²	10,77	17,81
Envoltória	W/m ² K	Parâmetro fixo	
Ar Condicionado	-	VRF	Chiller

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 a um Hospital localizado na cidade de São Paulo, com GHR = 14172, GDA = 288,3, DPI de 12,1 W/m² e envoltória com transmitância das paredes de 2,5W/m²K. Existem 4 centros cirúrgicos com área média de 200 m² cada, 12 leitos de UTI com área média de 17,3 m² por leito, 40 leitos comuns com área média de 7,5 m² por leito, 7 salas de exames com área média de 140m² cada e demais áreas com 18890,66 m². A área total do Hospital é de 21068,40 m². **O consumo de energia operacional calculado é 208,75 kWh/m²/ano.**

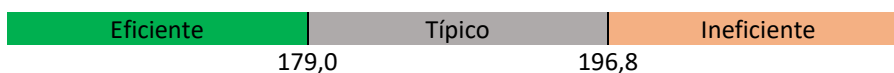
Realizando o cálculo do consumo deste Hospital nos cenários de consumo mínimo e consumo máximo, obtém-se os limites indicados na Tabela 12.

Tabela 12 – Exemplo de Escala de Eficiência – Hospital em São Paulo - SP.

		Previsão de consumo de energia	Mínimo	Máximo
VARIÁVEIS	ILUMINAÇÃO	DPI (W/m ²)	10,77	17,81
	AVAC	-	VRF	Chiller a ar
FIXOS	SÃO PAULO - SP	GHR=14172 GDA=288	Consumo geral: 170,07	Consumo geral: 214,69
	ENVOLTÓRIA	2,5 W/m ² K	[kWh/m²/ano]	[kWh/m²/ano]

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

$$i = \frac{214,69 - 170,07}{5} = 8,92$$



Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo superior ao consumo máximo da faixa típica (**208,75 > 196,8 kWh/m²/ano**), sendo classificada como ineficiente.

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 **Hospital**.

Os parâmetros com maior impacto no consumo de energia desta tipologia foram: graus-hora de resfriamento (GHR); graus-dia hora de aquecimento (GDA); iluminação (ILUM); tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC) e a transmitância térmica da envoltória (ENVO).

As variações de absorvância à radiação solar do acabamento da envoltória não apresentaram impacto significativo no consumo final e, portanto, não foi incluída 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 também 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 próprio sistema de condicionamento de ar determina o consumo final da edificação. Um sistema distribuído, como os splits individuais com diversas variedades de equipamentos, podendo até incluir tecnologias mais obsoletas como o ar-condicionado tipo janela irá consumir mais energia que sistemas centrais como centrais de água gelada com Chiller à ar ou ainda mais eficientes como os sistemas VRF.

A transmitância térmica determina qual a facilidade do fluxo de calor entre a superfície externa e a superfície interna de um sistema. Quanto maior for a transmitância térmica (U), maior será a transmissão de calor pelo sistema, tanto para o ambiente interno ganhar ou perder calor.

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, enfermarias, centro cirurgicos, centros de tratamento intensivos, atendimento de emergência, laboratórios, consultórios, restaurante, cozinha e demais áreas típicas de um hospital. Entretanto, há uma grande variedade de possíveis composições de edificações de hospitais, apresentando facilidades que não foram consideradas, ou não apresentando algumas das que foram.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R^2 de 94,36%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Hospital**.

A Tabela 13 resume os parâmetros estudados e identifica aqueles consideradas significativos para o desenvolvimento das equações de *benchmark* para esta tipologia.

Tabela 13 -Parâmetros analisados e sua relevância para a equação de benchmark da tipologia de Hospital

Parâmetros analisados	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil
Clima GHR	✓	✓
Clima GDA	✓	
AVAC	✓	✓
Iluminação	✓	✓
Absortância		
Envoltória	✓	✓

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.