



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**Campus Universitário – Trindade**  
**Florianópolis – SC – CEP 88040-900**  
**Caixa Postal 476**



**Fundação de Ensino e Engenharia em Santa Catarina**  
<http://www.feesc.org.br>  
Telefone: (48) 3721-9553



**Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**  
<http://www.labeee.ufsc.br>  
Telefones: (48) 3721-5184 / 3721-5185



**Centrais Elétricas Brasileiras S.A.**  
<http://www.eletrabras.gov.br>



**Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**  
<http://www.eletrabras.gov.br/procel>

**Convênio ECV-271/2008 Eletrobrás/UFSC**

## **RELATÓRIO TÉCNICO DA BASE DE SIMULAÇÕES PARA O RTQ-R**

**RELATÓRIO TÉCNICO: RT\_LABEEE-2011/02**

**Elaborado por:** Marcio José Sorgato, MSc.

**Coordenação:** Prof. Roberto Lamberts, PhD.

**Para:** ELETROBRAS/PROCEL

Florianópolis, Julho de 2011.

## RESUMO

Este Relatório Técnico apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento da base de simulações de edificações residenciais. Com os resultados da base foram desenvolvidas as equações de regressão linear múltipla do método prescritivo, que avalia o nível de eficiência da envoltória do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O relatório reúne informações referentes aos parâmetros construtivos, geométricos, padrões de uso de iluminação, de ocupação, de ventilação e as propriedades termofísicas dos materiais dos modelos. Também são descritos os parâmetros da rede de ventilação e do sistema de condicionamento artificial. O desempenho dos ambientes condicionados naturalmente foram analisados através do somatório de graus-hora de resfriamento, já o desempenho dos ambientes quando condicionado artificialmente foram analisados através do consumo energia do sistema de condicionamento artificial, para resfriamento e aquecimento de cada zona bioclimática brasileira.

**SUMÁRIO**

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2. METODOLOGIA</b>	<b>7</b>
2.1 PROGRAMA	7
2.2 ARQUIVOS CLIMÁTICOS	8
2.3 MODELOS SIMULADOS	10
2.3.1 MODELO BASE	10
2.3.2 MODELO 1	11
2.3.3 MODELO 2	12
2.4 PADRÃO DE OCUPAÇÃO	13
2.5 PADRÃO DE ILUMINAÇÃO	14
2.6 PADRÃO DE EQUIPAMENTOS	15
2.7 PADRÃO DE VENTILAÇÃO	15
2.7.1 PADRÃO USO HVAC	15
2.7.2 CONFIGURAÇÕES PADRÃO DO <i>ENERGYPLUS</i>	16
2.8 PARÂMETROS SIMULADOS	16
2.8.1 CONDIÇÕES DOS AMBIENTES SIMULADOS	16
2.8.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS COMPONENTES DA ENVOLTÓRIA	16
2.8.2.1 Características das Paredes e Coberturas com Capacidade Térmica Normal	17
2.8.2.2 Características das Paredes e Coberturas com Capacidade Térmica Baixa	19
2.8.2.3 Características das Paredes e Coberturas com Capacidade Térmica Alta	20
2.8.3 ÁREA DE VENTILAÇÃO E ÁREA ENVIDRAÇADA	22
2.8.4 SOMBREAMENTO	24
2.8.5 PARÂMETROS DA MODELAGEM DA REDE DE VENTILAÇÃO NATURAL	24
2.8.6 PARÂMETROS DA MODELAGEM DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL	25
2.8.7 CONJUNTOS DAS SIMULAÇÕES - CASOS	27
2.8.8 TEMPERATURA DO SOLO DOS MODELOS	28

<b>2.9</b>	<b>PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES</b>	<b>30</b>
2.9.1	ANÁLISE ATRAVÉS DOS GRAUS-HORA DE RESFRIAMENTO	30
2.9.2	ANÁLISE ATRAVÉS DOS CONSUMOS DE HVAC PARA AQUECIMENTO E REFRIGERAÇÃO	31
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS:</b>	<b>32</b>
3.1	DIFERENÇAS DOS GRAUS HORA NOS CLIMAS SIMULADOS	32
3.2	ZONA BIOCLIMÁTICA 1	32
3.3	ZONA BIOCLIMÁTICA 2	35
3.4	ZONA BIOCLIMÁTICA 3	38
3.5	ZONA BIOCLIMÁTICA 4	40
3.6	ZONA BIOCLIMÁTICA 6	43
3.7	ZONA BIOCLIMÁTICA 7	45
3.8	ZONA BIOCLIMÁTICA 8	47
3.9	INFORMAÇÕES DOS ARQUIVOS DA BASE DE SIMULAÇÃO	49
<b>4.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crise do petróleo na década de 70 aumentou a preocupação de vários governos no mundo em relação aos recursos energéticos. Ao mesmo tempo o consumo energético das edificações aumentou cerca de 20 a 40% nos países desenvolvidos (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009). Este fato desencadeou um processo de desenvolvimento das primeiras normas de eficiência energética em edificações. O Protocolo de Quioto também elevou o rigor das normas internacionais referentes ao desempenho térmico das edificações. Nos últimos anos, muitos países vêm desenvolvendo normas de eficiência energética e de desempenho térmico de edificações residenciais e comerciais.

Os regulamentos de eficiência energética em edificações estabelecem critérios para alcançar níveis mínimos de eficiência energética em edificações. A finalidade é conservar energia ou parâmetros relacionados, sem comprometer o conforto, a produtividade ou a qualidade arquitetônica das edificações (OLESEN, 2007).

Segundo Geller (2003) as edificações residenciais foram uma das principais causas do crescimento do uso total de energia no Brasil durante o período 1975 a 2000, o aumento do consumo foi de 250%, o autor ressalta a importância de medidas que acarretem economia de energia por parte das edificações residenciais.

Lamberts *et al.* (2004), mencionam que para reverter a situação seria necessário o desenvolvimento de normas relacionadas às edificações e aos equipamentos consumidores de energia (tais como sistema de iluminação, condicionamento ambiental, eletrodomésticos e outros dispositivos), além de treinamento e atualização periódica dos profissionais envolvidos desta concepção à manutenção das edificações.

No Brasil, o processo de desenvolvimento iniciou com a promulgação da Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências” (BRASIL, 2001a) que foi regulamentada através do Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b). O Decreto institui o Grupo Técnico para Melhoria da Eficiência Energética nas Edificações no País (GT Edificações), responsável pela elaboração de procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações, visando o uso racional da energia elétrica.

Em 2003 foi instituído o Programa de eficiência energética em edificações (PROCEL Edifica), que tem como objetivo construir bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações

brasileiras. Em uma das vertentes do seu plano e a criação de procedimentos para a elaboração de regulamento para edificações energeticamente eficientes.

Em 2004 a ELETROBRÁS/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) firmaram um convênio visando a cooperação técnico-financeira para o desenvolvimento do projeto que previa a elaboração do Regulamento para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

Este relatório técnico tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada para o desenvolvimento da base de simulações do RTQ-R.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Programa

Os programas de simulação computacional são ferramentas importantes para avaliação do desempenho térmico-energético de edificações. O programa calcula as trocas térmicas, os índices de iluminação e de consumo energético das edificações, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento (DOE, 2008).

Para a análise do desempenho térmico e energético das edificações será adotado o programa de simulação computacional *EnergyPlus*, a versão 3.1.0, devido ao desenvolvimento que foi em 2009. O programa foi desenvolvido através da fusão dos programas DOE-2 e BLAST, com o intuito de criar uma ferramenta que permitisse a análise térmica e energética de edificações e de seus sistemas.

O *EnergyPlus (E+)* consiste de uma coleção de módulos de programas que permitem calcular a energia consumida pelo edifício. Possibilita realizar simulações para o clima do local de interesse do usuário, a partir de um arquivo climático com dados horários. O programa calcula temperaturas internas e trocas de calor em edifícios não condicionados artificialmente ou, no caso de edifícios com condicionamento artificial, calcula as cargas de aquecimento e resfriamento necessárias para manter as temperaturas na faixa aceitável de conforto, estimando o consumo de energia dos sistemas.

A ventilação natural no *EnergyPlus* é calculada através do modelo de rede, com o algoritmo do AIRNET de Walton (1989), que estima o fluxo de ar pela edificação através da ação dos ventos, integrando estas informações no balanço térmico da zona. O módulo no programa é o *AirFlowNetwork*.

O modelo de rede é baseado na concepção de que cada zona da edificação é representada por um nó de pressão. O ambiente externo à edificação também é representando por nós, que são interligados pelas aberturas que representam os caminhos dos fluxos de ar através das janelas, portas e frestas (Figura 1). Somente as pressões do vento nos nós externos são conhecidas. No entanto, no modelo de rede com a interligação dos nós, é possível calcular a pressão dos nós internos, aplicando a equação de balanço de massa em cada nó. Com os valores de pressão em cada abertura, é possível calcular o fluxo de ar pela edificação.

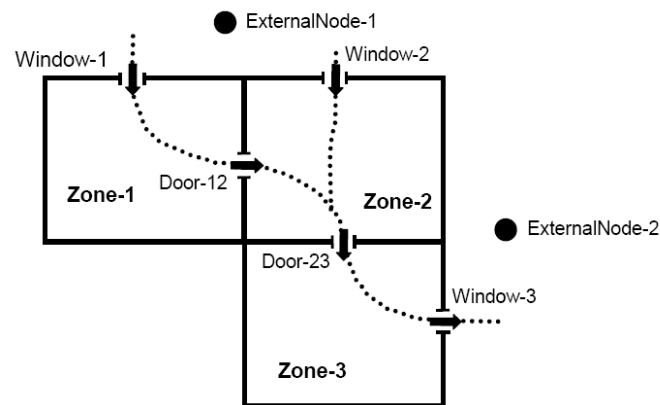


Figura 1 - Esquema do modelo de rede *AirflowNetwork*. Fonte: *EnergyPlus* (2010).

O programa *EnergyPlus* é validado através do método do *BESTEST*, desenvolvido pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*). Este método foi adotado pela ANSI/ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2007) como norma de teste para avaliação de programas computacionais para análise energética de edificações. A metodologia identifica as diferenças nas predições da simulação, que podem ser causadas pelas diferenças dos algoritmos, limitações dos modelos ou erro nos dados de entrada. O programa também é validado através dos testes da ASHRAE 1052-RP (SPITLER *et al.*, 2001).

## 2.2 Arquivos climáticos

Os arquivos climáticos utilizados para as simulações foram de dois tipos, sendo do tipo Ano Climático de Referência (*Test Reference Year, TRY*) e TMY2 (*Test Meteorological Year*) que são os arquivos do projeto SWERA. O arquivo TMY2 é uma compilação de meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos, resultado em um ano climático que nunca existiu, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês (MARION e URBAN, 1995), já o arquivo TRY é um ano climático sem extremos de temperatura.

O arquivo climático é composto por 8.760 horas de um ano completo, considerado típico por não possuir extremos de temperatura. O arquivo contém dados horários de temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar global horizontal e direta normal, direção e velocidade do vento e pressão atmosférica, dentre outros menos relevantes para a simulação.

A Tabela 1 apresenta os arquivos climáticos utilizados nas simulações para o desenvolvimento das equações do método prescritivo e do método de simulação.



Tabela 1 – Arquivos climáticos utilizados nas simulações.

<b>Zona Bioclimática</b>	<b>Arquivos do desenvolvimento das equações</b>
ZB - 1	Curitiba - PR (TRY 1969)
ZB - 2	Santa Maria - RS(TMY2, SWERA)
ZB - 3	Florianópolis - SC (TRY 1963)
ZB - 4	Brasília - DF (TRY 1962)
ZB - 6	Campo Grande - MS (TMY2,SWERA)
ZB - 7	Cuiabá - MT (TMY2,SWERA)
ZB - 8	Salvador - BA (TRY 1961)

Os arquivos climáticos TRY (*Test Reference Year*) utilizados nas simulações estão disponíveis na página eletrônica do LABEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>), já os arquivos do tipo TMY2 (*Test Meteorological Year*) do projeto Swera estão disponíveis na página eletrônica do Departamento de Energia dos Estados Unidos (*Department of Energy*) ([http://eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data2.cfm/region=3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3](http://eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3)).

Para a zona bioclimática 5 não foram realizadas simulações pelo fato de não haver, até então, arquivo bioclimático de uma cidade pertencente a esta zona.

Na utilização dos arquivos climáticos TMY2 observou-se alguns problemas. Alguns arquivos apresentaram dados incompatíveis com a realidade climática da cidade, temperatura do ar de bulbo seco (TBS), úmido (TBU) e umidade relativa (RH), com valores fixos durante alguns períodos (SORGATO e LAMBERTS, 2011). Com o problema da qualidade dos dados dos arquivos TMY2, adotaram-se para o desenvolvimento das simulações para as equações os arquivos climáticos preferencialmente para as zonas bioclimáticas ZB-1, ZB-3, ZB-4 e ZB-8 adotaram-se o arquivo do modelo TRY, já, para as zonas ZB-2, ZB-6 e ZB-7 por não existir TRY adotaram-se o arquivo do modelo TMY2.

Os arquivos climáticos TRY possuem limitações nos dados referentes à radiação solar global horizontal e direta normal, que foram estimados através da metodologia LABEEE que é apresentada no relatório “Processamento De Arquivos Climáticos Para Simulação Do Desempenho Energético De Edificações” (CARLO e LAMBERTS, 2005).

### 2.3 Modelos simulados

Para Lamberts *et al.* (2004) a forma arquitetônica pode ter grande influência no conforto ambiental em uma edificação e no seu consumo de energia. A geometria da edificação interfere diretamente nos ganhos de calor, através dos componentes da envoltória.

A tipologia arquitetônica escolhida para esta pesquisa foi de edificações residenciais multifamiliares. O modelo escolhido representa um edifício vertical de sete pavimentos, com quatro apartamentos por pavimento, conforme pode ser observado na Figura 2. Para as análises de desempenho e de consumo foram avaliados o pavimento térreo, intermediário e cobertura.

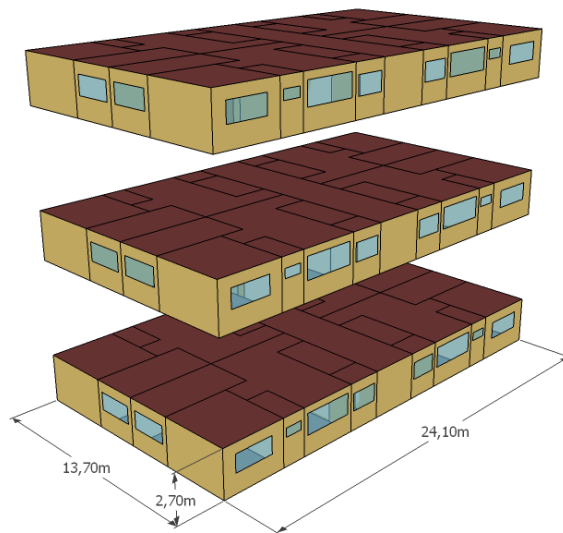


Figura 2 – Croqui da edificação residencial multifamiliar, modelo base.

#### 2.3.1 Modelo Base

O modelo base é composto por 4 apartamentos por pavimento, cada apartamento é constituído por uma sala de estar, dois dormitórios, cozinha e área de serviço, com área construída de 72,6 m<sup>2</sup>, conforme é apresentado na Figura 3.

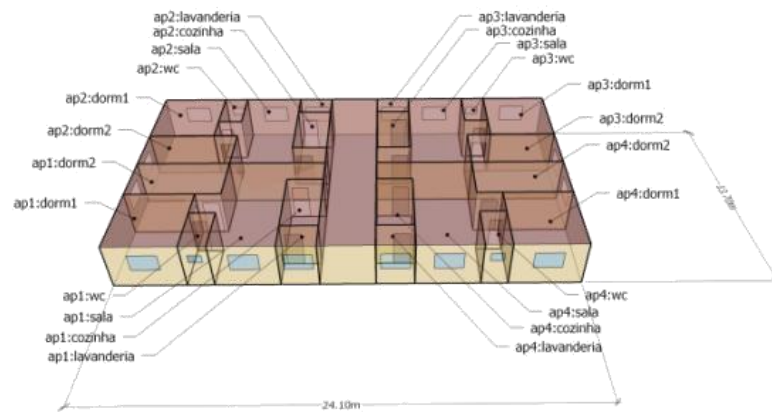


Figura 3 – Layout dos apartamentos do modelo base.

A Tabela 2 apresenta as características dos ambientes do modelo base, área do ambiente ( $m^2$ ), área da fachada ( $m^2$ ), volume do ambiente ( $m^3$ ) e o pé direito do ambiente. O volume do ambiente ( $m^3$ ) é calculado através das dimensões externas das superfícies da envoltória.

Tabela 2 – Características dos ambientes do modelo base.

Ambiente	Área do ambiente ( $m^2$ )	Área da fachada ( $m^2$ )	Volume do ambiente ( $m^3$ )	Pé direito (m)
Sala de Estar	28,46	9,18	76,84	2,70
Dormitório 1	15,58	21,33	42,06	2,70
Dormitório 2	14,30	7,42	38,61	2,70
Banheiro	3,57	3,78	9,64	2,70
Cozinha	7,70	-	20,79	2,70
Área de serviço	3,00	5,40	8,10	2,70

### 2.3.2 Modelo 1

O modelo 1 é composto pela mesma planta do modelo base, com apartamentos que possuem área construída de  $72,6 m^2$  e pé direito dos ambientes de  $5,40 m$ . A Figura 4 apresenta o croqui volumétrico do modelo 1 e na Tabela 3 são apresentadas as características dos ambientes do modelo 1.

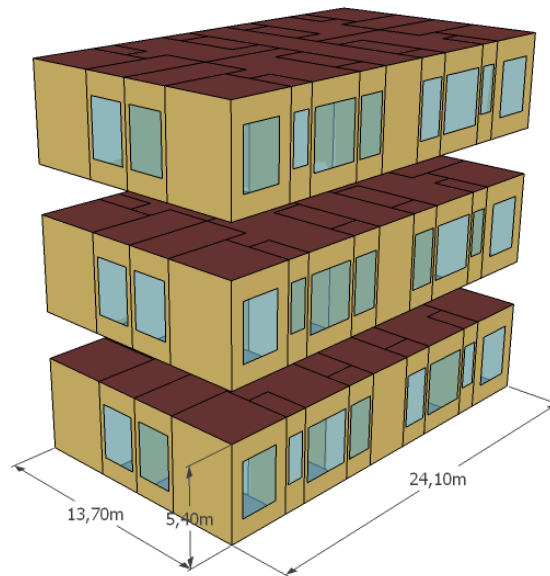


Figura 4 – Croqui volumétrico do modelo 1.

Tabela 3 - Características dos ambientes do modelo 1.

Ambiente	Área do ambiente (m <sup>2</sup> )	Área da fachada (m <sup>2</sup> )	Volume do ambiente (m <sup>3</sup> )	Pé direito (m)
Sala de Estar	28,46	18,36	153,68	5,40
Dormitório 1	15,58	42,66	84,13	5,40
Dormitório 2	14,30	14,85	77,22	5,40
Banheiro	3,57	7,56	19,27	5,40
Cozinha	7,70	-	41,58	5,40
Área de serviço	3,00	10,80	16,20	5,40

### 2.3.3 Modelo 2

O modelo 2 possui configuração semelhante ao modelo base, a diferença está nas dimensões dos ambientes que possuem áreas quadruplicadas em relação ao modelo base. Os apartamentos do modelo 2 possuem área construída de 290,40 m<sup>2</sup>. A Figura 5 apresenta o croqui volumétrico do modelo 2 e na Figura 5 são apresentadas as características dos ambientes do modelo 2.

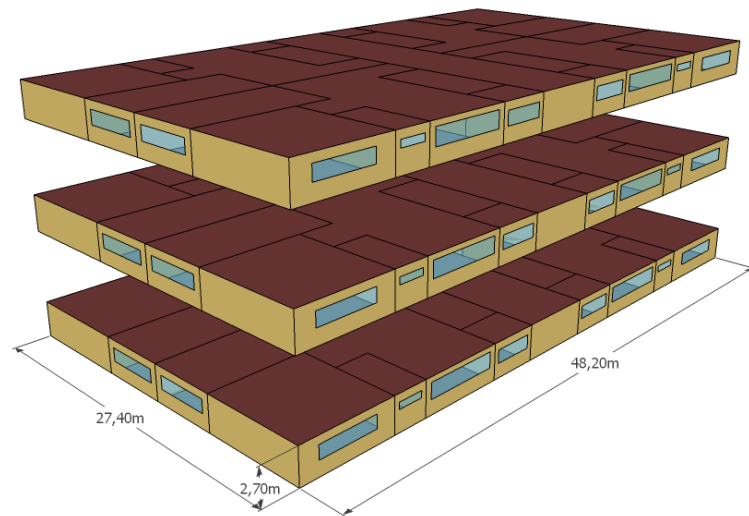


Figura 5 - Croqui volumétrico do modelo 2.

Tabela 4 - Características dos ambientes do modelo 2.

Ambiente	Área do ambiente (m <sup>2</sup> )	Área da fachada (m <sup>2</sup> )	Volume do ambiente (m <sup>3</sup> )	Pé direito (m)
Sala de Estar	113,84	18,36	307,36	2,70
Dormitório 1	62,32	42,66	168,26	2,70
Dormitório 2	57,20	14,85	154,44	2,70
Banheiro	14,28	7,56	38,55	2,70
Cozinha	30,80	-	83,16	2,70
Área de serviço	12,00	10,80	32,40	2,70

## 2.4 Padrão de ocupação

O padrão de ocupação dos modelos representa uma família composta por quatro moradores: um casal e dois filhos. No período da manhã os filhos não estão na residência. A sala e a cozinha são utilizadas por toda a família, a ocupação máxima dos dormitórios é de duas pessoas e o banheiro é ocupado por no máximo uma pessoa.

A Figura 6 apresenta o padrão de ocupação para os dias úteis (a) e finais de semana (b).

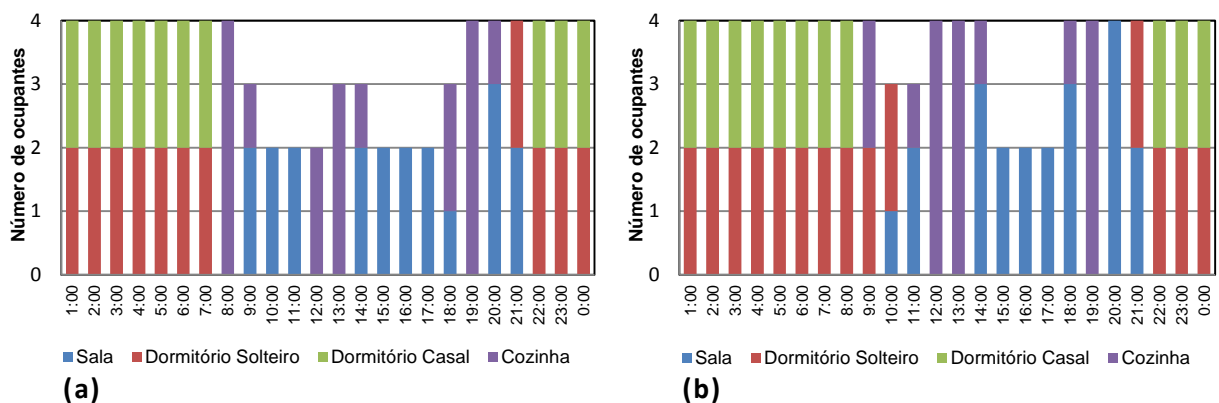


Figura 6 – Padrão de ocupação dos modelos para os dias úteis e finais de semana.

De acordo com o tipo de atividade desempenhada em cada ambiente definiram-se as taxas metabólicas para cada atividade, conforme apresentado na Tabela 5. Os valores recomendados para essas taxas foram baseados na ASHRAE (2009), considerando uma área de pele média de 1,80m<sup>2</sup>. Tais valores serão aplicados para todos os modelos desta pesquisa.

Tabela 5 Taxas metabólicas para cada atividade.

Zona	Atividade realizada	Calor produzido [W/m <sup>2</sup> ]	Calor produzido para área de pele = 1,80 m <sup>2</sup> [W]
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

## 2.5 Padrão de iluminação

O padrão de uso da iluminação foi desenvolvido em função do padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada. Foram definidos dois padrões de uso da iluminação: um para os dias úteis e outro para os finais de semana, que são apresentados na Figura 7. Nos gráficos do padrão de uso da iluminação, o eixo das ordenadas representa o número total de ambientes que estão utilizando o sistema de iluminação na residência e no eixo das abscissas representa as horas. O ambiente é representado por cores distintas, conforme a legenda.

As luzes dos dormitórios e da sala foram consideradas simultaneamente acesas às 21h, pois a ocupação considerada para esse horário é máxima para o quarto de solteiro, mas de 50% para o quarto de casal e 25% para a sala.

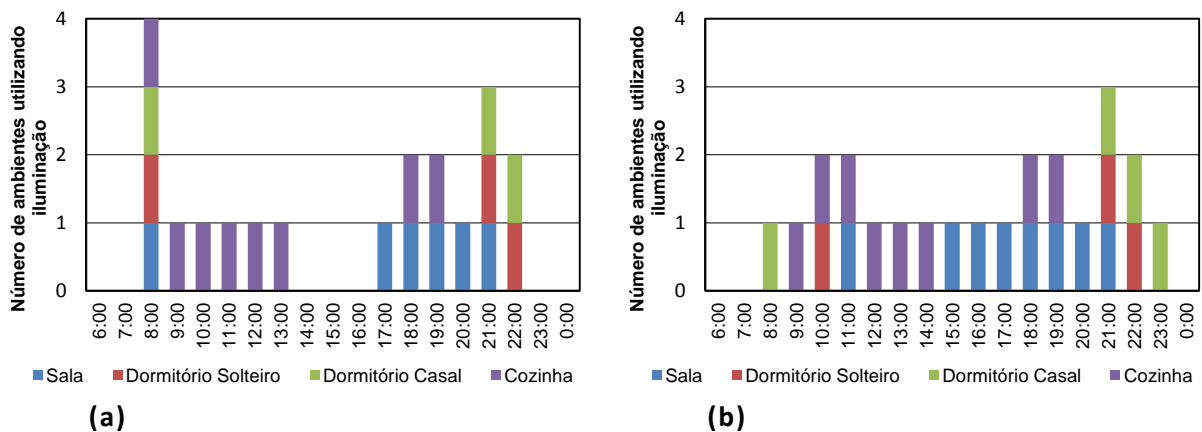


Figura 7 – Padrão da iluminação para dias úteis (a) e finais de semana (b).

A Tabela 6 apresenta a densidade de potência em iluminação dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e banheiro.

Tabela 6 - Densidade de potência de iluminação nos ambientes.

Ambiente	Sala de estar	Dormitório 1	Dormitório 2	Cozinha	Banheiro
Potência de Iluminação	100 W	60 W	60 W	100 W	40 W

## 2.6 Padrão de equipamentos

Os modelos foram simulados com cargas internas de equipamentos nas Salas e Cozinhas. O padrão de uso da carga interna de equipamentos foi durante o período de 24h e a fração radiante de 50%. As cargas internas de equipamentos pás os ambientes da sala e da cozinha são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Cargas internas de equipamentos dos modelos.

Ambientes	Período de Uso	Potência (Watts)
Salas	24h	20,74
Cozinha	24h	33,19

## 2.7 Padrão de ventilação

A estratégia de ventilação para os modelos foi adotada através do padrão de ventilação seletiva, que permite abrir as janelas conforme os critérios de temperatura descritos abaixo.

Uma *Schedule* de temperatura controla a abertura das janelas, a qual habilita a abertura quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior à temperatura de *setpoint* ( $T_{int} \geq T_{setpoint}$ ), também quando a temperatura do ar interno é superior à externa ( $T_{int} \geq T_{ext}$ ). A temperatura de *setpoint* foi de 20°C. Nesse padrão de ventilação todas as portas internas permanecem abertas durante as 24 horas do dia, as portas de acesso a unidade habitacional ficam fechadas por todo período.

### 2.7.1 Padrão uso HVAC

O período de condicionamento artificial foi desenvolvido em função do padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (dormitórios). Os ambientes são condicionados da 21h às 8h nos dias úteis e nos finais de semana das 22h às 9h. A ventilação natural foi habilitada no período das 8h às 20h nos dias úteis e nos finais de semana das 10h às 21h, horários em que o ambiente não está condicionado artificialmente, as janelas são controladas através de uma *Schedule* de temperatura,

conforme apresentada no item 2.7 (Padrão de ventilação). As portas internas dos ambientes de permanência prolongada permanecem fechadas no período de condicionamento artificial.

### 2.7.2 Configurações padrão do *EnergyPlus*

Na Tabela 8 são apresentadas as configurações padrão do *EnergyPlus*, referentes aos algoritmos de convecção, condução e distribuição solar adotados nos casos da base de simulações para o RTQ-R.

Tabela 8 – Configurações padrão do *EnergyPlus* adotadas nas simulações

Parâmetro	Algoritmo adotado
<i>Solar distribution</i>	<i>FullInteriorAndExterior</i>
<i>SurfaceConvectionAlgorithm:Inside</i>	<i>Detailed</i>
<i>SurfaceConvectionAlgorithm:Outside</i>	<i>DOE-2</i>
<i>HeatBalanceAlgorithm</i>	<i>CTF – ConductionTransferFunction</i>
<i>Timestep</i>	<i>4 per hour</i>

## 2.8 Parâmetros simulados

### 2.8.1 Condições dos ambientes simulados

Para montar a base para regressão foram simulados ambientes em diferentes condições, para quatro orientações e quatro localizações dos ambientes. Para extrapolar o universo das edificações residenciais foram simulados ambientes nas quatro condições de localizações, contato com o solo, com cobertura, pilotis e intermediário. Os ambientes dos pavimentos intermediário e cobertura foram desconsiderados, devido estes apresentarem um desempenho semelhante aos casos simulados com contato com o solo.

### 2.8.2 Propriedades Térmicas dos Componentes da Envoltória

Os componentes da envoltória (paredes, cobertura, aberturas e piso) das edificações que separam o ambiente interior do exterior são importantes para a determinação dos ganhos e perdas de calor entre ambiente exterior e interior. As propriedades termofísicas dos materiais, a forma arquitetônica, orientação das paredes e aberturas determinam seu desempenho térmico em relação ao ambiente exterior e interior. As cargas internas também podem influenciar significativamente no desempenho da mesma.

A definição das variações das propriedades térmicas da envoltória foram baseadas nas diretrizes da NBR-15220-3 (ABNT, 2005b). As alternativas das propriedades térmicas fora dos limites estabelecidos pela norma foram consideradas, a fim de se obter resultados mais abrangentes.



Foram modelados três tipos de paredes, três tipos de coberturas e adotaram-se duas absorvâncias para as paredes e as coberturas, que foram 0,4 (cor clara) e 0,8 (cor escura). As propriedades térmicas das paredes e das coberturas e suas considerações com relação aos materiais utilizados (espessura, condutividade térmica [ $\lambda$ ], densidade [ $\rho$ ], calor específico [ $c$ ] e resistência térmica [ $R$ ]) possuem os mesmos valores adotados pela NBR 15220 (ABNT, 2005a), conforme apresentados na Tabela 9. As características utilizadas para as paredes de tijolos cerâmicos e laje mista foram adotadas de Ordenes *et al.* (2003), que calculou componentes equivalentes atendendo aos critérios de cálculo da norma NBR-15220.

Tabela 9 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados na simulação.

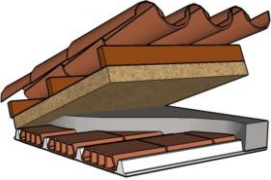
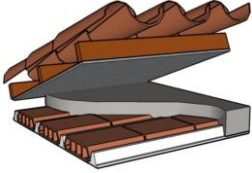
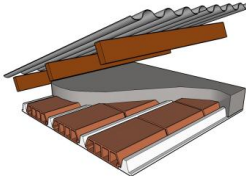
Material	Espessura equivalente	$\lambda$ [W/m.K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [KJ/kg.K]	$R$ [m <sup>2</sup> .K/W]
Argamassa de emboço	2,5 (cm)	1,15	2000	1,00	0,022
Tijolo cerâmico 8 Furos (10cm)	3,3 (cm)	0,90	1103	0,92	0,037
Tijolo cerâmico 8 Furos (19cm)	8,2 (cm)	0,90	868	0,92	0,091
Tijolo cerâmico 8 Furos (20cm)	29,1 (cm)	0,90	500	0,92	0,323
Telha cerâmica	1,0 (cm)	1,05	2000	0,92	0,010
Laje mista (12 cm)	9,5 (cm)	1,05	1087	0,92	0,090
Lã de vidro	5,0 (cm)	0,05	50	0,70	1,111
Lâmina de alumínio ( $\epsilon < 0,2$ )	0,01 (cm)	230,0	2700	0,88	0,000
Água	-	0,58	997,1	4,18	-
Poliestireno expandido (EPS)	-	0,04	16	1,21	-
Câmara de ar com alta $\epsilon$ (>5cm)	-	-	-	-	0,21
Câmara de ar com baixa $\epsilon$ ( $\leq 5$ cm)	-	-	-	-	0,43
Câmara de ar com baixa $\epsilon$ (>5cm)	-	-	-	-	0,61

### 2.8.2.1 Características das Paredes e Coberturas com Capacidade Térmica Normal

Foram modeladas três diferentes composições de cobertura com capacidade térmica normal:

- Cobertura de telha de barro com isolante de lã de vidro sobre o forro de laje armada em blocos cerâmicos;
- Cobertura de telha de barro com lâmina de alumínio polido e forro de concreto de 3 cm;
- Cobertura de telha de fibrocimento e forro de laje armada em blocos cerâmicos.

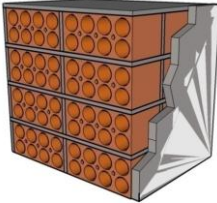
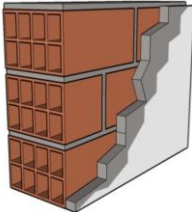
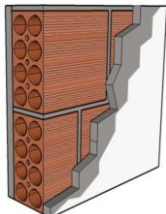
Tabela 10 - Características das coberturas com capacidade térmica normal.

Croqui da Cobertura	Característica da Cobertura	U W/(m <sup>2</sup> K)	C <sub>T</sub> kJ/(m <sup>2</sup> .K)
	A cobertura de telha de barro, isolante de lã de vidro e forro de laje armada em blocos cerâmicos. Espessura da telha: 1,0 cm. Espessura do isolante: 5,0 cm. Espessura da laje: 12 cm.	0,62	138,00
	A cobertura de telha de barro com lâmina de alumínio polido e forro de concreto. Espessura da telha: 1,0 cm. Espessura da lâmina alumínio: 0,01 cm. Espessura da laje: 12 cm	1,18	113,00
	Cobertura de telha de barro e forro de laje armada em blocos cerâmicos. Espessura da telha: 0,7 cm. Espessura da laje: 12 cm	1,93	105,00

Foram modelados três tipos de paredes:

- Parede dupla de tijolos cerâmicos de oito furos circulares, assentados na maior dimensão;
- Parede de tijolos cerâmicos de oito furos quadrados, assentados na maior dimensão;
- Parede de tijolos cerâmicos de oito furos circulares, assentados na menor dimensão.

Tabela 11 – Características das paredes com capacidade térmica normal.

Croqui da Parede	Característica da Parede	U W/(m <sup>2</sup> K)	C <sub>T</sub> kJ/(m <sup>2</sup> .K)
	Parede dupla de tijolos de oito furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0 x 20,0 x 20,0 cm Espessura da argamassa assentamento: 1,0 cm. Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	1,00	368
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0 x 19,0 x 19,0 cm Espessura da argamassa assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,4 cm	1,80	231
	Parede de tijolo de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 10,0 x 20,0 x 20,0 cm Espessura da argamassa assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167

### 2.8.2.2 Características das Paredes e Coberturas com Capacidade Térmica Baixa

Para aumentar a abrangência da base de simulação, foram modeladas paredes e coberturas com baixa capacidade térmica. A modelagem das paredes e coberturas foi realizada através das propriedades térmicas do poliestireno expandido, considerando a mesmas transmitâncias das paredes e coberturas com capacidade térmica normal, na Tabela 12 e Tabela 13 são apresentadas as características das paredes e coberturas com capacidade térmica baixa.

Tabela 12 – Características das paredes com capacidade térmica baixa.

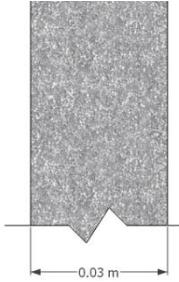

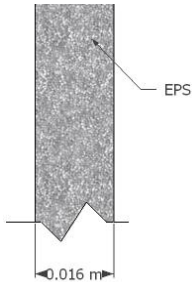
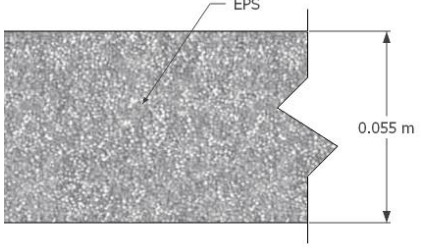
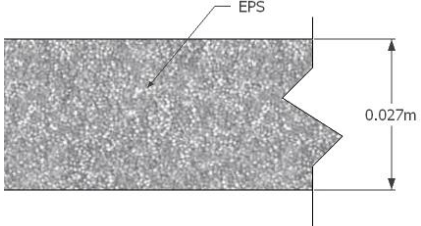
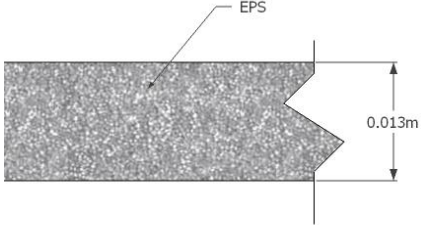
Croqui da Parede	Característica da Parede	U W/(m <sup>2</sup> K)	C <sub>T</sub> kJ/(m <sup>2</sup> .K)
	Parede com capacidade térmica baixa. Espessura da parede de EPS: 3,0 cm.	1,00	0,58
	Parede com capacidade térmica baixa. Espessura da parede de EPS: 1,6 cm.	1,80	0,30
	Parede com capacidade térmica baixa. Espessura da parede de EPS: 1,1 cm.	2,24	0,22

Tabela 13 – Características das coberturas com capacidade térmica baixa.

Croqui da Cobertura	Característica da Cobertura	U W/(m <sup>2</sup> K)	C <sub>T</sub> kJ/(m <sup>2</sup> .K)
	Cobertura com capacidade térmica baixa. Espessura da Cobertura de EPS: 5,5 cm.	0,62	1,06
	Cobertura com capacidade térmica baixa. Espessura da Cobertura de EPS: 2,7 cm.	1,18	0,52
	Cobertura com capacidade térmica baixa. Espessura da Cobertura de EPS: 1,3 cm.	1,92	0,25

### 2.8.2.3 Características das Paredes e Coberturas com Capacidade Térmica Alta

Também foram modeladas paredes e coberturas com capacidade térmica alta. As modelagens das paredes e coberturas foram realizadas através das propriedades térmicas da água, considerando a mesmas transmitâncias das paredes e coberturas com capacidade térmica normal, na

Tabela 14 e Tabela 15 são apresentadas as características.

Tabela 14 – Características das paredes com capacidade térmica alta.

Croqui da Parede	Característica da Parede	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Parede com capacidade térmica alta Espessura total da parede: 49 cm.	1,00	2.042,0
	Parede com capacidade térmica alta Espessura total da parede: 23 cm.	1,80	958,0
	Parede com capacidade térmica alta Espessura total da parede: 17 cm.	2,24	708,0

Tabela 15 – Características das coberturas com capacidade térmica alta.

Croqui da Cobertura	Característica da Cobertura	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Cobertura com capacidade térmica alta. Espessura da Cobertura de Água: 80,0 cm	0,62	3.335,0
	Cobertura com capacidade térmica alta. Espessura da Cobertura de Água: 38,0 cm	1,18	1.581,0
	Cobertura com capacidade térmica alta. Espessura da Cobertura de Água: 19,0 cm	1,92	792,0

#### 2.8.2.4 Características dos vidros

A Tabela 16 apresenta as propriedades térmicas e ópticas do vidro adotado nas simulações da base. O vidro duplo foi modelado com duas camadas de vidro e uma câmara de ar de 15 mm entre as folhas.

Tabela 16 - Propriedades térmicas e ópticas do vidro.

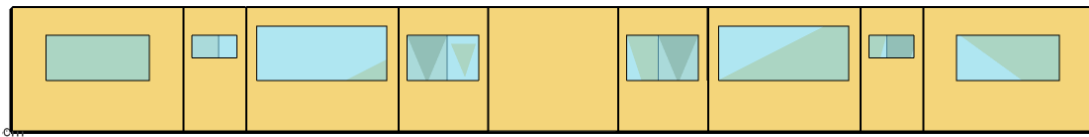
Propriedades	Valores
Espessura	3,0 mm
Transmissão a radiação solar para a incidência normal	0,837
Refletância a radiação solar para incidência normal ( <i>front side</i> )	0,075
Refletância a radiação solar para incidência normal ( <i>back side</i> )	0,075
Transmitância a luz visível para incidência normal	0,898
Refletância a luz visível para incidência normal ( <i>front side</i> )	0,081
Refletância a luz visível para incidência normal ( <i>back side</i> )	0,081
Transmitância a radiação infravermelha	0,0
Emissividade hemisférica a radiação infravermelha ( <i>front side</i> )	0,84
Emissividade hemisférica a radiação infravermelha ( <i>back side</i> )	0,84
Condutividade térmica (W/m-K)	0,9

Observação: O vidro duplo foi utilizado somente nas zonas bioclimáticas 1 e 2, (Curitiba e Santa Maria) .

#### 2.8.3 Área de Ventilação e Área Envidraçada

Para os três modelos foram simulados duas diferentes áreas de janela, que se entende por uma determinada área que proporcione iluminação natural e ventilação do ambiente. Para os modelos base e quadruplicado o percentual de área de janela foi de 15% e 25% da área do piso do ambiente, já, para o modelo com pé direito duplo o percentual de área de janela foi de 22,5% e 71%. Para a área de ventilação foram modelados dois fatores de ventilação, 50% e 100% da área de janela do ambiente.

A Figura 8 apresenta a vista das fachadas do modelo base com diferentes proporções de área janela.



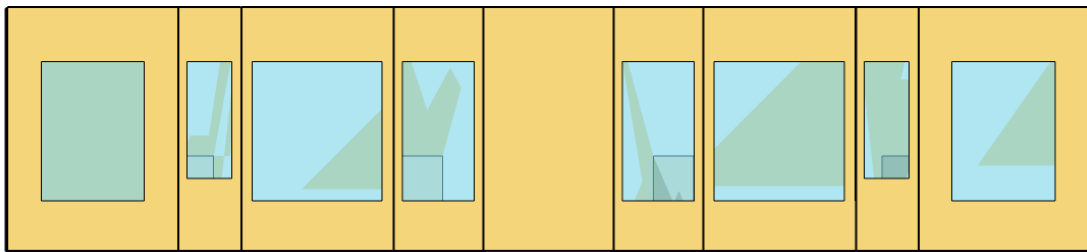
(a) Percentual de área de janela e área de ventilação, de 8% e 15%.



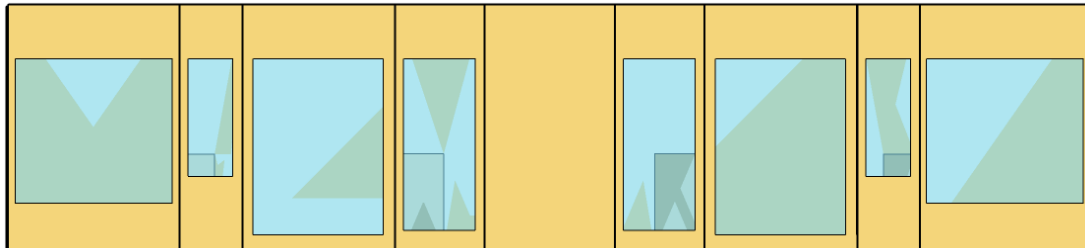
(b) Percentual de área de janela e área de ventilação, de 12,5% e 25%.

Figura 8 – Vistas das fachadas do modelo base com diferentes percentuais de área de janela e de ventilação.

A Figura 8 Figura 9 apresenta a vista das fachadas do modelo com pé direito duplo com diferentes proporções de área de janela.



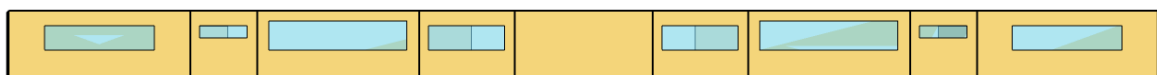
(a) Percentual de área de janela e área de ventilação, de 22,5% a 45%.



(b) Percentual de área de janela e área de ventilação, de 35% a 71%.

Figura 9 - Vistas das fachadas do modelo com pé direito duplo com diferentes percentuais de área de janela.

A Figura 8 Figura 10 apresenta a vista das fachadas do modelo quadruplicado com diferentes proporções de área de janela.



(a) Percentual de área de janela e área de ventilação, de 8% e 15%.



(b) Percentual de área de janela e área de ventilação, de 12,5% e 25%.

Figura 10 - Vistas das fachadas do modelo quadruplicado com diferentes percentuais de área de janela.

#### 2.8.4 Sombreamento

O sombreamento das aberturas foi modelado através de uma *schedule* que controla o período de sombreamento de 21 de setembro a 20 de março (no horário das 8h as 18h), compreendendo a primavera e o verão para as zonas bioclimáticas 1 a 4. Para as zonas bioclimáticas 6 a 8 o período de sombreamento é o ano inteiro, no horário das 8h as 18h. O dispositivo de sombreamento adotado foi *Exterior Blind* (veneziana horizontal) de madeira, na cor média, com refletância de 0,5, condutividade de 0,23 (W/m.K) e espessura de 5mm.

A modelagem do dispositivo de sombreamento no *EnergyPlus* não interfere no fluxo de ar no módulo da ventilação natural. O programa assume *que* a passagem de ar através de uma janela aberta não é afetada pela possível presença de um dispositivo de sombreamento, tal como uma persiana ou veneziana. O módulo térmico assume que a área envidraçada é constante, considerando a janela sempre fechada para o cálculo da transferência de calor por condução e ganho solar.

#### 2.8.5 Parâmetros da modelagem da rede de ventilação natural

Para a modelagem da rede de ventilação natural é necessário a definição de alguns parâmetros, como coeficiente de pressão ( $C_p$ ), coeficiente de descarga ( $C_D$ ), coeficiente de fluxo de ar pelas frestas ( $C_Q$ ) e rugosidade do entorno ( $\alpha$ ). A escolha erroneamente dos parâmetros da ventilação natural pode comprometer a confiabilidade das simulações (SORGATO, 2009).

As diferentes formas de estimar os coeficientes de pressão podem proporcionar diferentes resultados. Nas simulações do método prescritivo do regulamento foram adotadas as equações que calculam o valor médio do coeficiente de pressão para a superfície de Akins *et al.* (1979) (para edificações altas), estas são utilizadas pelo programa *EnergyPlus* na opção do cálculo médio dos coeficientes de pressão superficial. Existem outras formas de estimar os coeficientes de pressão, que podem ser através de experimentos em túnel do vento ou banco de dados de medições em túnel de vento, *Pressure Database da Tokio Politechnic University* (2010), *C<sub>p</sub> Generator do TNO Building Research* (2010) e o *CPCALC+* (1995).

Através da revisão da literatura, foram identificadas as principais fontes de coeficiente de descarga para os diferentes tipos de aberturas selecionadas, para as simulações adotou-se o valor médio de  $C_D=0,60$  (AYNSLEY, 1999) para janelas e portas retangulares.



O coeficiente de fluxo de massa de ar por frestas ( $C_Q$ ) e o expoente de fluxo de ar ( $n$ ), adotou-se o valor do  $C_Q=0.001$  e  $n=0,65$ , estes valores foram baseados nos exemplos do *EnergyPlus*, pois o programa não define um valor padrão.

A correção da velocidade do vento em relação à diferença de rugosidade do entorno é determinada pelo coeficiente de rugosidade do entorno ( $\alpha$ ), o valor adotado nas simulações foi de 0,33, que representa um terreno de centro urbano, no qual 50% das edificações possuem altura maior que 21m. O valor recomendado é baseado na ASHRAE (2009) que estabelece o expoente  $\alpha=0,33$  e  $\delta=460$  para a camada limite. Segundo Sorgato (2009) a maioria das edificações residenciais encontra-se em centros urbanos, onde o entorno apresenta maior densidade. Essa característica justifica o uso do coeficiente de rugosidade de 0,33, para simulações de edificações residenciais que se encontram em centros urbanos.

A Tabela 17 apresenta o resumo dos parâmetros de modelagem da ventilação natural, coeficiente de pressão ( $C_p$ ), coeficiente de descarga ( $C_D$ ), coeficiente de frestas ( $C_Q$ ), expoente do fluxo de ar ( $n$ ) e o coeficiente de rugosidade do entorno.

Tabela 17 - Descrição dos dados de entrada dos parâmetros da ventilação natural.

Parâmetros	Valores adotados
1 - Coeficiente de pressão	TNO
2 - Coeficiente de descarga	0,60
3 - Coeficiente de frestas quando a janela está fechada	0,001; $n=0,65$
4 - Rugosidade do entorno	0,33

### 2.8.6 Parâmetros da modelagem do sistema de condicionamento artificial

Na modelagem do sistema de condicionamento artificial (ar condicionado - HVAC) é preciso definir alguns parâmetros, como temperatura do termostato de refrigeração e aquecimento, taxa de fluxo de ar por pessoa, modo de operação do ventilador, eficiência do ventilador, razão entre o calor retirado ou fornecido para o ambiente em relação à energia consumida pelo equipamento de condicionamento ( $COP - Cooling Coil Rated, Heat Pump Heating Coil Rated$ ) e os ambientes que foram condicionados.

Os ambientes de permanência prolongada que foram simulados com sistema de condicionamento de ar foram os dormitórios 1 e 2 das Unidades habitacionais autônomas (apartamentos). O período de condicionamento foi das 21h às 8h, sendo que no período restante os ambientes foram ventilados naturalmente conforme os critérios do Padrão de ventilação (2.7) e os Parâmetros da modelagem da rede de ventilação natural (2.8.5).

A Tabela 18 apresenta os principais parâmetros da modelagem do sistema de condicionamento artificial (HVAC), o sistema utilizado foi *Packaged Terminal Heat Pump* (PTHP).

Tabela 18 – Parâmetros da modelagem do sistema de condicionamento artificial.

Parâmetro	Condição
Cooling Supply Air Flow Rate {m <sup>3</sup> /s}	autosize (m <sup>3</sup> /s);
Heating Supply Air Flow Rate {m <sup>3</sup> /s}	autosize (m <sup>3</sup> /s);
Outdoor Air Method	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	0,00944 (m <sup>3</sup> /s);
Supply Fan Operating Mode	Continuous;
Supply Fan Placement	DrawThrough;
Supply Fan Total Efficiency	0.7;
Supply Fan Delta Pressure	75 (Pa);
Supply Fan Motor Efficiency	0.9;
Cooling Coil Type	SingleSpeedDX;
Cooling Coil Rated Capacity	autosize (W);
Cooling Coil Rated Sensible Heat Ratio	autosize;
Cooling Coil Rated COP <sup>1</sup>	3,00 (W/W);
Heat Pump Heating Coil Type	SingleSpeedDXHeatPump
Heat Pump Heating Coil Rated Capacity	autosize (W);
Heat Pump Heating Coil Rated COP <sup>2</sup>	2,75 (W/W);
Heat Pump Heating Minimum Outdoor Dry-Bulb Temperature	-8°C;
Heat Pump Defrost Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	5°C;
Heat Pump Defrost Strategy	ReverseCycle;
Heat Pump Defrost Control	Timed;
Heat Pump Defrost Time Period Fraction	0.058333;
Supplemental Heating Coil Type	Electric;
Supplemental Heating Coil Capacity	autosize (W);
Supplemental Heating Coil Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	21°C;
Supplemental Gas Heating Coil Efficiency	0.8

As temperaturas dos termostatos de refrigeração e aquecimento foram de 24°C e 22°C, respectivamente. O termostato de aquecimento é utilizado somente nas Zonas Bioclimáticas 1 a 4, já, o termostato de refrigeração e o mesmo para todas as Zonas Bioclimáticas.

<sup>1</sup> Razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento.

<sup>2</sup> Razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento

### 2.8.7 Conjuntos das simulações - Casos

Os conjuntos de simulações contêm variações do percentual de área de ventilação (PAVP), dispositivo de sombreamento, fator de ventilação (FV), das propriedades térmicas dos componentes da envoltória (parede -  $U_{PAR}$  e cobertura -  $U_{COB}$ ) e absortâncias das paredes e coberturas ( $\alpha_{PAR}$  e  $\alpha_{COB}$ ), as combinações das características construtivas dos casos são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Descrição das tipologias construtivas para montagem da base de dados.

CASO	PAVP (%)	Dispositivo de Sombreamento	Fator Ventilação (%)	$U_{PAR}$ W/(m <sup>2</sup> K)	$\alpha_{PAR}$ (-)	$U_{COB}$ W/(m <sup>2</sup> K)	$\alpha_{COB}$ (-)
A1	15%	Com Sombreamento	100%	1.80	0.40	1.18	0.4
A2	25%	Com Sombreamento	50%	1.80	0.40	1.18	0.4
B1	8%	Com Sombreamento	50%	2.24	0.40	1.18	0.4
B2	25%	Com Sombreamento	50%	2.24	0.40	1.18	0.4
C1	15%	Sem Sombreamento	100%	2.24	0.40	0.62	0.8
C2	25%	Com Sombreamento	50%	2.24	0.40	1.18	0.8
D2	25%	Com Sombreamento	50%	2.24	0.80	1.18	0.8
D1	25%	Sem Sombreamento	50%	1.00	0.80	1.93	0.4
E2	8%	Com Sombreamento	50%	1.80	0.80	1.93	0.8
E1	8%	Sem Sombreamento	50%	2.24	0.80	1.18	0.8

Para a montagem da base de simulação foram combinadas as tipologias construtivas com os parâmetros: modelos (Base, Modelo 1 e Modelo 2), a orientação da edificação (0 e 90 graus), as unidades habitacionais (AP1, AP2, AP3 e AP4), os ambientes (Sala, Dormitório 1 e 2), a localização dos ambientes (Cobertura, Intermediário, Térreo e Pilotis) e a capacidade térmica dos componentes da envoltória (Alta, Média e Baixa), estas combinações resultaram em 8.640 ambientes de permanência prolongada para a base. Na Tabela 20 são apresentados os parâmetros dos casos da base de simulação para as zonas bioclimáticas 3 a 8.

Tabela 20 – Parâmetros dos casos da base de simulação para as Zonas Bioclimáticas 3 a 8.

Modelos	Orientação	Unidades habitacionais	Ambientes	Localização do ambiente	Capacidade térmica	Tipologias construtivas	Total de ambientes
Base	0 Graus	AP1	Dorm1	Cobertura	Alta	A1	8.640
Modelo 1	90 Graus	AP2	Dorm2	Intermediário	Média	A2	
Modelo 2		AP3	Sala	Térreo	Baixa	B1	
		AP4		Pilotis		B2	
						C1	
						C2	
						D1	
						D2	
						E1	
						E2	
<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	

Para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2 foram adicionados mais três parâmetros além dos apresentados para as ZB-3 a ZB-8. Os parâmetros adicionados foram o Isolamento (paredes e cobertura), vidro duplo e a combinação dos parâmetros isolamento e vidro duplo. A Tabela 21 apresenta os parâmetros dos casos da base de simulação para as zonas bioclimáticas 1 e 2.

Tabela 21 - Parâmetros dos casos das Zonas Bioclimáticas 1 a 2.

Modelos	Orientação	Apartamentos	Ambientes	Localização	Capacidade térmica	Isolamento e Vidro Duplo	Tipologias construtivas	Total de ambientes
Base	0 Graus	AP1	Dorm1	Cobertura	Alta	Normal	A1	
Modelo 1	90 Graus	AP2	Dorm2	Intermediário	Média	Isolado	A2	
Modelo 2		AP3	Sala	Térreo	Baixa	Isolado/Vidro	B1	
		AP4		Pilotis		Vidro Duplo	B2	
							C1	
							C2	
							D1	
							D2	
							E1	
							E2	
<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>34.560</b>

### 2.8.8 Temperatura do solo dos modelos

Nas simulações de edificações térreas a temperatura do solo é um parâmetro importante, pois as trocas de calor entre o piso e o solo são determinantes no resultado final das trocas de calor do ambiente. Para calcular a temperatura do solo utilizou-se o programa *Slab*, que está vinculado ao *EnergyPlus*. O programa calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação, para o clima escolhido.

As temperaturas do solo foram calculadas em uma edificação residencial unifamiliar (Figura 11 – (a) Croqui volumétrico e (b) planta baixa), com as propriedades térmicas das paredes e coberturas<sup>3</sup>.

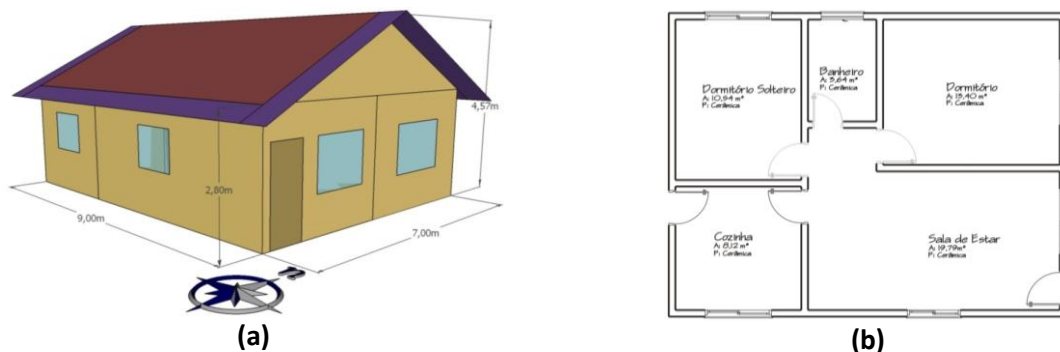


Figura 11 – Croqui volumétrico e planta baixa do modelo utilizado para calcular a temperatura do solo.

<sup>3</sup> Propriedades térmicas do modelo:  $U_{COB}=1,92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ,  $U_{PAR}=2,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ,  $\alpha_{COB}=0,40$  e  $\alpha_{PAR}=0,40$ .

As temperaturas do solo adotadas na primeira simulação foram às dos arquivos climáticos, que são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Temperaturas do solo do arquivo climático.

<b>Média</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>Curitiba ZB1</b>	18,57	19,13	18,97	18,46	16,82	15,36	14,21	13,62	13,79	14,64	15,99	17,40
<b>Santa Maria ZB2</b>	22,84	22,62	21,69	20,65	18,42	17,01	16,31	16,48	17,52	19,06	20,79	22,15
<b>Florianópolis ZB3</b>	22,75	23,92	24,21	23,89	22,22	20,39	18,68	17,48	17,16	17,79	19,23	21,00
<b>Brasília ZB4</b>	22,02	22,36	22,26	21,96	20,97	20,09	19,40	19,05	19,15	19,66	20,47	21,32
<b>Campo Grande ZB6</b>	25,26	25,03	24,31	23,72	22,77	22,42	22,51	23,02	23,82	24,65	25,35	25,67
<b>Cuiabá ZB7</b>	28,21	28,59	28,48	28,14	27,03	26,05	25,28	24,88	25,00	25,57	26,48	27,42
<b>Salvador ZB8</b>	25,76	26,26	26,50	26,50	26,08	25,50	24,89	24,37	24,11	24,18	24,56	25,12

Após a primeira simulação calculou-se a média mensal da temperatura interna, estes valores foram inseridos no programa *Slab* para calcular a temperatura do solo. Com os resultados do *Slab* trocaram-se os valores da temperatura do solo do caso base, repetindo-se o procedimento por três vezes. Após este processo adotou-se a temperatura do solo calculada para todos os modelos deste trabalho. As temperaturas do solo calculadas através do *Slab* são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Temperaturas do solo calculadas através do *Slab*.

<b>Média</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>Curitiba ZB1</b>	20,57	20,96	20,52	19,74	17,71	16,26	15,32	16,63	17,80	17,19	19,18	19,51
<b>Santa Maria ZB2</b>	24,00	23,70	22,81	21,85	19,10	17,99	17,98	19,02	18,96	19,94	21,18	23,10
<b>Florianópolis ZB3</b>	23,8	23,9	23,8	22,5	21,0	19,4	18,1	19,0	20,0	19,9	21,0	22,0
<b>Brasília ZB4</b>	21,98	21,91	22,22	22,21	21,83	20,68	20,75	21,14	22,00	22,45	21,84	21,84
<b>Campo Grande ZB6</b>	23,44	23,00	23,19	23,09	20,68	20,68	23,36	21,60	21,90	22,80	22,91	23,28
<b>Cuiabá ZB7</b>	26,98	26,61	26,71	25,88	25,20	24,82	23,64	25,20	25,87	27,26	26,82	27,14
<b>Salvador ZB8</b>	26,75	27,02	26,74	26,09	25,70	24,95	24,70	24,82	25,15	25,74	26,18	26,48

## 2.9 Processamento dos resultados das simulações

### 2.9.1 Análise através dos graus-hora de resfriamento

O parâmetro “graus-hora” de resfriamento (*GHR*) é determinado como a somatória da diferença da temperatura horária, quando esta se encontra superior a temperatura de base, no caso de resfriamento. Uma demonstração desse parâmetro é apresentada na Figura 12, onde a área pintada em verde acima da linha de temperatura de 26°C, representa a quantidade de graus-hora de resfriamento.

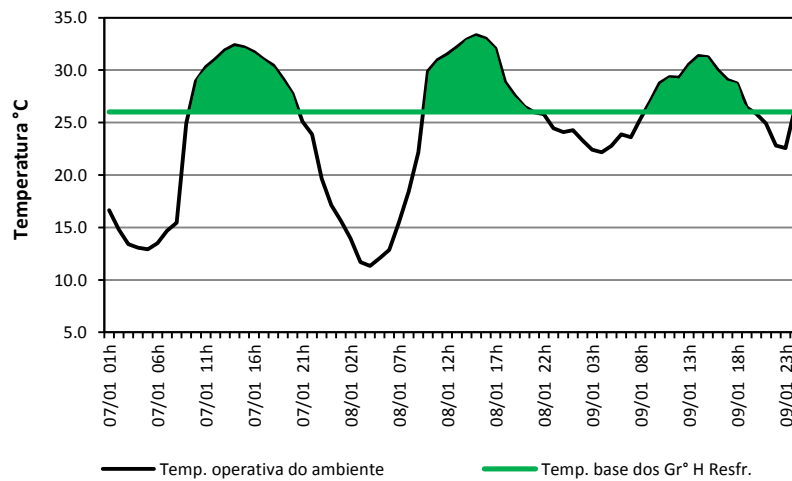


Figura 12 - Representação de graus-hora de resfriamento.

Os graus-hora geralmente são calculados para as temperaturas do ar. Porém, a quantidade de graus-hora, neste trabalho, será calculada para as temperaturas operativas. A temperatura operativa é representada pela Equação 1 (ENERGYPLUS, 2009).

$$T_{OP} = A \cdot T_r + (1 - A) \cdot T_a \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$T_{OP}$  é a temperatura operativa, (°C);

$A$  é a fração radiante;

$T_a$  é a temperatura do ar, (°C);

$T_r$  é a temperatura radiante média (°C);

sendo:

$A=0,5$  para  $V_{ar} < 0,2\text{m/s}$ ;

$A=0,6$  para  $0,2 \leq V_{ar} < 0,6\text{m/s}$ ;

$A=0,7$  para  $0,6 \leq V_{ar} < 1,0\text{m/s}$ ;

$V_{ar}$ = Velocidade do ar no ambiente (m/s);

A temperatura operativa foi calculada como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média. O coeficiente da velocidade do ar utilizado para o cálculo foi de  $A=0,5$ , na equação acima.

Os limites de conforto para a temperatura operativa foram obtidos a partir dos critérios da ISO 7730/2005 para atividades leves (70W/m<sup>2</sup>). Para as condições de verão, período de resfriamento, considerou-se o isolamento térmico das roupas de 0,5 clo e a temperatura operativa entre 23°C e 26°C. Dessa forma, a temperatura base para o cálculo de graus-hora de resfriamento foi de 26°C. A Equação 2 foi utilizada para calcular a quantidade de graus-hora para a temperatura operativa.

$${}^{\circ}Ch_{Resf.} = \sum_{h=1}^n (T_h - 26^{\circ}\text{C}) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

*{}^{\circ}Ch\_{Resf.}* é graus hora de resfriamento;

*T<sub>h</sub>* é a temperatura horária (°C).

Os valores de graus-hora de resfriamento são integrados ao longo do ano para os ambientes de permanência prolongada.

### 2.9.2 Análise através dos consumos de HVAC para aquecimento e refrigeração

O desempenho da edificação condicionada artificialmente foi analisado através do consumo de energia para refrigeração e aquecimento dos ambientes. O consumo de energia dos ambientes foi simulado para as condições:

- Ambientes condicionados artificialmente:
  - Dormitório 1
  - Dormitório 2
- *Setpoint* do HVAC:
  - 24°C para refrigeração
  - 22°C para aquecimento
- O período de condicionado:
  - Dias úteis - das 21h às 8h;
  - Finais de Semana – 21h às 9h;
- COP:
  - 3,00 W/W – Refrigeração;
  - 2,75 W/W – Aquecimento;

### **3. RESULTADOS:**

Para avaliar o desempenho térmico dos ambientes de permanência prolongada das unidades habitacionais, ventiladas naturalmente, utilizou-se o somatório dos graus hora de resfriamento para o desempenho da envoltória para verão, já, para o desempenho da envoltória para inverno adotou-se o consumo de energia do sistema de condicionamento artificial para aquecimento. Também foi realizada avaliação do consumo de energia para refrigeração. O consumo de energia do sistema de condicionamento artificial é referente aos dormitórios da unidade habitacional.

#### **3.1 Diferenças dos graus hora nos climas simulados**

Os gráficos da Figura 13 a Figura 36 - apresentam os valores de graus-hora de resfriamento, consumo de energia para aquecimento e consumo de energia para refrigeração. No eixo "X", apresenta a quantidade de ambientes de permanência prolongada. A ordem dos casos, em cada zona bioclimática, pode ser alternada, pois os casos estão em ordem crescente de graus-hora de resfriamento, consumo de energia para aquecimento ou consumo de energia para refrigeração.

#### **3.2 Zona Bioclimática 1**

A Zona Bioclimática 1 foi simulada com o arquivo climático TRY da cidade de Curitiba (PR), a variação dos graus-hora de resfriamento dos ambientes foi de 0 a 3.711  $\text{GH}_R$ , conforme é apresentado na Figura 13. Para a ZB-1 foram simulados 34.560 ambientes de permanência prolongada, com diferentes parâmetros construtivos e geométricos. No gráfico da Figura 13 são apresentados 32.000 ambientes, devido à limitação do programa utilizado na elaboração do gráfico, os 2561 ambientes não apresentados neste gráfico possuíam zero  $\text{GH}_R$ . Conforme os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentam a seguinte distribuição: Nível "A" até 143 graus-hora de resfriamento ( $\text{GH}_R$ ) foram 26.509 ambientes, nível "B" de 144  $\text{GH}_R$  a 287,0  $\text{GH}_R$  foram 1.853 ambientes, nível "C" de 288 $\text{GH}_R$  a 430,0  $\text{GH}_R$  foram 1.182 ambientes, nível "D" de 430 $\text{GH}_R$  a 574,0  $\text{GH}_R$  foram 870 ambientes e no nível "E" superior a 575,0  $\text{GH}_R$  foram 4.146 ambientes. Na distribuição dos casos por nível de eficiência foram computados os 34.560 ambientes, não somente os apresentados no gráfico.



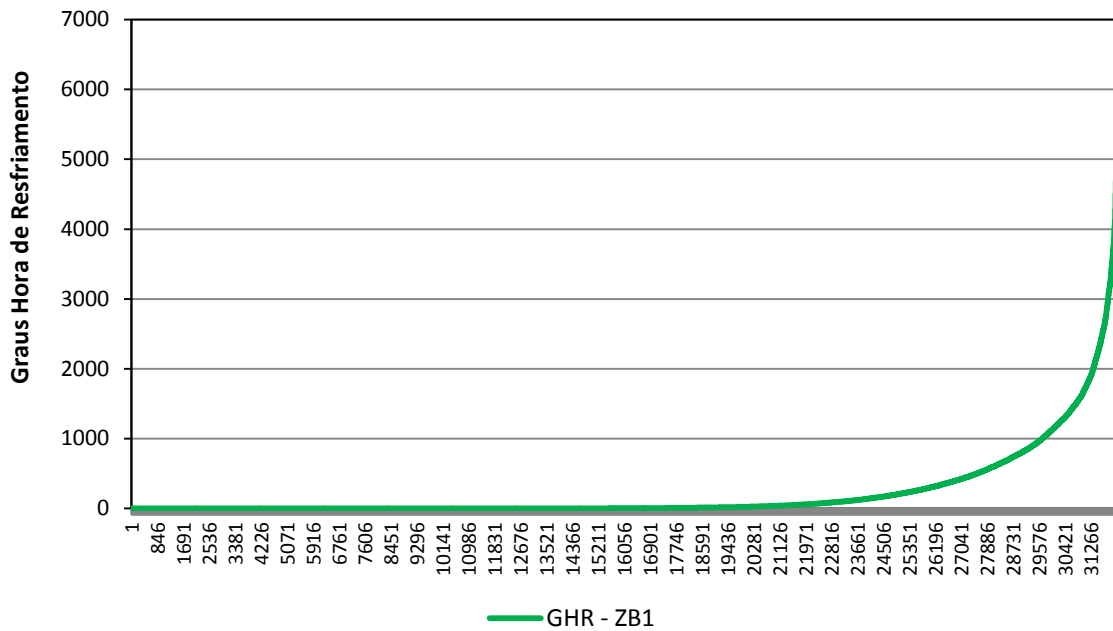


Figura 13 – Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 1.

O desempenho da envoltória para inverno foi avaliado através do consumo de energia para aquecimento ( $C_A$ ) do sistema de condicionamento artificial, é apresentado na Figura 14. Para a ZB-1 foram simulados 23.041 ambientes de permanência prolongada com sistema de condicionamento artificial, a diferença em relação os ambientes de permanência prolongada, ventilados naturalmente é devido à sala das unidades habitacionais não serem condicionadas. Na ZB-1 a variação do consumo de energia para aquecimento entre os ambientes simulados foi de 120 a 2.026 kWh/ano.

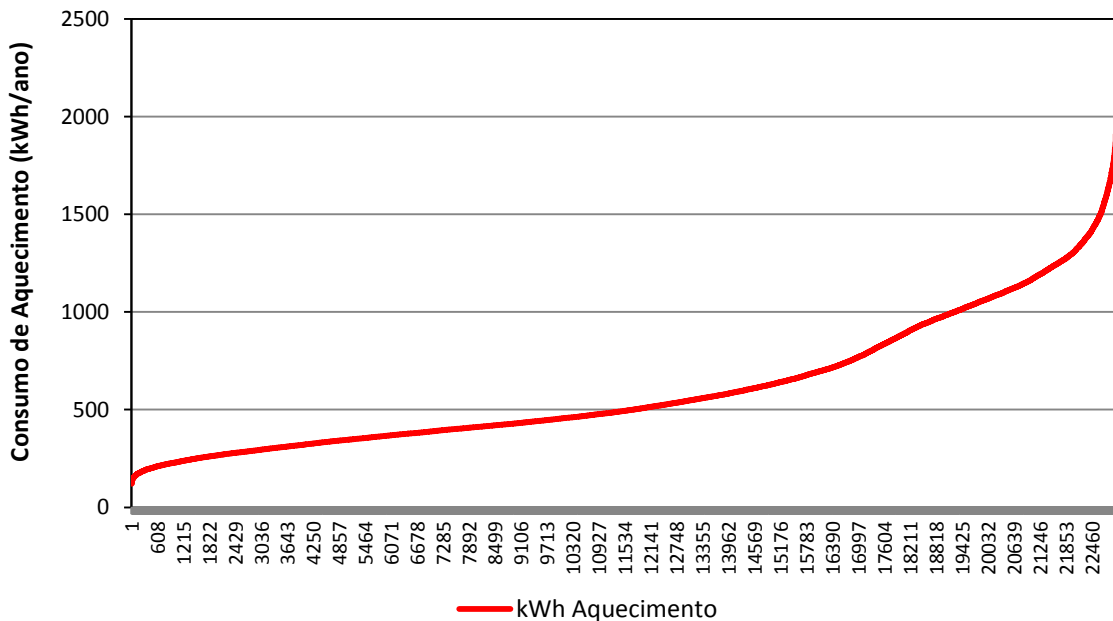


Figura 14 - Gráfico do consumo de energia para aquecimento da Zona Bioclimática 1.

O desempenho da envoltória se refrigerada artificialmente da ZB-1 é apresentado na Figura 15. A análise foi baseada no consumo de energia para refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial. Observa-se que a variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados foi de 0 a 382 kWh/ano.

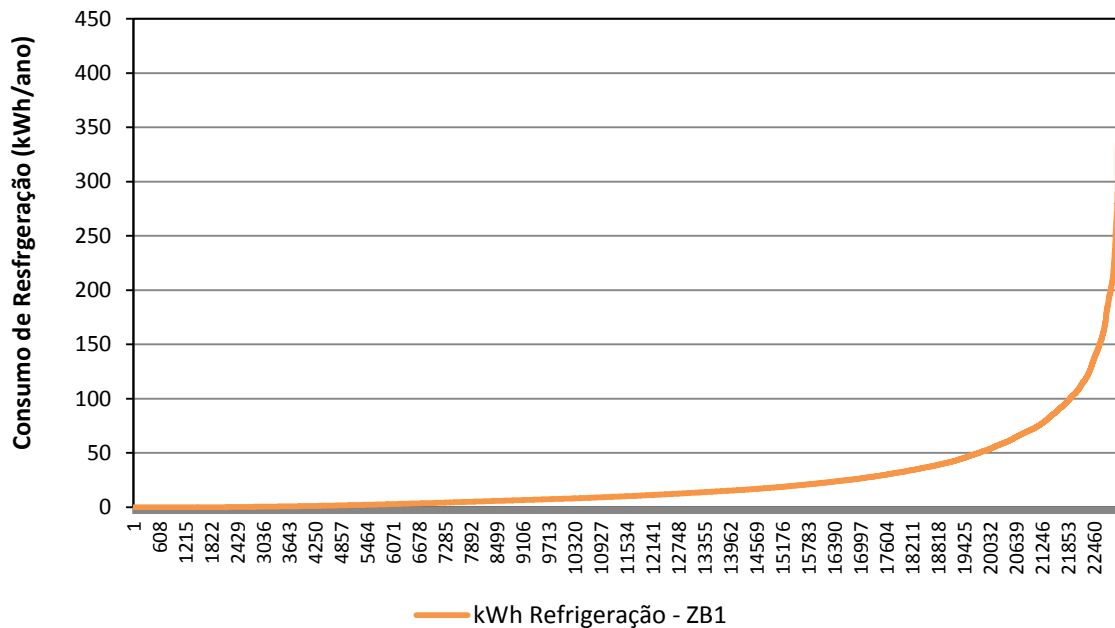


Figura 15 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 1.

A relação entre graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-1 é apresentada na Figura 16. No gráfico são apresentados os resultados do Dormitório 1 e 2, foram ordenados em ordem crescente dos GHR e relacionados com o  $C_R$  de cada ambiente. Observa-se que uma grande variação do consumo de energia para refrigeração em relação aos GHR dos ambientes.

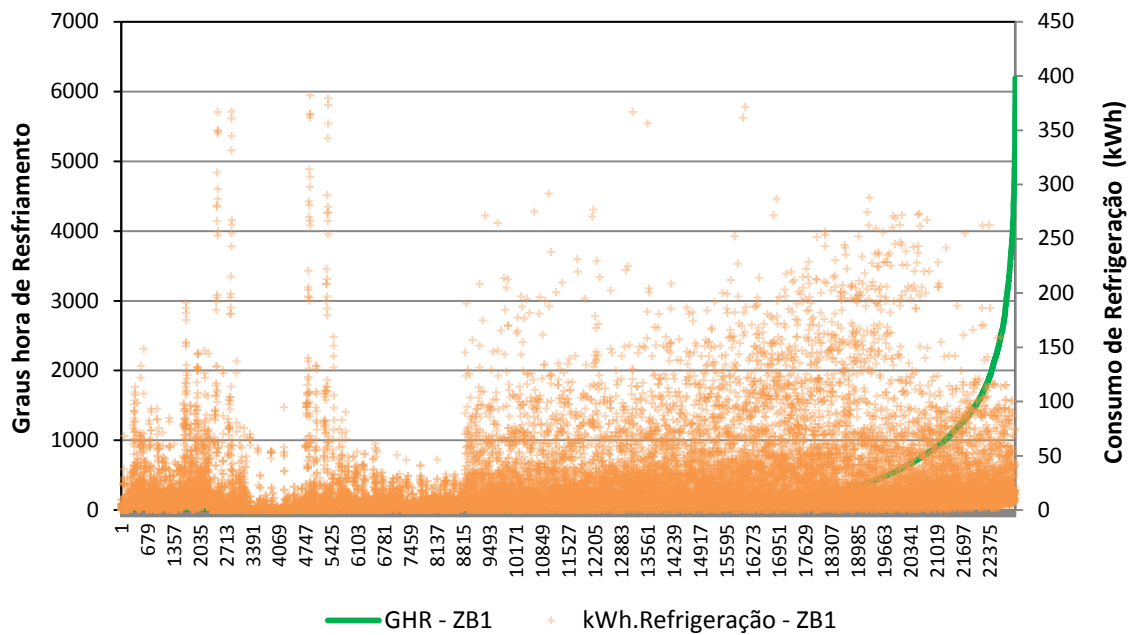


Figura 16 – Relação graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-1.

### 3.3 Zona Bioclimática 2

Na Figura 17, são apresentados os resultados das simulações da Zona Bioclimática 2, que foi simulado com o arquivo climático TMY2 da cidade de Santa Maria (RS). A variação do somatório dos graus-hora da ZB2 foi de 225 a 21.974 GH<sub>R</sub>. Na ZB-2 foram simulado 34.560 ambientes de permanência prolongada, sendo que no gráfico são apresentados os resultados de 32.000 ambientes, devido à limitação do programa utilizado para montar o gráfico, os 2.561 ambientes não apresentados neste gráfico possuíam GH<sub>R</sub> superior a 11.000 GH<sub>R</sub>. De acordo com os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentaram a seguinte distribuição: Nível “A” até 2.310 GH<sub>R</sub> foram 4.544 ambientes, nível “B” de 2.311 a 4.395 GH<sub>R</sub> foram 10.121 ambientes, nível “C” de 4.396 a 6.480 GH<sub>R</sub> foram 7.900 ambientes, nível “D” de 6.481 a 8.564 GH<sub>R</sub> foram 5.324 ambientes e no nível “E” com GH<sub>R</sub> superior a 8.565 foram 6.681 ambientes. Na distribuição dos casos por nível de eficiência foram computados os todos os ambientes simulados, não somente os apresentados no gráfico.

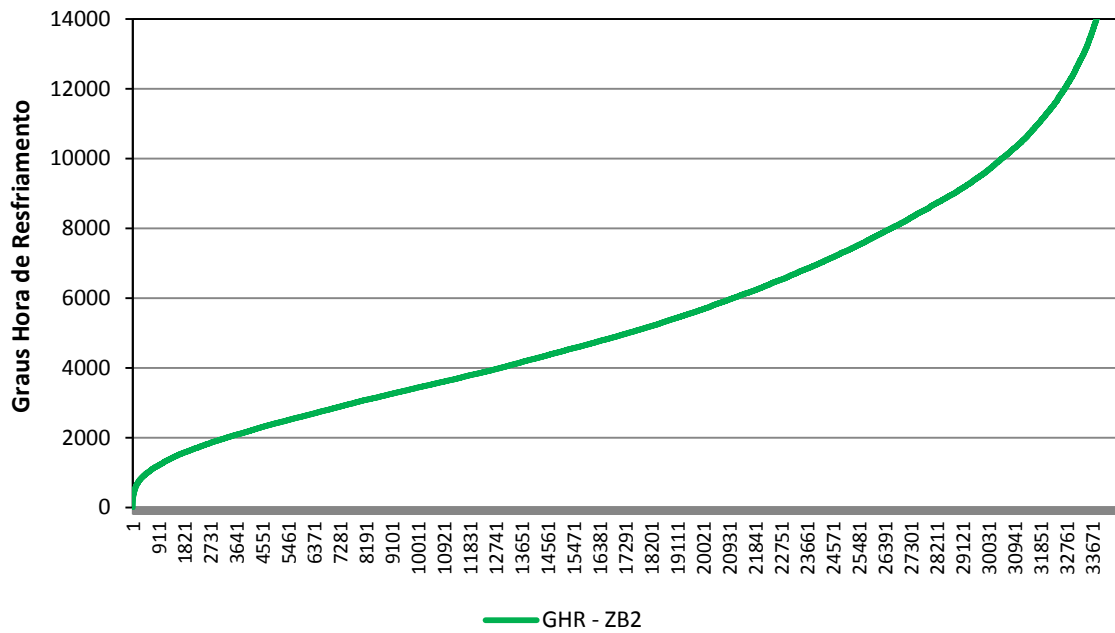


Figura 17 - Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 2.

A Figura 18 apresenta os resultados consumo de energia para aquecimento ( $C_A$ ) dos 23.041 ambientes de permanência prolongada da ZB-2. Na ZB-2 a variação do consumo de energia para aquecimento entre os ambientes simulados foi de 120 a 1.218 kWh/ano.

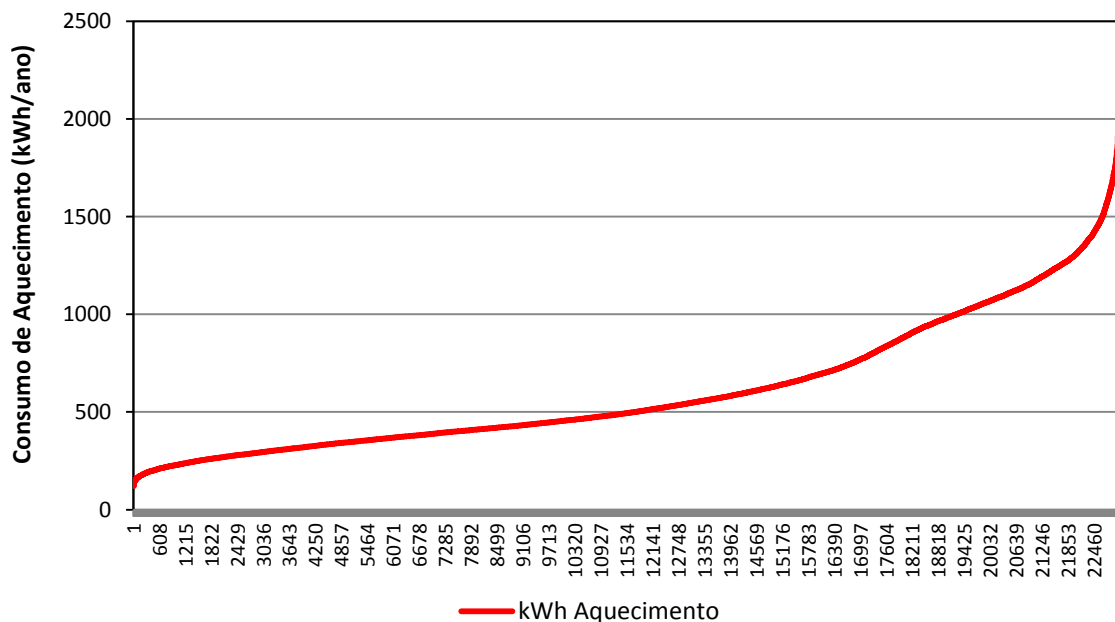


Figura 18 - Gráfico do consumo de energia para aquecimento da Zona Bioclimática 2.

A Figura 19 apresenta o desempenho da envoltória se refrigerada artificialmente para a ZB-2. Observa-se que a variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados foi de 6 a 1.245 kWh/ano.

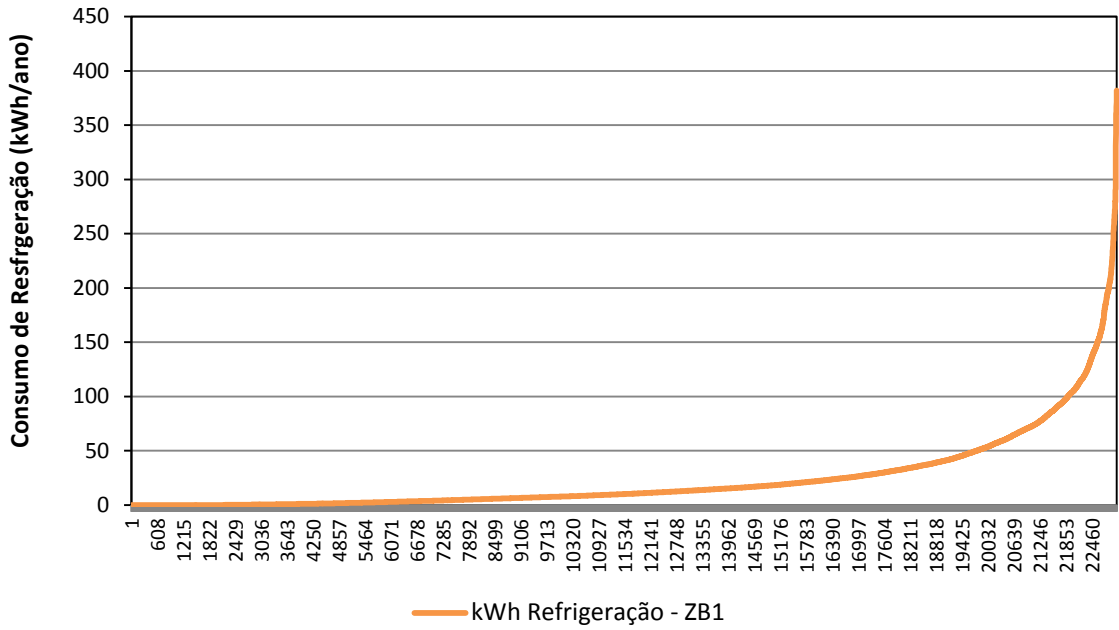


Figura 19 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 2.

A relação entre graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-2 é apresentada na Figura 20.

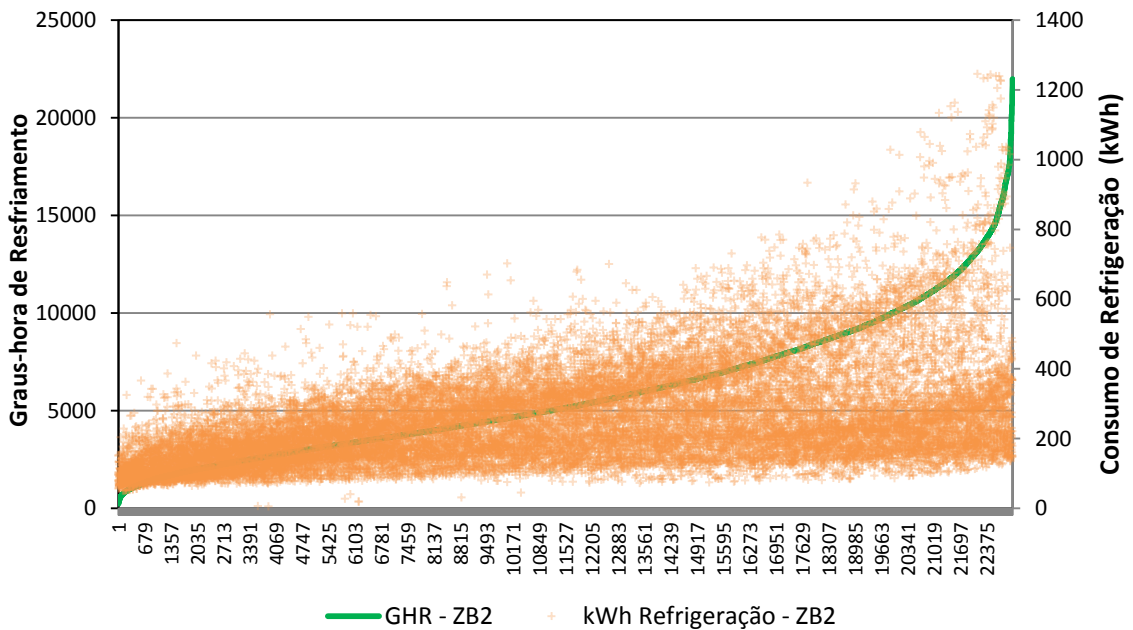


Figura 20 - Relação graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-2.

### 3.4 Zona Bioclimática 3

Na Zona Bioclimática 3 foi simulada com o arquivo climático TRY da cidade de Florianópolis (SC), foram simulados 8.640 ambientes de permanência prolongada, com diferentes parâmetros construtivos e geométricos, os resultados de  $GHR$  são apresentados na Figura 21. A variação dos graus-hora de resfriamento dos ambientes foi de 0 a 10.345  $GHR$ . De acordo com os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentam a seguinte distribuição: Nível “A” até 822  $GHR$  foram 2.876 ambientes, nível “B” de 823  $GHR$  a 1.643  $GHR$  foram 2.109 ambientes, nível “C” de 1.644  $GHR$  a 2.465  $GHR$  foram 1.341 ambientes, nível “D” de 2.465  $GHR$  a 3.286  $GHR$  foram 911 ambientes e no nível “E” superior a 3.286  $GHR$  foram 1.403 ambientes.

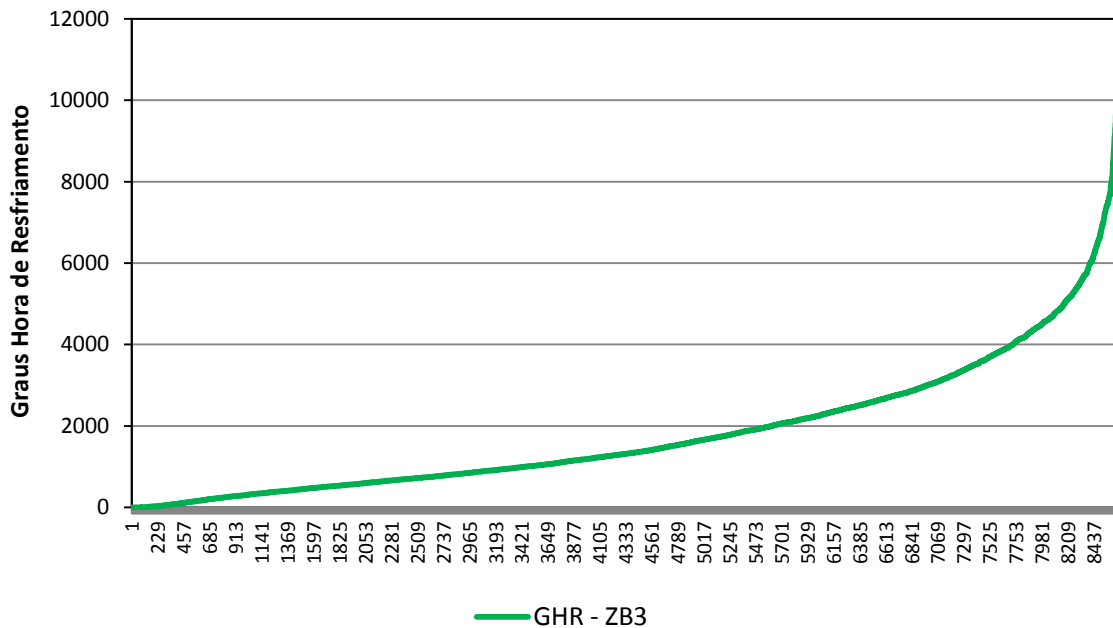


Figura 21 - Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 3.

Os resultados do consumo de energia para aquecimento ( $C_A$ ) dos ambientes de permanência prolongada da ZB-3 são apresentados na Figura 22. A variação do consumo de energia para aquecimento entre os ambientes simulados da ZB-3 foi de 28 a 863 kWh/ano.

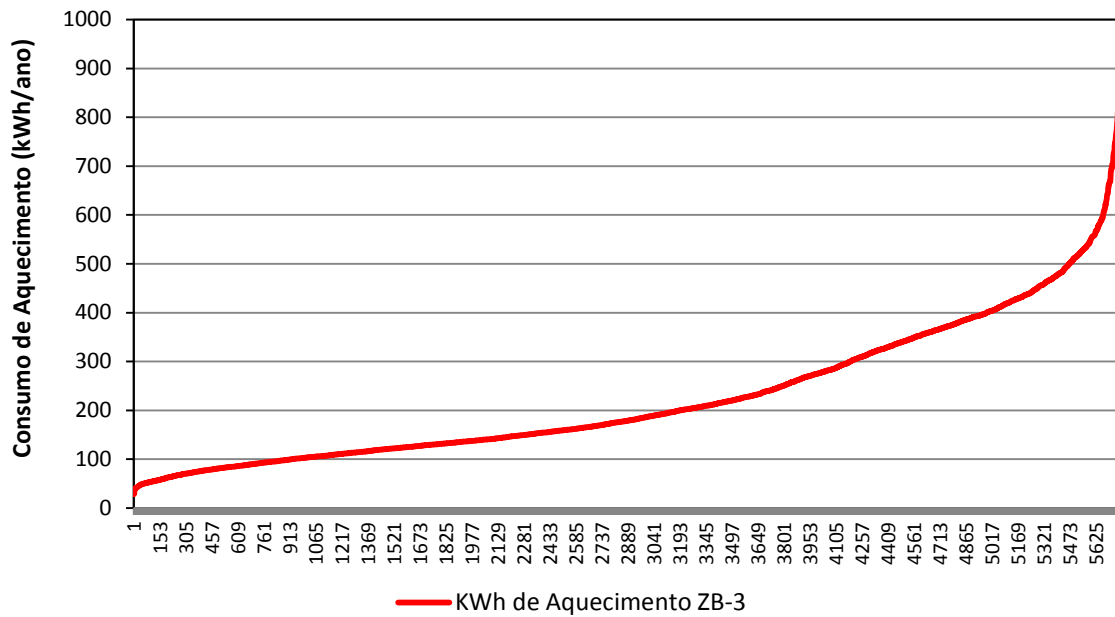


Figura 22 - Gráfico do consumo de energia para aquecimento da Zona Bioclimática 3.

A Figura 23 apresenta o desempenho da envoltória se refrigerada artificialmente para a ZB-3. Observa-se que a variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados foi de 74 a 1.120 kWh/ano.

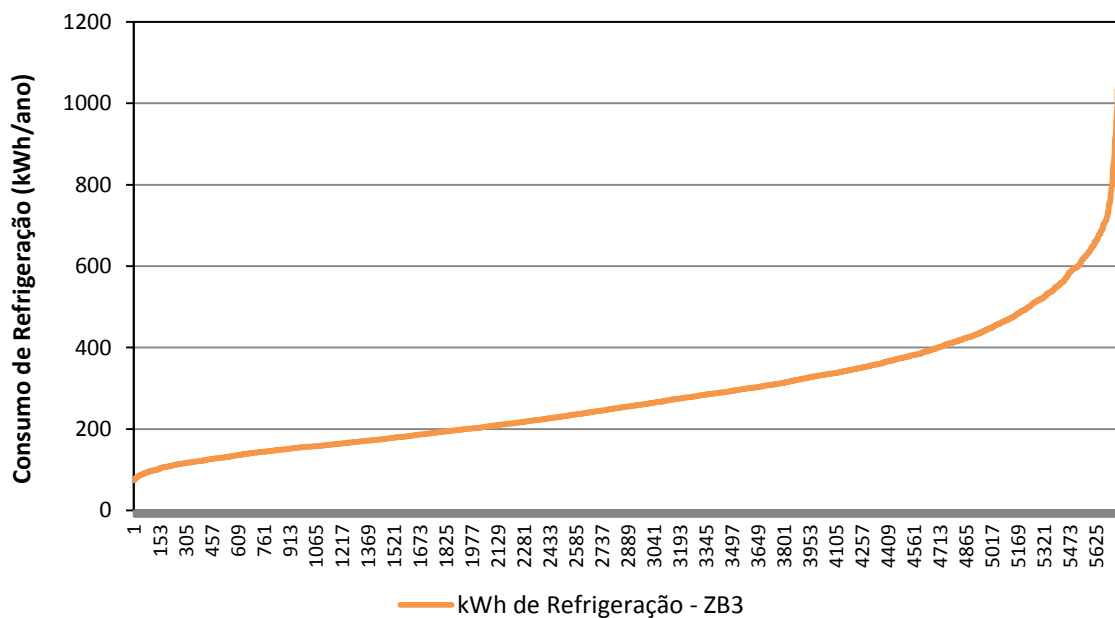


Figura 23 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 3.

A Figura 24 apresenta a relação dos graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-3.

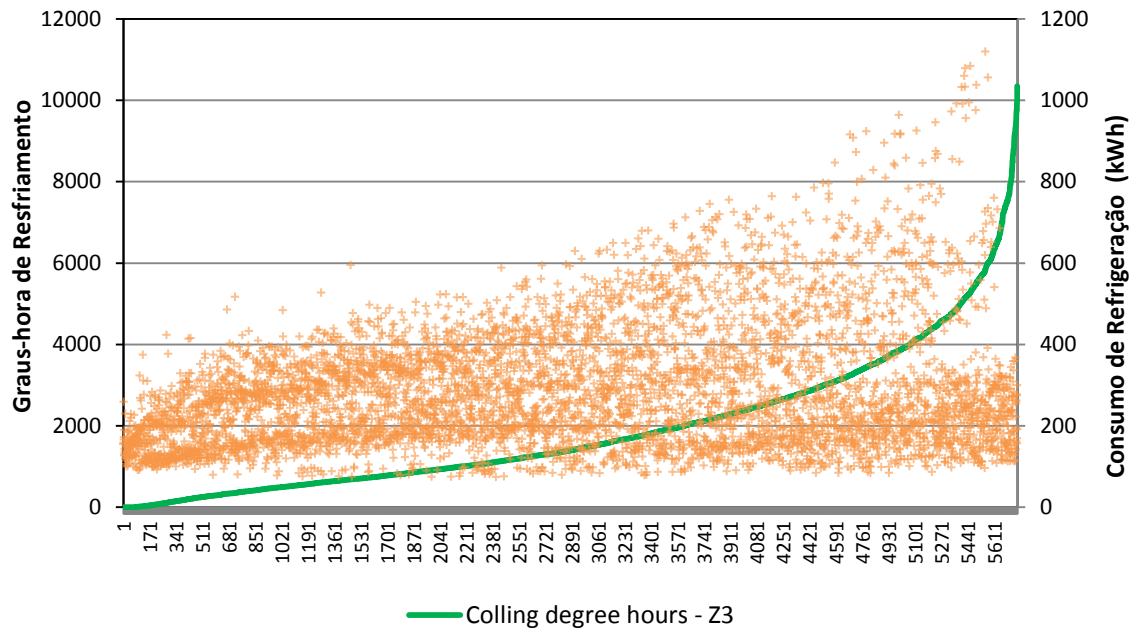


Figura 24 - Relação dos graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-3.

### 3.5 Zona Bioclimática 4

A Zona Bioclimática 4 foi simulada com o arquivo climático TRY da cidade de Brasília (DF), os resultados de  $GH_R$  são apresentados na Figura 25. A variação dos graus-hora de resfriamento dos ambientes foi de 0 a 14.816  $GH_R$ . De acordo com os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentam a seguinte distribuição: Nível "A" até 727  $GH_R$  foram 5.777 ambientes, nível "B" de 728  $GH_R$  a 1.453  $GH_R$  foram 791 ambientes, nível "C" de 1.453  $GH_R$  a 2.180  $GH_R$  foram 565 ambientes, nível "D" de 2.181  $GH_R$  a 2.906  $GH_R$  foram 396 ambientes e no nível "E" superior a 2.907  $GH_R$  foram 1.111 ambientes.



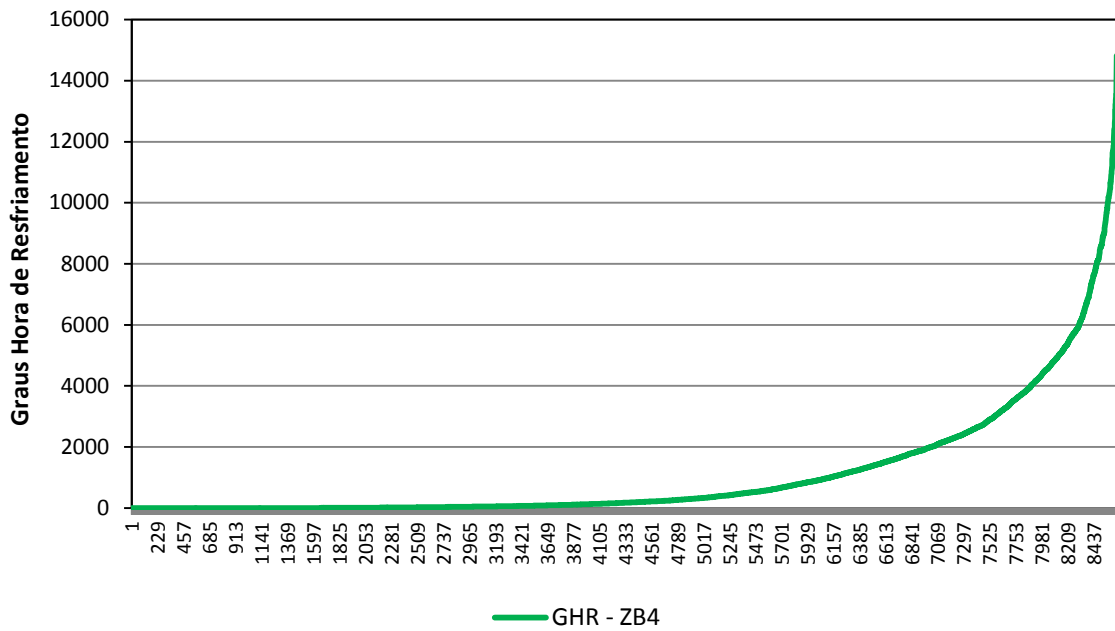


Figura 25 - Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 4.

Na Figura 26 são apresentados os resultados do consumo de energia para aquecimento ( $C_A$ ) dos ambientes de permanência prolongada da ZB-4. A variação do consumo de energia para aquecimento entre os ambientes simulados da ZB-4 foi de 1 a 675 kWh/ano.

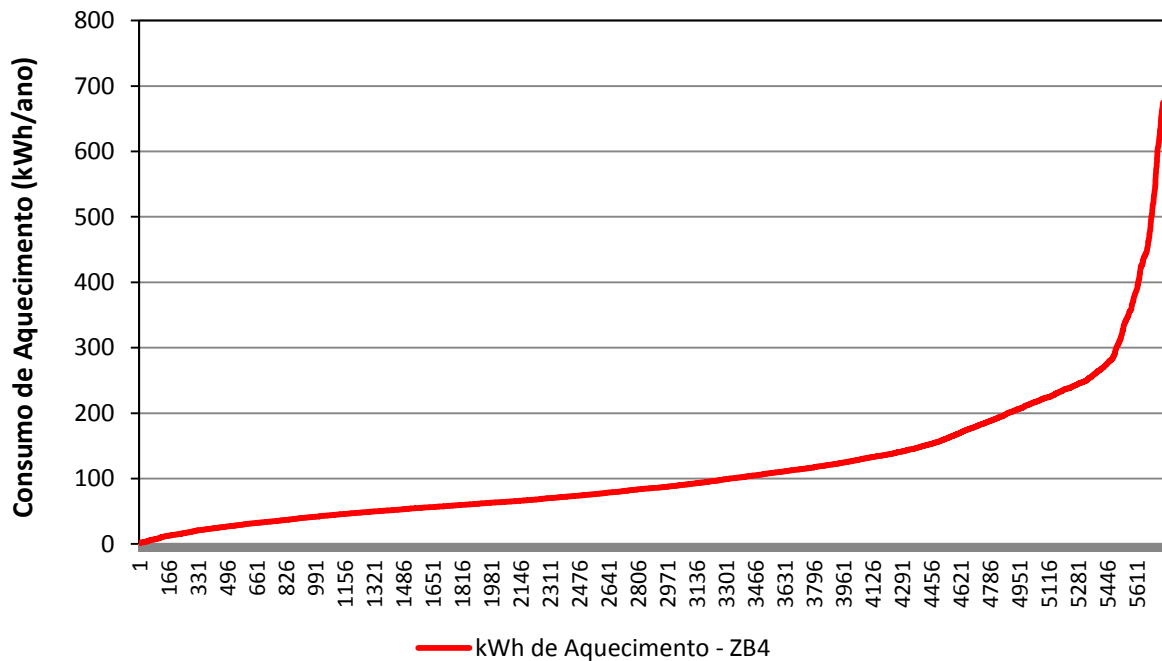


Figura 26 - Gráfico do consumo de energia para aquecimento da Zona Bioclimática 4.

A Figura 27 apresenta o desempenho da envoltória se refrigerada artificialmente para a ZB-4. Observa-se que a variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados foi de 0 a 1.495 kWh/ano.

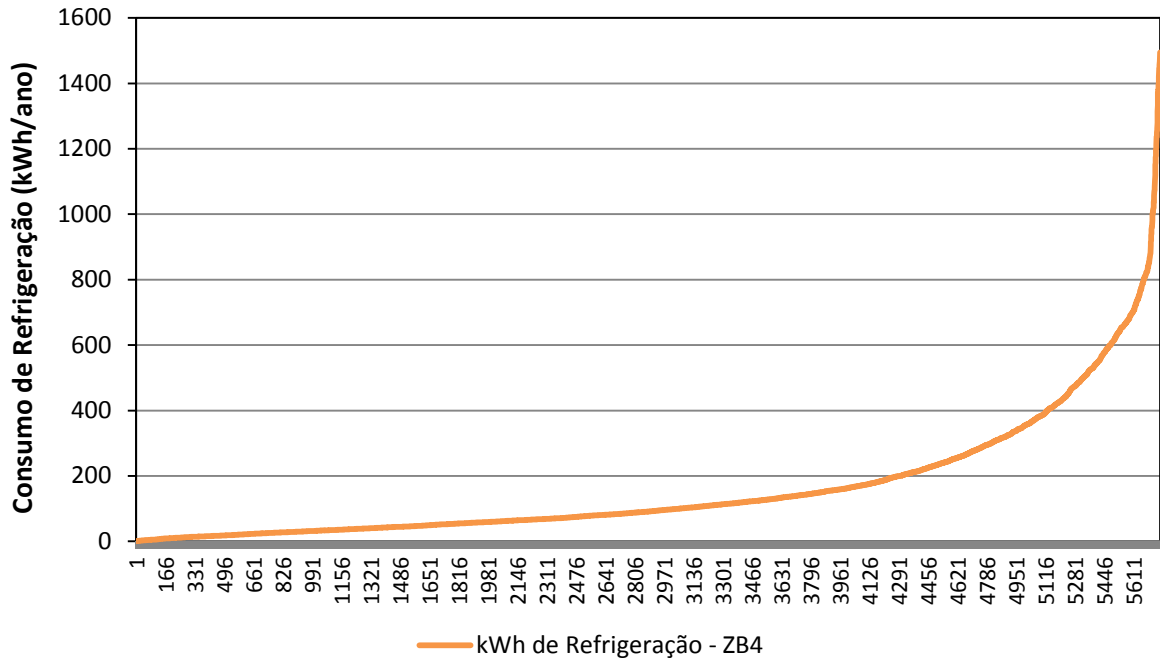


Figura 27 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 4.

A Figura 28 apresenta a relação dos graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-4.

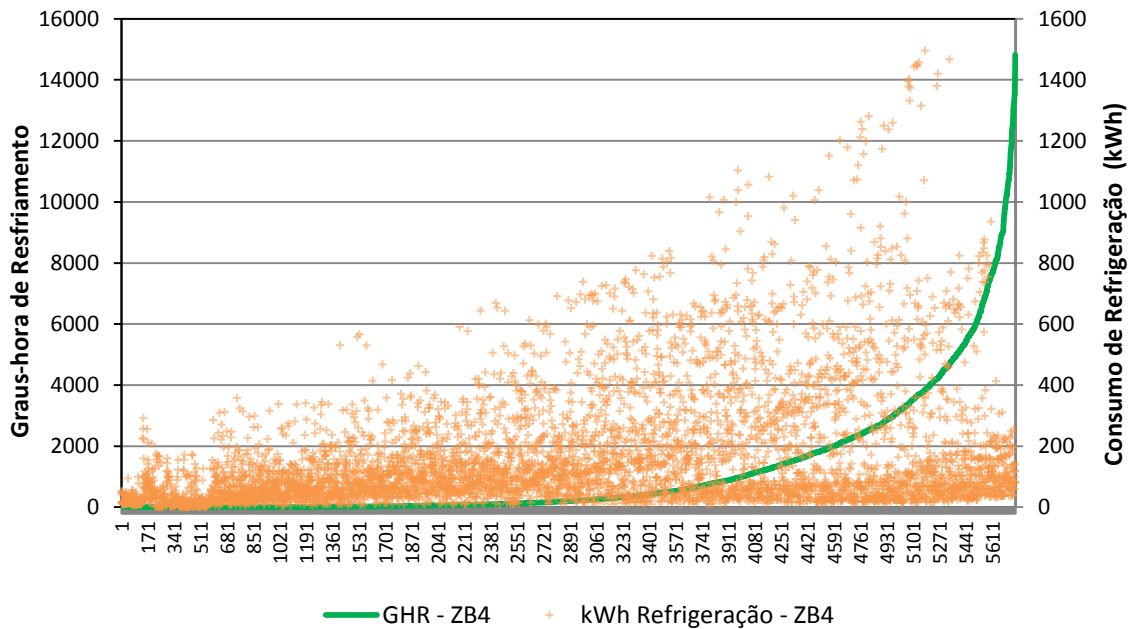


Figura 28 - Relação dos graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-4.

### 3.6 Zona Bioclimática 6

Na Figura 29, são apresentados os resultados de  $GH_R$  das simulações da Zona Bioclimática 6, que foi simulado com o arquivo climático TMY2 da cidade de Campo Grande (MS). A variação dos graus-hora de resfriamento entre os ambientes foi de 0 a 27.362  $GH_R$ . De acordo com os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentam a seguinte distribuição: Nível “A” até 2.745  $GH_R$  foram 2.550 ambientes, nível “B” de 2.746  $GH_R$  a 5.489  $GH_R$  foram 2.097 ambientes, nível “C” de 5.490  $GH_R$  a 8.234  $GH_R$  foram 1.374 ambientes, nível “D” de 8.235  $GH_R$  a 10.978  $GH_R$  foram 1.080 ambientes e no nível “E” superior a 10.979  $GH_R$  foram 1.539 ambientes.

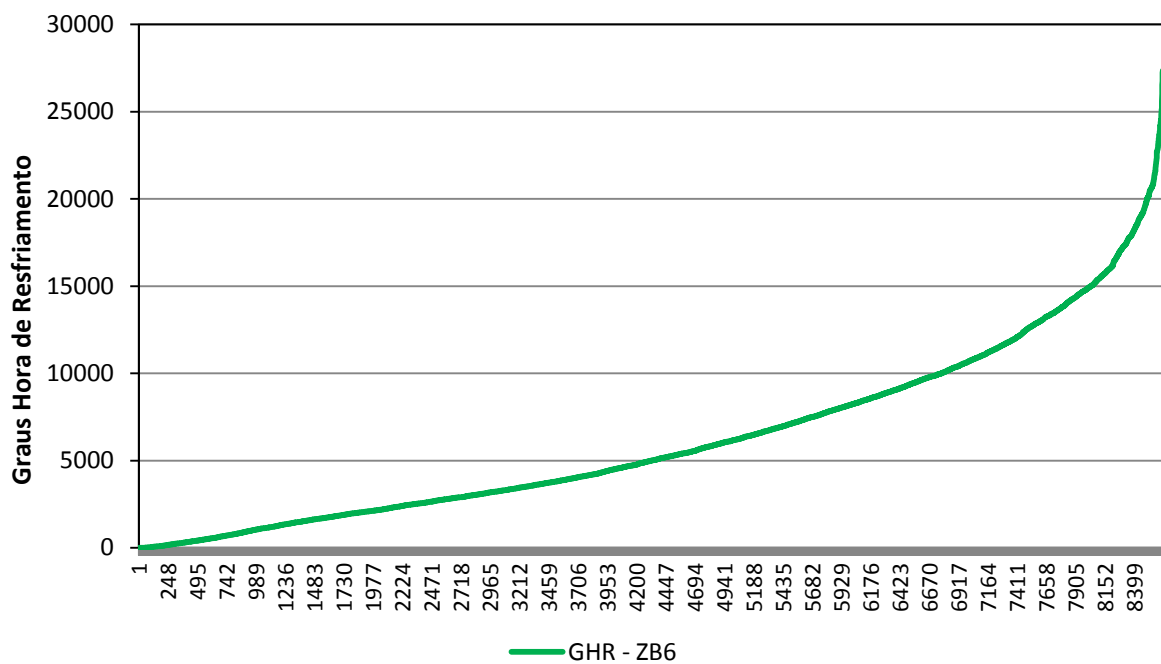


Figura 29 - Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 6.

O consumo de energia para refrigeração ( $C_R$ ) dos ambientes de permanência prolongada da ZB-6 é apresentado na Figura 30. A variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados da ZB-6 foi de 119 a 2.534 kWh/ano.

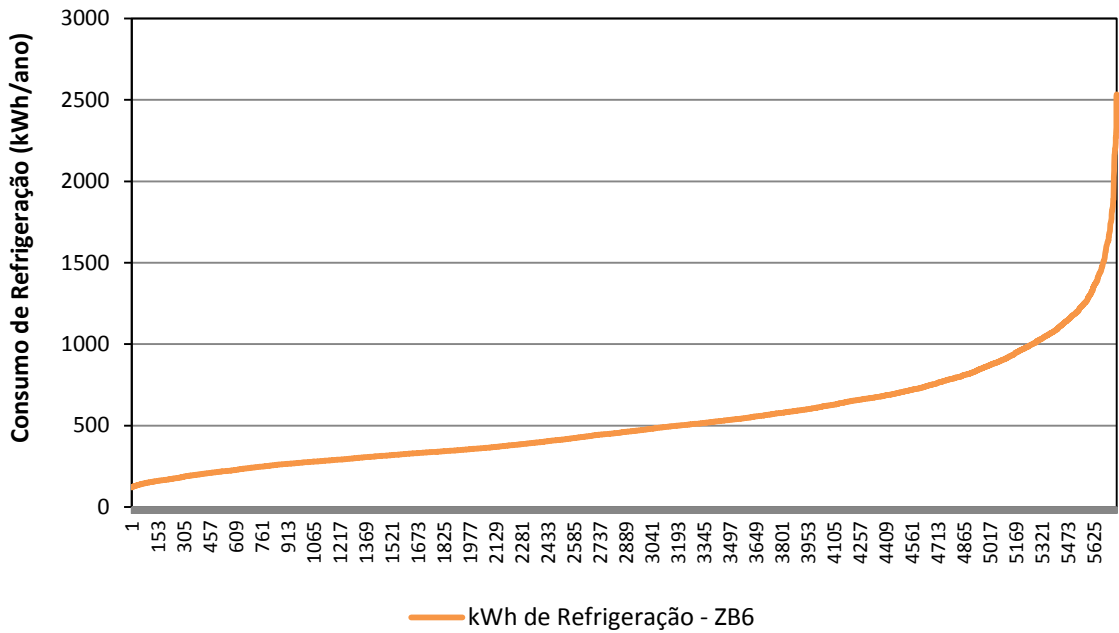


Figura 30 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 6.

A Figura 31 apresenta a relação dos graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-6.

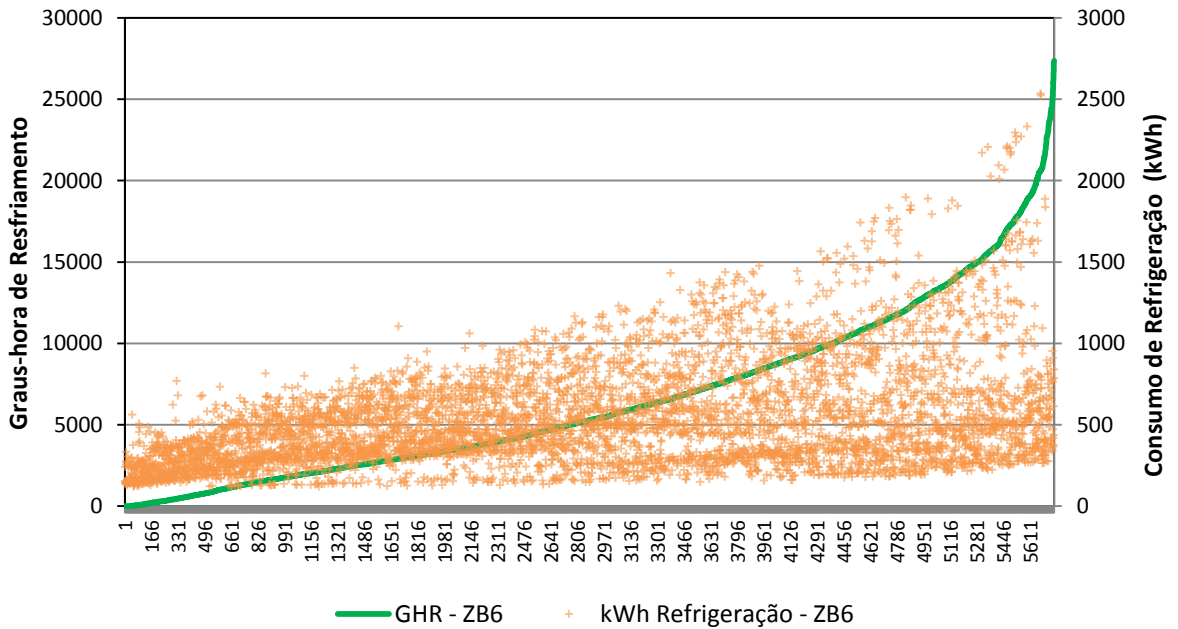


Figura 31 - Relação dos graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-6.

### 3.7 Zona Bioclimática 7

A Zona Bioclimática 7 foi simulada com o arquivo climático TMY2 da cidade de Cuiabá (MT), os resultados de  $GHR$  são apresentados na Figura 32. A variação dos graus-hora de resfriamento dos ambientes foi de 6.509 a 45.686  $GHR$ . De acordo com os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentam a seguinte distribuição: Nível “A” até 12.566  $GHR$  foram 1.347 ambientes, nível “B” de 12.567  $GHR$  a 18.622  $GHR$  foram 2.901 ambientes, nível “C” de 18.623  $GHR$  a 24.679  $GHR$  foram 2.228 ambientes, nível “D” de 24.680  $GHR$  a 30.735  $GHR$  foram 1.381 ambientes e no nível “E” superior a 30.735  $GHR$  foram 783 ambientes.

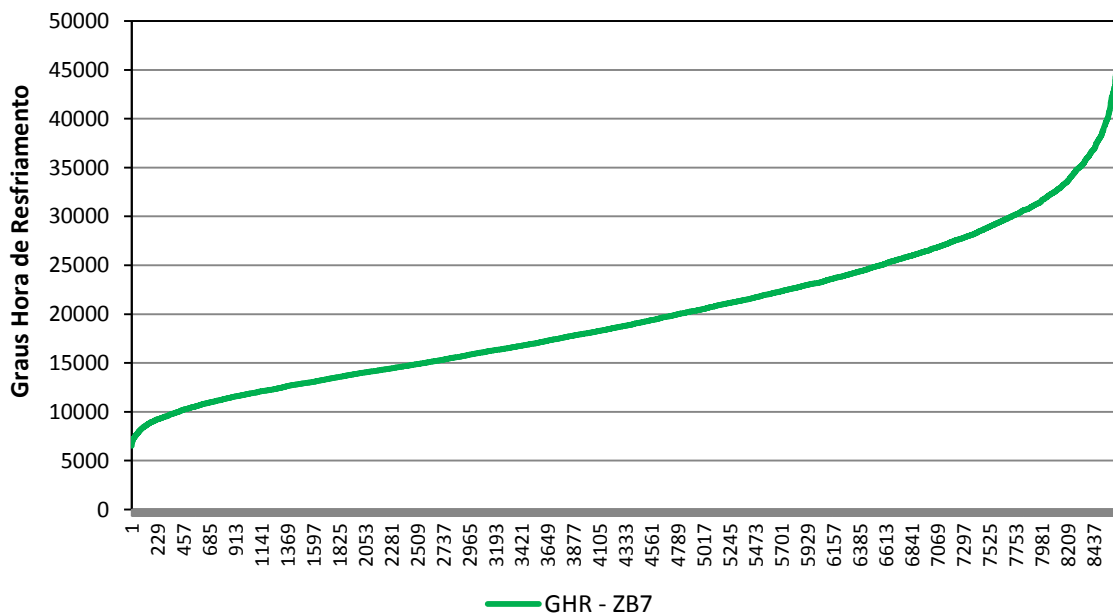


Figura 32 - Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 7.

A Figura 33 apresenta o desempenho da envoltória se refrigerada artificialmente para a ZB-7. Observa-se que a variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados foi de 557 a 4.101 kWh/ano.

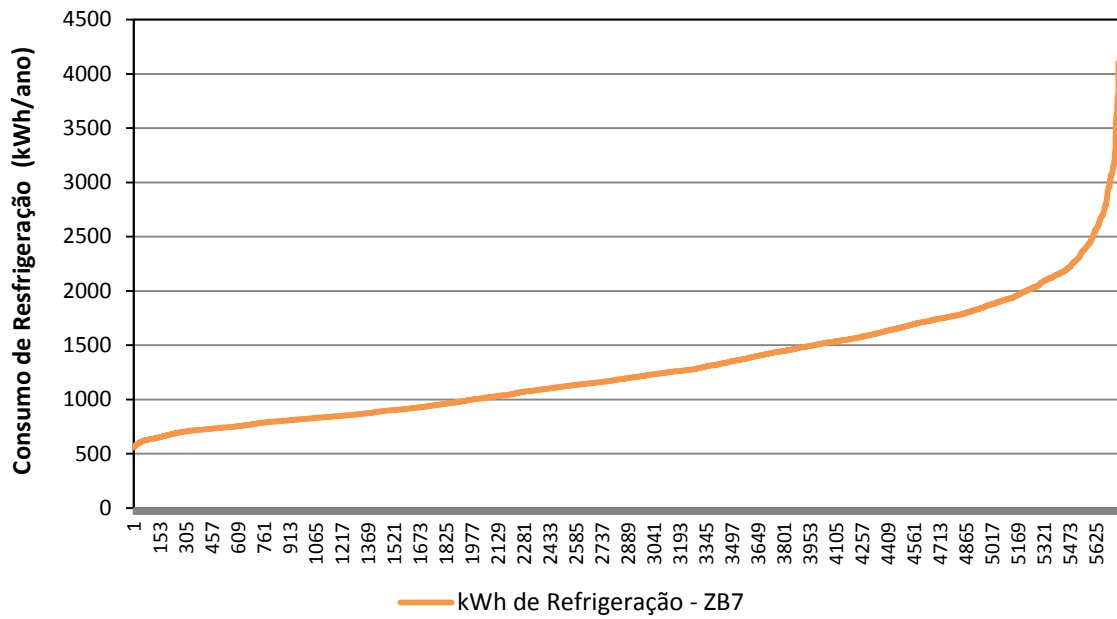


Figura 33 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 7.

A Figura 34 apresenta a relação dos graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-7.

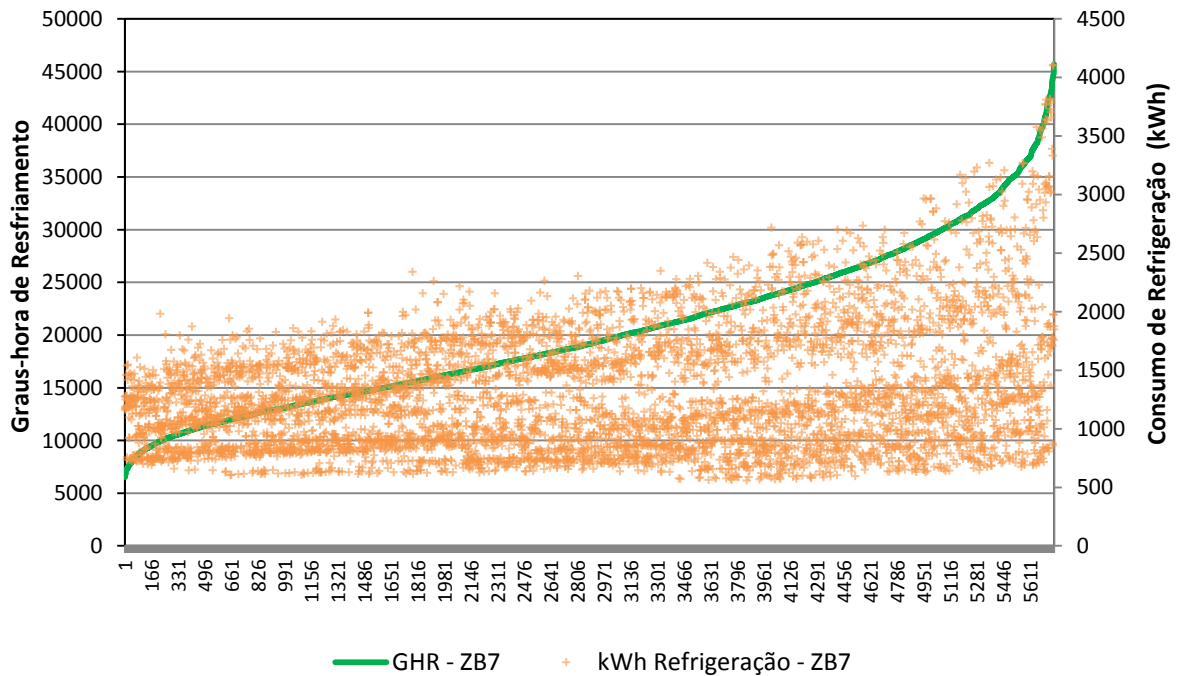


Figura 34 – Relação dos graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-7.

### 3.8 Zona Bioclimática 8

Na Figura 35, são apresentados os resultados de  $GHR$  das simulações da Zona Bioclimática 8, que foi simulado com o arquivo climático TRY da cidade de Salvador (BA). A variação dos graus-hora de resfriamento entre os ambientes foi de 2.053 a 30.956  $GHR$ . De acordo com os níveis de eficiência do RTQ-R os ambientes apresentam a seguinte distribuição: Nível “A” até 5.209  $GHR$  foram 2.299 ambientes, nível “B” de 5.210  $GHR$  a 8.365  $GHR$  foram 2.414 ambientes, nível “C” de 8.366  $GHR$  a 11.520  $GHR$  foram 1.695 ambientes, nível “D” de 11.520  $GHR$  a 14.676  $GHR$  foram 1.116 ambientes e no nível “E” superior a 14.677  $GHR$  foram 1.117 ambientes.

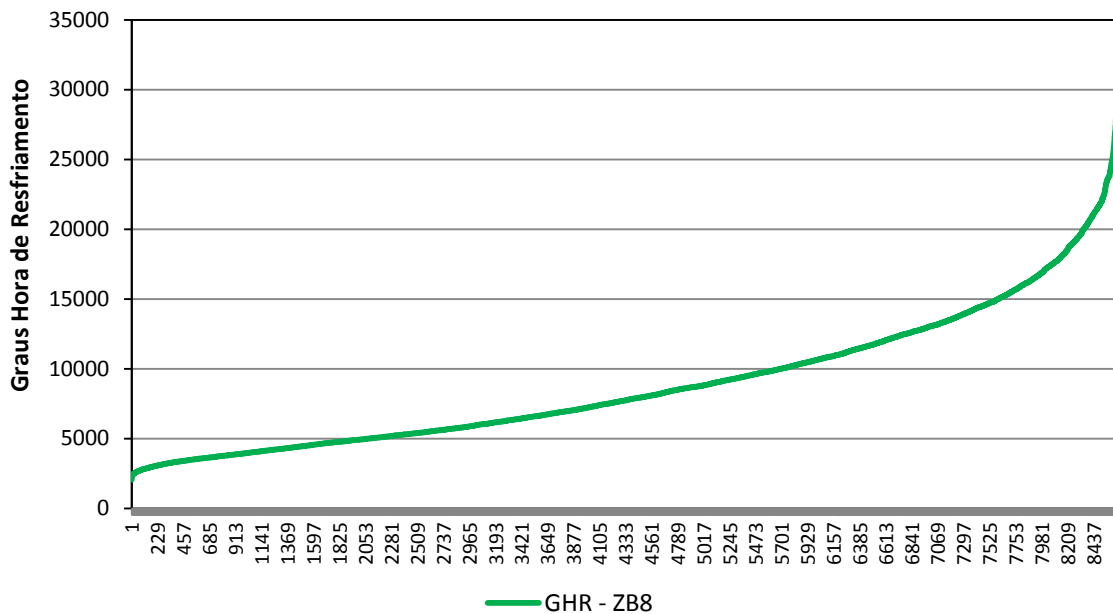


Figura 35 - Gráfico dos graus-hora de resfriamento da Zona Bioclimática 8.

O desempenho da envoltória se refrigerada artificialmente para a ZB-8 é apresentado na Figura 36. Nota-se que a variação do consumo de energia para refrigeração entre os ambientes simulados foi de 343 a 3.085 kWh/ano.

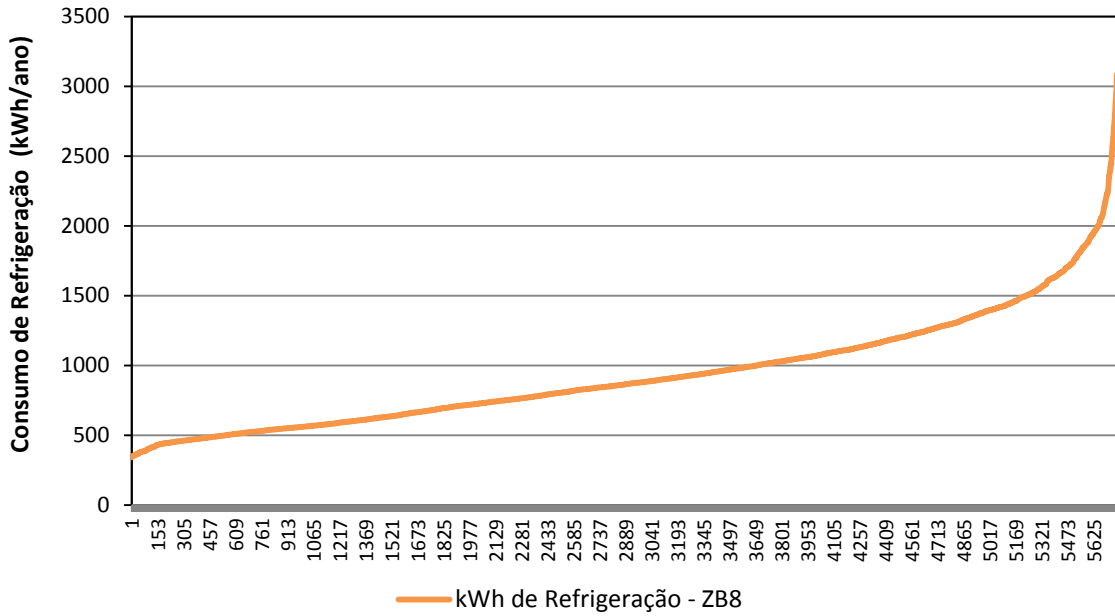


Figura 36 - Gráfico do consumo de energia para refrigeração da Zona Bioclimática 8.

A relação dos graus hora de resfriamento (GHR) e consumo de refrigeração ( $C_R$ ) do sistema de condicionamento artificial (HVAC) da ZB-8 é apresentada na Figura 37.

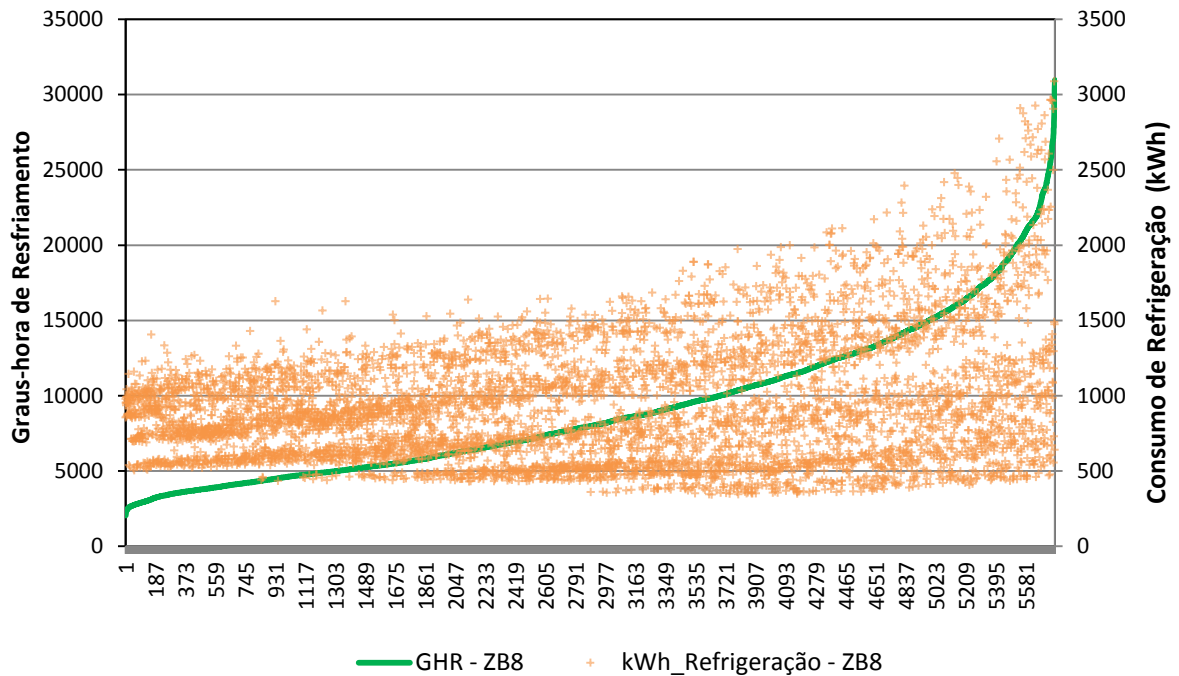


Figura 37 – Relação dos graus hora de resfriamento e consumo de refrigeração do sistema HVAC da ZB-8



### 3.9 Informações dos arquivos da base de simulação

Os nomes das pastas da base de simulação são formados por campos digitados em letras separados por underline quando o campo é maiúsculo e por letra maiúscula quando o campo tem somente a letra inicial maiúscula. A ordem dos campos é a seguinte:

#### Curitiba\_QuadHVACIsolVid

```

|           | | | |
|           | | | | +----- 5 – Tipo de vidro
|           | | | | +----- 4 – Material
|           | | +----- 3 – Sistema
|           | +----- 2 – Modelo
+----- 1 – Cidade

```

1 – Nome da cidade: Indica o nome da cidade em letras maiúsculas. A separação do campo é através do underline (\_);

2 – Modelo: Indica à abreviatura do modelo (ver abreviação), são quatro ou cinco caracteres com a letra inicial do campo em maiúscula;

3 – Sistema: Indica à utilização de sistema de condicionamento de ar artificial (ver abreviação), o sistema é indicado com quatro caracteres em letras maiúsculas;

4 – Material: Indica a utilização de Isolamento nas paredes e cobertura no conjunto de simulações (ver abreviações), são três caracteres para o campo com a letra inicial em maiúscula;

5 – Tipo de Vidro: Indica a utilização de vidro duplo no conjunto de simulações, a letra inicial do campo é maiúscula;

Observação: O campo sistema é utilizado somente no conjunto de simulações que foram modelados o HVAC, para os conjuntos de simulações com ventilação natural não utiliza-se este campo.

#### Abreviaturas:

- Isol – Isolante
- Vid – Vidro duplo
- Hvac – Ar condicionado
- Duplo – Modelo 1 (Pé direito duplo)
- Quad – Modelo 2 (Quadruplicado)

Obs: O modelo base possui não possui nomenclatura.

#### Exemplos:

- 1) CURITIBA - Caso base para a cidade de Florianópolis;
- 2) CURITIBA\_Isol – Caso base com isolamento para a cidade de Florianópolis;
- 3) CURITIBA\_DuploIsol – Caso com pé direito duplo e isolamento para a cidade de Florianópolis;
- 4) CURITIBA\_QuadIsolVid – Caso com área quadruplicada (Modelo 2), isolamento e vidro duplo, para a cidade de Florianópolis;
- 5) CURITIBA\_QuadHVAC – Caso com área quadruplicada (modelo 2) e com sistema de condicionamento artificial;
- 6) CURITIBA\_QuadHVACIsolVid - Caso com área quadruplicada, sistema de condicionamento artificial, isolamento e vidro duplo, para a cidade de Florianópolis;

A Tabela 24 e Tabela 25 apresentam a estrutura da organização das pastas da base de simulação do RTQ-R.

Tabela 24 – Estrutura da organização das pastas da base de simulação do RTQ-R.

Localização	Cidade	Informações do Modelo	Informações de Orientação e Situação	Tipo de Parede	Arquivos da pasta
E:\Simulacoes Residencial	\CURITIBA	\CURITIBA	CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
E:\Simulacoes Residencial	\CURITIBA	\CURITIBA_Isol	CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
E:\Simulacoes Residencial	\CURITIBA	\CURITIBA_Duplolsol	CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv e err)

Tabela 25 – Estrutura da organização das pastas da base de simulação do RTQ-R.

Localização	Cidade	Informações do Modelo	Informações de Orientação e Situação	Tipo de Parede	Arquivos da pasta
E:\Simulacoes Residencial	\CURITIBA	\CURITIBA_QuadIsoVid	CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
E:\Simulacoes Residencial	\CURITIBA	\CURITIBA_QuadHVAC	CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
E:\Simulacoes Residencial	\CURITIBA	\CURITIBA_QuadHVACIsoVid	CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 0 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
			PILOTIS - CASOS_MULTIVARIADA 90 GRAUS	PAREDE AGUA	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE COMUM	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)
				PAREDE ISOPOR	CASO A1 a E2 (idf, csv html, err)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresentou a metodologia utilizada para o desenvolvimento da base de simulação de edificações residenciais. Através das simulações realizadas montou-se uma base de dados para desenvolver as equações de regressão linear múltipla do método prescritivo para avaliação do nível de eficiência da envoltória do RTQ-R. A base é composta por 112.320 ambientes de permanência prolongada, ventilados naturalmente e 74.880 ambientes condicionados artificialmente, no total foram 9.360 horas de simulação computacional.

A variação dos parâmetros da base (orientação, tipologias construtivas, características geométricas, propriedades termofísicas e localização dos ambientes) buscou-se avaliar a influência de cada parâmetro no desempenho térmico e energético das edificações residenciais. As simulações da base possuem algumas limitações, como: o padrão de uso, padrão de ventilação, padrão de condicionamento artificial e tipologias arquitetônicas.

Os ambientes condicionados naturalmente foram analisados através do desempenho do somatório de graus-hora de resfriamento, já o desempenho dos ambientes quando condicionado artificialmente foram analisados através do consumo de energia do sistema de condicionamento artificial, para resfriamento e aquecimento. A Tabela 26 apresenta o desempenho do melhor e pior caso para os graus-hora de resfriamento ( $GH_R$ ), consumo de refrigeração ( $C_R$ ) e consumo de aquecimento ( $C_A$ ) para cada zona bioclimática brasileira.

Tabela 26 – Resumo do desempenho dos casos simulados.

ZONA	$GH_R$ Mínimo	$GH_R$ Máximo	$C_R$ Mínimo kWh/ano	$C_R$ Máximo kWh/ano	$C_A$ Mínimo kWh/ano	$C_A$ Máximo kWh/ano
ZB-1	0	3.711	0	382	120	2.026
ZB-2	225	21.974	6	1.245	120	1.218
ZB-3	0	10.345	74	1.120	28	863
ZB-4	0	14.816	0	1.495	1	675
ZB-6	0	27.362	119	2.534	-	-
ZB-7	6.509	45.686	557	4.101	-	-
ZB-8	2.053	30.956	343	3.085	-	-

Os resultados das simulações mostraram que as estratégias de uma edificação condicionada naturalmente são diferentes as estratégias de uma edificação condicionada artificialmente, geralmente às edificações ventiladas naturalmente a inércia térmica melhora o desempenho, se

utilizada de forma correta, já em edificações condicionadas artificialmente a inércia térmica pode aumentar o consumo de energia. Os gráficos que relacionam os  $GH_R$  versus o  $C_R$  demonstram as diferenças nas estratégias das edificações condicionadas naturalmente em relação às edificações condicionadas artificialmente.

Os resultados mostram que o desempenho do ambiente depende da combinação de vários parâmetros (sombreamento das aberturas, áreas das superfícies expostas para o exterior, propriedades térmicas dos materiais, orientação, área do ambiente, volume do ambiente e outros), a influência de um parâmetro pode ser mais relevante devido às combinações.

A base de simulação de edificações residenciais buscou de forma simplificada definir uma metodologia para avaliar o desempenho da envoltória para o RTQ-R. Para avaliar o desempenho térmico e energético de edificações residenciais com maior precisão, devem-se conhecer as limitações da ferramenta computacional e também modelar as condições de operação da edificação conforme os hábitos e preferências dos usuários.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

AKINS, R. E.; PETERKA, J. A.; CERMAK, J. E. **Averaged Pressure Coefficients for Rectangular Buildings**. Fifth International Conference. ENGINEERING, W. New York: Pergamon Press 1979.

ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 140-2007**: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, 2007.

\_\_\_\_\_. **ASHRAE Handbook Fundamentals**. Atlanta, 2009.

AYNSLEY, R. M. Unresolved Issues in Natural Ventilation for Thermal Comfort INTERNATIONAL ONE DAY FORUM ON NATURAL AND HYBRID VENTILATION, 1999. Sydney.

BRASIL. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Brasília-DF 2001a.

\_\_\_\_\_. **Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Brasília-DF 2001b.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. LABEEE - Laboratório Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.

**CPCALC+. Program Calculating Wind Pressure Coefficients on Building**, versão: 3.001. Politecnico di Torino. Dipartimento di Scienze e Tecniche per i Processi di insediamento Human Settlement Sciences Department. Torino, 1995.

DOE, U. S. D. O. E. **EnergyPlus Energy Simulation Software**: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm) 2008.

ENERGYPLUS. **Input Output Reference**. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. University of Illinois or the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Chicago, Illinois. 2010.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável**. Rio de Janeiro: 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 2004.

MARION, W.; URBAN, K. **User's Manual for TMY2s and TMY2s Typical Meteorological Years**. Derived from the 1961-1990 National Solar Radiation Data Base. National Renewable Energy Laboratory - NREL. Colorado. 1995.

OLESEN, B. W. The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 7, p. 740-749, 2007.

ORDENES, M. et al. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no VISUALDOE-3.1**. LABEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 3, p. 272-278, 2009.

TNO Building Research. TNO Built Environment and Geosciences. **Cp Generator**. <http://cpgen.bouw.tno.nl/cp/>. 30 Março 2010.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2009.

SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. **ANÁLISE DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS SWERA**. Nota Técnica 01/2011. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2011.

SPITLER, J. D.; REES, S. J.; DONGYI, X. **Development of an Analytical Verification Test Suite for Whole Building Energy Simulation Programs – Building Fabric - ASHRAE 1052-RP**. Oklahoma State University - School of Mechanical and Aerospace Engineering. Oklahoma. 2001.

TOKYO POLYTECHNIC UNIVERSITY. Wind Engineering Information Center. **TPU Aerodynamic Database**. <http://wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>. 25 Janeiro 2010.

WALTON, G. N. **AIRNET - A Computer Program for Building Airflow Network Modeling**. Gaithersburg, Mariland: NISTIR, 1989.