AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL POR MEIO DA INI-C SOB O EFEITO DE DIFERENTES TIPOLOGIAS DE USO

Eduardo Pierozan (1); Elise Sommer Watzko (2); Enedir Ghisi (3); Greice V. P. Salvati (4)

(1) Engenheiro, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, eduardo.pierozan@posgrad.ufsc.br
(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia de Energia, elise.sommer@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. de Energia e Sustentabilidade, Araranguá-SC Tel.: (48) 37217162
(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. de Eng. Civil, Cx Postal 476, Florianópolis–SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184
(4) Mestra, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, gvpsalvati@ucs.br, Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Artes e Arquitetura, Caxias do Sul–RS, Campus 8, Tel.: (54) 54 3289-9000

RESUMO

As edificações comerciais são o terceiro setor que mais consome energia elétrica no Brasil, ficando atrás somente dos setores industrial e residencial. Este artigo tem como objetivo avaliar a classe de eficiência energética da envoltória de uma edificação comercial no clima da serra gaúcha, sob o efeito de diferentes tipologias de uso. O método está dividido em três etapas principais: definição do objeto de estudo, definição dos componentes da envoltória da edificação real e aplicação do procedimento computacional de avaliação de eficiência energética previsto na Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Os resultados são expressos em termos do percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real, com isolamento térmico da envoltória, e a condição de referência. No cenário considerando a tipologia escritórios o percentual de redução foi de 0,7%, e a edificação recebeu classe D de eficiência. No cenário considerando a tipologia comércio varejista ocorreu aumento de 2,0% no consumo de energia, e a edificação recebeu classe E de eficiência. A principal diferença entre os dois cenários foram os valores das cargas internas e o número total de horas de ocupação no ano, que foram mais elevados para a tipologia de comércio. Além do contexto bioclimático, o uso pretendido para a edificação e as cargas internas previstas são variáveis de fundamental importância para definição dos componentes da envoltória e suas propriedades térmicas.

Palavras-chave: eficiência energética, simulação computacional, etiquetagem de edificações.

ABSTRACT

Commercial buildings are the third sector in energy consumption in Brazil, behind only the industrial and residential sectors. This paper aims to evaluate the class of energy efficiency of the envelope of a commercial building in the southern Brazilian climate, under the effect of different types of use. The method is divided into three main stages: definition of a study object, definition of the components of the envelope of the real building and application of the computational procedure for the evaluation of energy efficiency shown in the Inmetro Normative Instruction for the Classification of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C). The results are shown in terms of the percentage of reduction in primary energy consumption between the real building, with thermal insulation of the envelope, and the reference building. In the scenario considering the typology of offices, the percentage of reduction was 0.7%, and the building received label D of efficiency. In the scenario considering the retail typology, there was an increase of 2.0% in the energy consumption and the building received label E. The main difference between the two scenarios was the internal loads and the annual number of occupied hours, which were higher for the retail typology. In addition to the bioclimatic context, the intended use for the building and the expected internal loads are variables of fundamental importance for defining the envelope components and their thermal properties.

Keywords: energy efficiency, computer simulation, building labeling.

1. INTRODUÇÃO

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) foi instituído no ano de 2010 com o propósito de zelar pela eficiência energética e estabelecer requisitos mínimos de desempenho para os edifícios comerciais, de serviços e públicos (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010). Em março de 2021 o Ministério da Economia em conjunto com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) aprovou a nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que aperfeiçoou e substituiu o RTQ-C (BRASIL, 2021). O novo método para avaliação de desempenho energético das edificações baseia-se no consumo de energia primária, e compara a edificação considerando suas características reais com a mesma edificação adotando-se características de referências, que equivalem à classe D de eficiência energética. A opção por utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência permite que tanto a energia elétrica, quanto a energia térmica, oriundas de diversas fontes, sejam contabilizadas (LABEEE, 2021). O uso de energia primária como métrica de avaliação de eficiência energética em edificações já é internacionalmente consolidado (CAO; DAI; LIU, 2016; CONGEDO et al., 2015; MARSZAL et al., 2011).

O estabelecimento de padrões para a avaliação e classificação de edifícios, em termos de desempenho energético, é uma alternativa utilizada e reconhecida internacionalmente para reduzir o consumo de energia nas edificações (FOSSATI et al., 2016). Códigos de eficiência energética de edificações são mais amplamente adotados em regiões frias do que em regiões quentes, sendo que a maioria dos países industrializados têm códigos compulsórios. Mesmo entre os países em desenvolvimento, esses códigos prevalecem na Europa Oriental e Leste Asiático, regiões de clima frio que exigem aquecimento das edificações. Nos centros urbanos dos países em desenvolvimento da América Latina e do Caribe os códigos são raros, e mesmo onde estão disponíveis, não foram implementados. Edificações nestas regiões demandam principalmente por resfriamento, com exceção do sul da Argentina e Chile. Por esta razão, muitos países introduziram padrões de eficiência energética para os equipamentos utilizados para fins de resfriamento (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

As edificações comerciais são o terceiro setor que mais consome energia elétrica no Brasil, ficando atrás somente dos setores industrial e residencial (EPE, 2020). Nesse contexto, a revisão e atualização das normativas que estabelecem métodos de avaliação de desempenho energético em edificações comerciais são de fundamental importância, no sentido de desenvolver projetos mais eficientes sob o ponto de vista energético.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar a classe de eficiência energética da envoltória de uma edificação comercial no clima da serra gaúcha, por meio da aplicação do método de simulação da Instrução Normativa INI-C do INMETRO.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

- Definição do objeto de estudo;
- Definição da composição da envoltória a ser avaliada;
- Aplicação do procedimento computacional de avaliação de eficiência energética previsto na INI-C, para as tipologias comércio (varejo) e escritórios.

O programa EnergyPlus versão 9.3 foi utilizado para a simulação computacional.

3.1. Definição do objeto de estudo

O objeto de estudo é uma edificação comercial em fase de projeto a ser construída no município de Bentos Gonçalves – RS, na Zona Bioclimática 1 (ABNT, 2005). A composição da envoltória não foi indicada no projeto arquitetônico, cabendo a avaliação de desempenho energético para definir quais as técnicas construtivas mais apropriadas considerando o contexto bioclimático e as tipologias de uso previstas. Consideram-se dois usos possíveis para o edifício em questão: escritórios ou comércio varejista. Na Tabela 1 estão apresentadas as principais características geométricas do projeto. Utilizou-se o arquivo climático Bento Gonçalves INMET 869790 (CLIMATE.ONEBUILDING, 2021) com dados básicos registrados pelo INMET (INMET, 2020) entre os anos de 2001 e 2010, que representa o clima da região onde se localiza o estudo de caso.

Tabela 1– Principais características da edificação estudo de caso.

Elemento	Descrição
Número de pavimentos	Três (subsolo, térreo e primeiro andar)
Número de salas	Sete (três no subsolo, duas no pavimento térreo e duas no primeiro andar)
Área construída:	395,2 m²
Pé-direito	3,1 m
Volume total	1.322,6 m³
Área de envoltória	932,8 m²
Área de elementos transparentes	242,8 m²



Figura 1 – Edificação comercial estudo de caso (SALVATI PORTAL ARQUITETOS, 2016).

3.2. Determinação da classificação de eficiência energética

De acordo com a INI-C a classificação de eficiência energética geral das edificações deve ser realizada por meio do seu percentual de redução do consumo estimado de energia primária, comparando-se a edificação real com a edificação em sua condição de referência, equivalente à classificação D. O percentual de redução é calculado com base na Equação 1.

$$\mathrm{Red}C_{EP} = \left(\left(C_{EP,ref} - C_{EP,real} \right) / C_{EP,ref} \right) . 100 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
$\mathrm{Red}C_{EP}$ é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência;
$C_{EP,ref}$ é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);
$C_{EP,real}$ é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano).

A condição de referência deve ser adotada conforme a tipologia da edificação e as suas respectivas características de referência previstas na INI-C. No objeto de estudo deste trabalho foram avaliados dois cenários separadamente: tipologia comércio varejista e tipologia escritórios. O consumo de energia primária da edificação em suas condições real e de referência foi definido pela soma de seu consumo estimado de energia elétrica, multiplicado pelo seu respectivo fator de conversão. No objeto estudo não foi previsto o consumo de energia térmica nem a geração local de energia renovável. O consumo total de energia elétrica da edificação em sua condição real e condição de referência é composto pela soma dos consumos com condicionamento de ar (aquecimento e refrigeração), iluminação e consumo de equipamentos. Não foi considerado o uso de ventilação natural, havendo o condicionamento artificial do ar durante todo o período de operação. Esta condição de uso é frequente entre as edificações comerciais, apoiada pela relação de causa entre volume de vendas e o conforto térmico no interior aos estabelecimentos (EPE, 2018), no caso do comércio varejista, e pelas condições ambientais de trabalho no caso dos escritórios. A norma regulamentadora NR-17 (BRASIL, 1978) recomenda um índice de temperatura efetiva entre 20ºC e 23ºC para os locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes.

A estimativa do consumo de energia pode ser realizada por meio dos métodos simplificado e de simulação. No entanto o método simplificado não pode ser aplicado à edificação estudo de caso, porque o percentual de área de abertura da fachada ultrapassa do limite máximo estabelecido, de 80%. Portanto a carga térmica total para condicionamento de ar foi determinada por meio de simulação computacional. Foi considerada a existência de sombreamento por edificações vizinhas a norte e oeste nos modelos real e de referência (Figuras 2 e 3).

O modelo geométrico de real (Figura 2) representa a edificação avaliada, conservando suas características volumétricas, sombreamento por edificações vizinhas, propriedades térmicas e composições construtivas. O modelo de referência (Figura 3) representa a edificação avaliada, mas com as características de referência previstas na INI-C conforme a tipologia. Este modelo mantém a volumetria do modelo real e o sombreamento por edificações vizinhas, mas altera-se o percentual de área de abertura da fachada e as

propriedades térmicas dos sistemas construtivos, além de serem desconsideradas as proteções solares na fachada.

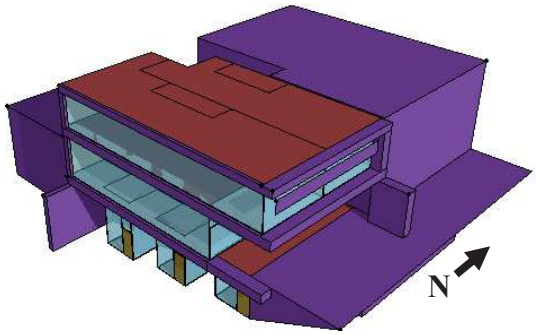


Figura 2 – Modelo geométrico da edificação real.

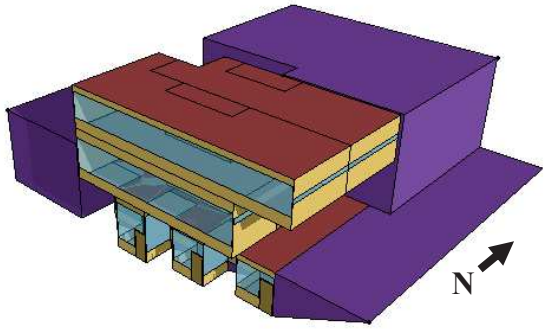


Figura 3 – Modelo geométrico da edificação de referência para a tipologia comércio.

De acordo com a INI-C o consumo de equipamentos para a edificação real e sua condição de referência deve ser o mesmo, e a sua determinação baseia-se na multiplicação entre a potência instalada de equipamentos e o tempo de uso da edificação. Neste estudo, que teve como foco a avaliação do desempenho da envoltória, considerou-se que o consumo em iluminação para a edificação real e de referência também foi o mesmo. Para a definição da escala de eficiência energética e classificação geral da edificação é necessário determinar os intervalos entre uma classificação e outra, de A a E. Para isso, obtém-se o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A, com base no fator de forma da edificação (Equação 2), juntamente com o grupo climático do município no qual estará localizada (Anexo G da INI-C).

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
FF é o fator de forma da edificação (m^2/m^3);
A_{env} é a área da envoltória (m^2);
V_{tot} é o volume total construído da edificação (m^3).

Definidos o grupo climático e o fator de forma da edificação, obteve-se o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A, utilizando as tabelas da INI-C. Os intervalos de classificação do consumo de energia primária foram definidos a partir da variável "i", determinada por meio da Equação 3. O valor de "i" é dividido em três parcelas iguais, sendo que cada parte se refere a uma classificação da escala de eficiência energética, conforme apresentado na Tabela 2. Caso a edificação real apresente consumo de energia primária superior à condição de referência, sua classificação final será E.

$$i = \frac{(C_{EP,ref} \cdot CRC_{EPD-A})}{3} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;
$C_{EP,ref}$ é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);
CRC_{EPD-A} é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

Tabela 2 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral da INI-C (BRASIL, 2021).

Classificação de eficiência	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Limite superior	-	$> C_{EP,ref} - 3i$	$> C_{EP,ref} - 2i$	$> C_{EP,ref} - i$	$> C_{EP,ref}$
Limite inferior	$\leq C_{EP,ref} - 3i$	$\leq C_{EP,ref} - 2i$	$\leq C_{EP,ref} - i$	$\leq C_{EP,ref}$	-

A classificação geral da edificação foi determinada por meio da comparação entre os valores de consumo de energia primária da edificação real e os intervalos calculados, identificando assim a classificação de eficiência energética geral.

O RTQ-C estabelecia pré-requisitos específicos de acordo com o nível de eficiência pretendido, dentre os quais a transmitância térmica máxima da envoltória. Para obtenção do nível A de eficiência na Zona

Bioclimática 1, a cobertura não poderia ter transmitância superior a 0,5 W/m²K e as paredes externas não poderiam ter transmitância superior a 1,0 W/m²K. Por este motivo optou-se por adotar, no caso da condição real, uma envoltória com materiais isolantes cujos valores de transmitância fossem próximos àqueles estabelecidos como requisito para nível A de eficiência pelo RTQ-C. Nas paredes externas considerou-se a camada de isolamento inserida no vão interno da parede dupla de alvenaria. Na cobertura considerou-se a camada de isolamento no interior da telha metálica do tipo "sanduíche". Na Tabela 3 são apresentadas as características da envoltória na condição real e na condição de referência, para ambas as tipologias.

Tabela 3 – Características dos modelos real e de referência, com base nos valores de referência para edificações de varejo – comércio e escritórios, conforme Anexo A da INI-C (BRASIL, 2021).

Característica	**Condição real**	**Condição de Referência** (varejo – comércio)	**Condição de Referência** (escritórios)
Geometria			
Área (m²)	Condição real		
Orientação solar	Condição real		
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real		
Aberturas			
Percentual de área de abertura da fachada (%)	90% na fachada sul, 60% na fachada leste, 22% na fachada oeste, 3% na fachada norte	60% na fachada principal e 5% nas demais	50%
Componentes construtivos			
Parede	Parede dupla com bloco cerâmico furado (9x14x24 cm), EPS (4 cm), argamassa interna e externa (2,5 cm)	Bloco cerâmico furado (9,0 cm), argamassa interna e externa (2,5 cm)	
Transmitância da parede externa (W/m²K)	0,68	2,39	
Absortância da parede (adimensional)	Condição de referência	0,5	
Capacidade térmica da parede (kJ/m²K)	199	150	
Cobertura	Telha metálica sanduíche com poliuretano (PU), câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)	
Transmitância da cobertura externa (W/m²K)	0,55	2,06	
Absortância da cobertura (adimensional)	Condição de referência	0,8	
Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	230	233	
Vidro	Vidro duplo incolor 6mm	Vidro simples incolor 6mm	
Fator solar do vidro (adimensional)	Condição de referência	0,82	
Transmitância do vidro (W/m²K)	3,1	5,7	
Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0	
Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0	
Ângulo de obstrução vizinha (°)	Condição real		
Iluminação e ganho			
Densidade de potência de iluminação (W/m²)	Condição de referência	21,7	14,1
Ocupação (m²/pessoa)	Condição de referência	5,0	10,0
Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	Condição de referência	20,0	15,0
Horas de ocupação (horas)	Condição de referência	12	10
Dias de ocupação/ano	Condição de referência	300	260
Condicionamento de ar			
Coeficiente de performance (W/W)	2,6		
Temperatura setpoint – refrigeração (°C)	24,0		
Temperatura setpoint – aquecimento (°C)	21,0		

Em ambos os cenários a utilizou-se para a edificação real os mesmos valores da edificação de referência para densidade de potência de equipamentos, densidade de potência de iluminação e coeficiente de performance do aparelho de ar-condicionado, que operou no modo *ideal loads*.

4. RESULTADOS

Por meio da aplicação do método apresentado obtiveram-se os consumos com condicionamento de ar (carga térmica total) da edificação real e de referência, em ambos os cenários de uso. A partir destes valores, bem como os consumos com iluminação e equipamentos, determinou-se a classe de eficiência energética nos dois casos. Na Figura 4 é apresentado o diagrama solar que representa a trajetória do sol ao longo do ano, sob a perspectiva do ponto onde será construída a edificação. A partir deste diagrama verifica-se que, nas edificações construídas nesta latitude, a incidência solar direta ocorre predominantemente nas fachadas leste, oeste e norte, sendo pouco significativa na fachada sul. Portanto, o fato de o objeto de estudo possuir fachada sul com percentual de abertura de 90%, não resultaria em excessivos ganhos de calor devido à incidência solar direta nesta fachada.

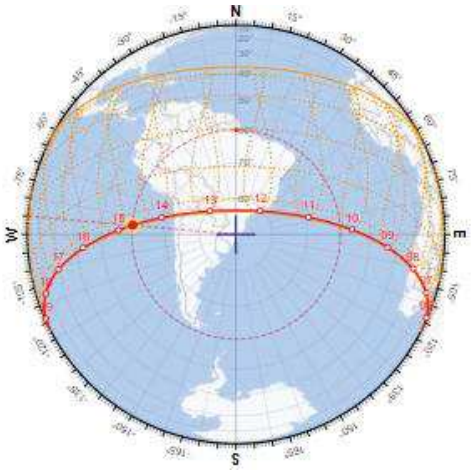


Figura 4 – Diagrama solar para a latitude -29,17º e longitude -51,5º (MARSH, 2021)

4.1. Cargas térmicas totais de aquecimento e refrigeração

No cenário de uso como tipologia de comércio varejista foram demandadas cargas térmicas de 41.753 kWh/ano para a edificação de referência e 45.679 kWh/ano para a edificação real. Portanto, o consumo com condicionamento de ar na edificação real, que possui isolamento térmico, foi maior do que o consumo na edificação de referência. Estes resultados indicam que a estratégia do isolamento térmico da envoltória não foi uma medida de eficiência energética apropriada a este cenário de uso, mesmo em se tratando de uma edificação localizada na Zona Bioclimática 1. A carga térmica de refrigeração representou 97% do consumo na edificação de referência e 99% na edificação real. A carga térmica de aquecimento, portanto, foi insignificante.

No cenário de uso como tipologia de escritórios a carga térmica total foi de 22.797 kWh/ano para a edificação de referência e 22.062 kWh/ano para a edificação real. Portanto, o uso da estratégia de isolamento térmico da envoltória reduziu em 3,2% o consumo de energia com condicionamento de ar, na edificação real em relação à edificação de referência. A carga térmica de refrigeração foi predominante, representando 87% do consumo na edificação de referência e 96% na edificação real. Neste caso, devido às cargas internas menores, a demanda energética para aquecimento foi mais representativa, sendo equivalente a 13% na edificação de referência e 4% na edificação real.

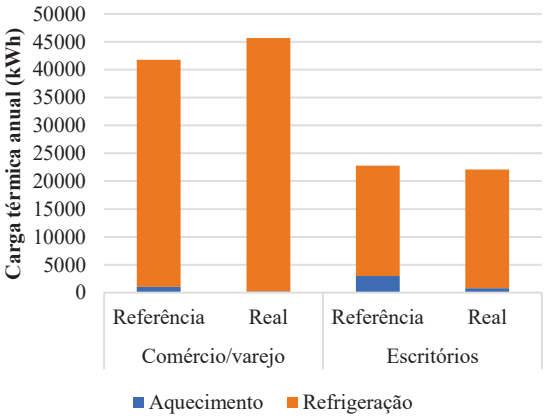


Figura 5 – Cargas térmicas anuais.

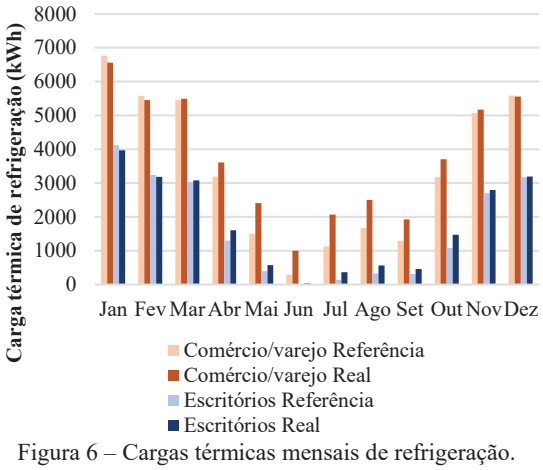


Figura 6 – Cargas térmicas mensais de refrigeração.

A grande diferença de consumo entre os dois cenários (45% para a edificação de referência e 52% para a edificação real) se deve principalmente à diferença entre as cargas internas representadas pela ocupação por pessoas, iluminação e equipamentos elétricos (Figura 7), cujos valores de referência são determinados pela INI-C para cada tipologia. Além de os valores de referência serem maiores para a tipologia de comércio varejista, o número anual de horas de ocupação também é maior neste cenário (1.000 horas de ocupação a mais por ano). Por esse motivo a carga interna anual chegou a 71.032 kWh/ano na tipologia comércio varejista, enquanto na tipologia escritórios foi 47% menor (37.311 kWh/ano).

Em ambos os casos o consumo com refrigeração reduziu consideravelmente nos meses mais frios (de maio a setembro), chegando a ser insignificante no mês de junho para a tipologia de escritórios (condição real e de referência). Na condição de uso de comércio varejista a edificação real foi a única com demanda significativa por refrigeração (1.000 kWh) no mês de junho, indicando sobreaquecimento devido à envoltória isolada associada às cargas internas elevadas. O consumo com aquecimento foi pouco representativo e só ocorreu nos meses mais frios.

Sabe-se que o uso adequado de isolamento térmico em edificações reduz não apenas o consumo de energia, mas também o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar durante o projeto (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). No entanto, mesmo em climas frios os edifícios comerciais com envoltórias isoladas podem experimentar períodos com superaquecimento, devido a ganhos de calor solar e cargas térmicas excessivas de equipamentos e atividades internas (JELLE; GUSTAVSEN; BAETENS, 2010). No cenário de uso com tipologia de comércio varejista o uso de isolamento térmico mostrou-se inadequado, por reter as cargas internas e exigir maior consumo do sistema de refrigeração para manutenção da temperatura de *setpoint*.

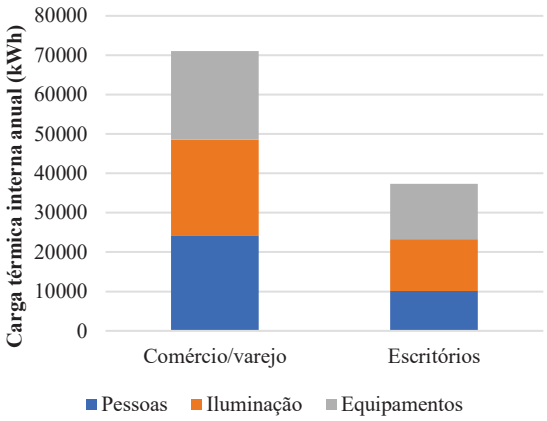


Figura 7 – Carga internas anuais, que são iguais nas condições real e de referência.

Como forma de prevenir o risco de superaquecimento, edifícios comerciais com ganhos de calor interno relativamente altos, provenientes dos ocupantes, equipamentos elétricos e iluminação artificial, têm sido alvo de estudo da aplicação de estratégias de inércia térmica (VERBEKE; AUDENAERT, 2018).

4.2.Nível de eficiência energética

Uma vez determinados os consumos com condicionamento de ar por meio da simulação computacional, foram calculados os demais consumos a partir dos valores de referência de densidade de potência de equipamentos, densidade de potência de iluminação e de horas e dias de ocupação em cada tipologia.

O consumo total de energia primária foi calculado por meio do fator de conversão de eletricidade em energia primária (PBE EDIFICA, 2021). O percentual de redução do consumo de energia primária, obtido comparando a edificação real com a edificação de referência, foi de -2,0% no cenário com tipologia de comércio varejista e 0,7% no cenário com tipologia de escritórios (Tabela 4). Os coeficientes de redução da carga térmica anual da classificação D para A foram obtidos junto às tabelas da INI-C, em função do fator de forma da edificação e do grupo climático ao qual pertence o

Tabela 4 – Critérios para determinação da classificação de eficiência energética da envoltória

Critério	Tipologia	
	Comércio Varejo	Escritórios
Consumo total de energia elétrica – referência (kWh/ano)	75.378	38.665
Consumo total de energia elétrica – real (kWh/ano)	76.889	38.383
Fator de conversão para energia primária	1,6	
Consumo total de energia primária – referência (kWh/ano)	120.606	61.864
Consumo total de energia primária – real (kWh/ano)	123.022	61.412
Percentual de redução do consumo de energia primária (%)	-2,0	0,7
Fator de forma da edificação	0,71	
Grupo climático	6	
Coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação D para A	0,34	0,35
Coeficiente i	13.669	7.217

município de Bento Gonçalves. Por meio dos coeficientes "i" foram determinados os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral para a tipologia comércio/varejo (Tabela 5) e escritórios (Tabela 6). No cenário com tipologia comércio/varejo a edificação recebeu classe E de eficiência porque o consumo total de energia primária na edificação real (123.022 kWh/ano) foi maior do que o consumo total de energia primária na edificação de referência (120.606 kWh/ano). No cenário com tipologia escritórios a edificação recebeu classe D de eficiência porque o consumo total de energia primária na edificação real (61.412 kWh/ano) situou-se entre os limites dos intervalos da classe D de eficiência energética geral apresentados na Tabela 6. Níveis mais elevados de eficiência energética geral poderiam ter sido alcançados em ambos os cenários caso tivessem sido adotados sistemas mais eficientes de iluminação e, principalmente, de condicionamento de ar. Optou-se, no entanto, por manter os valores de referência para destacar o desempenho da envoltória.

Tabela 5 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral – tipologia comércio/varejo.

Classe de Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	79.600	93.269	106.937	120.606
Limite inferior	79.600	93.269	106.937	120.606	-

Tabela 6 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral – tipologia escritórios.

Classe de Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	40.212	47.429	54.647	61.864
Limite inferior	40.212	47.429	54.647	61.864	-

5. CONCLUSÕES

No cenário com tipologia comércio varejista, a edificação real, que tinha envoltória com isolamento térmico, apresentou maior consumo de energia primária do que a edificação de referência, e por isso recebeu classe E de eficiência energética geral. Por outro lado, a edificação real teve desempenho ligeiramente melhor do que edificação de referência no cenário com tipologia escritórios, recebendo classe D de eficiência energética geral. A edificação real poderia ter alcançado níveis mais elevados de eficiência energética geral, caso tivessem sido adotados sistemas mais eficientes de iluminação e, principalmente, de condicionamento de ar. No entanto, optou-se por manter na edificação real os valores de referência, que são classe D, para destacar o desempenho da envoltória. A principal diferença nas condições de contorno entre os dois cenários foram as cargas internas e número de horas de ocupação por ano, que são baseados nos valores de referência por tipologia da INI-C.

Neste contexto, conclui-se que o uso de isolamento térmico como medida de eficiência energética não se mostrou uma estratégia apropriada no cenário de uso como comércio varejista, onde as cargas térmicas internas são elevadas. Presume-se que a envoltória isolada retenha o calor interno gerando sobreaquecimento, o qual demanda maiores cargas de refrigeração para a manutenção da temperatura de *setpoint*. Os resultados também foram influenciados devido ao alto percentual de abertura de elementos transparentes do projeto arquitetônico original e as absorbâncias utilizadas, em linha com os valores de referência da INI-C. A influência da capacidade térmica da envoltória não foi avaliada, visto que se optou pela estratégia do isolamento. Ressalta-se a necessidade de cuidadosa avaliação da composição da envoltória na fase de projeto da edificação, considerando não só o contexto climático em que ela estará inserida, como também o uso pretendido e as cargas internas previstas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. **Norma Regulamentadora 17** – Ergonomia. Brasília. Diário Oficial da União, 1978. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17.pdf/view. Acesso em: 24 abr. 2021.

BRASIL. **Portaria Nº 42, de 24 de fevereiro de 2021.** Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Brasília. Diário Oficial da União, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-42-de-24-de-fevereiro-de-2021-307486285. Acesso em: 24 abr. 2021.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.

CLIMATE.ONEBUILDING. **BRA_RS_Bento.Goncalves.869790_INMET.zip.** Disponível em: <http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html>. Acesso em: 17 fev. 2021.

CONGEDO, P. M. et al. Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates. **Energy**, v. 91, n. 244, p. 967–982, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Rio de Janeiro. Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT EPE 030_2018_18Dez2018.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 26 jan. 2021.

FOSSATI, M. et al. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216–1231, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Diário Oficial da União, p. 96, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-históricos>. Acesso em: 26 jan. 2021.

JELLE, B. P.; GUSTAVSEN, A.; BAETENS, R. The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow. **Journal of Building Physics**, v. 34, n. 2, p. 99–123, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Novo método de avaliação energética de edificações com base em energia primária**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/novo-metodo-avaliacao-cb3e>. Acesso em: 26 fev. 2021.

LIU, F.; MEYER, A. S.; HOGAN, J. F. Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries: Global Experiences and Lessons from Early Adopters. **World Bank Working Paper.** Washington, D.C., 2010.

MARSH, A. **2D Sun-Path**. Disponível em: <http://andrewmarsh.com/software/sunpath2d-web/>. Acesso em: 24 mar. 2021.

MARSZAL, A. J. et al. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 971–979, 2011.

SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3617–3631, 2011.

SALVATI PORTAL ARQUITETOS**. Projeto Arquitetônico Edifício Graciema**. Caxias do Sul, 2016.

VERBEKE, S.; AUDENAERT, A. Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2300–2318, 2018.