ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE VITÓRIA CONSIDERANDO O PBE-EDIFICA

Braz Borges de Oliveira Filho (1); Luciana Aparecida Netto de Jesus (2)
(1) Estudante, Graduando do Curso de Engenharia Civil, braz.oliveira@edu.ufes.br
(2) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, luciana.a.jesus@ufes.br
Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Civil, Av. Fernando Ferrari, s/n. Caixa Postal 9011, Goiabeiras, Vitória-ES. CEP 29075-910, Tel.: (27) 4009-2652 | 3335-2652

RESUMO
O Regulamento Técnico da Qualidade para etiquetagem de edifícios comerciais, de serviço e públicos (RTQ-C) é o responsável por estabelecer os requisitos para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro. Porém, o RTQ-C possui diversas limitações e, para supri-las, foi publicada em fevereiro de 2021 a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – INI-C. O objetivo deste trabalho foi comparar as avaliações feitas pelos métodos previstos na INI-C para uma mesma edificação. O objeto de estudo foi o Edifício Prof. Sebastião Magalhães Carneiro (CT-I), localizado na Universidade Federal do Espírito Santo, em Vitória/ES. Para atingir o objetivo da pesquisa, foi feita por meios digitais a coleta dos parâmetros e, em seguida, a avaliação do edifício pela INI-C. Como resultado, foi obtida uma classificação "C" pelo método simplificado, diferente da classificação "D" obtida pelo método de simulação. Também houve diferença na carga térmica obtida por cada um dos métodos empregados, com uma variação de aproximadamente 31% entre os valores.

Palavras-chave: Eficiência energética. Etiquetagem de edificações. RTQ-C. INI-C.

ABSTRACT
The Technical Quality Regulation for the labeling of commercial, service and public buildings (RTQ-C) is responsible for establishing the requirements for obtaining the National Energy Conservation Label (ENCE) by the National Institute of Metrology, Quality and Technology (Inmetro). However, the RTQ-C has several limitations and, to overcome them, the "Inmetro" Normative Instruction for the Classification of Energy Efficiency in Commercial, Service and Public Buildings (INI-C) was published in February 2021. This study was aimed to compare the assessments made by the methods foreseen in the INI-C for the same building. The object of study was the Professor Sebastião Magalhães Carneiro Building located at the Federal University of Espírito Santo (Ufes), in Vitória/ES. To achieve the research objective, the buildings parameters were collected by digital means and, then, the building was evaluated by the methods of INI-C. As a result, a Level D classification was obtained by the simplified method of INI-C, different from the Level D classification obtained by the simulation method. There was also a difference in the thermal load obtained by each of the used methods, with a 31% variation between the values approximately.

Keywords: energy efficiency, building labeling, RTQ-C, INI-C.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o *World Energy Balances 2020*, edificações residenciais, comerciais e públicas, juntas, consumiram em 2018 cerca de 29,4% do total de energia consumida no mundo todo, considerando todas as fontes energéticas disponíveis. Tal valor ultrapassa o consumo de energia do setor de transporte, que ocupa a liderança dos setores que mais consomem energia no mundo, com 29,1% (IEA, 2020). No Brasil, segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2020, a demanda para climatização de residências foi responsável pelo aumento de 3,5% do consumo de eletricidade no país, de 2018 para 2019. O relatório aponta que edificações residenciais, comerciais e públicas, somam também um consumo de 52% de energia hidrelétrica (BRASIL, 2020).

Diante dessa realidade, tem-se buscado cada vez mais alternativas para edificações que necessitem de menos energia, sem que se abra mão do seu conforto. Tais alternativas são referidas como ações de eficiência energética. Uma delas é o emprego da abordagem bioclimática em projetos de novos edifícios, na qual se busca aproveitar as condições bioclimáticas do local para promover maior conforto e eficiência energética às edificações (SANTA, 2017). Outra alternativa que vem sendo trabalhada é a de *Net Zero Energy Buildings*, edificações que conseguem suprir seu consumo energético com a energia gerada localmente (STEVEN WINTER ASSOCIATES, INC., 2016).

No caso de estratégias específicas para a eficiência energética, destaca-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro. Com o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício, foi criado no Brasil em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, (PROCEL, 2021). Já em 2003, foi criado o PROCEL Edifica, que elevou a discussão a respeito da eficiência energética no âmbito das edificações. Como resultado da parceria entre o PROCEL Edifica e o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, foi lançado em 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade para etiquetagem de edifícios comerciais, de serviço e públicos (RTQ-C). A parceria, que se mantém, compõe o PBE Edifica, que possui, além do RTQ-C, outros documentos que dizem respeito à etiquetagem de edificações no Brasil.

Trabalhos acadêmicos a respeito do RTQ-C evidenciam que este possui algumas limitações. Em artigo publicado dois anos após o lançamento do regulamento, Melo et al. (2011) relatam diferenças entre os resultados de nível de eficiência obtidos pelos dois métodos de avaliação do RTQ-C. Além disso, ressaltam a necessidade de se ajustar a precisão da avaliação do nível de eficiência da envoltória das edificações, quando é utilizado o método prescritivo de avaliação, proposto pelo regulamento como alternativa ao método de simulação. Wong e Krüger (2017) acrescentam que as considerações da metodologia de cálculo do RTQ-C, bem como a ponderação entre os sistemas da edificação, podem afetar a precisão do resultado de desempenho energético das edificações avaliadas. Além disso, indicam a necessidade de se revisar o sistema de pontuação para a classificação das edificações, uma vez que, segundo os autores, poderiam ser utilizados outros indicadores mais comuns e similares aos regulamentos internacionais, como o consumo de energia por área.

Diante disso, o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE elaborou diversos estudos para criação de uma nova regulamentação de avaliação de edificações. Trata-se da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que tem como princípio a utilização, como parâmetro para a avaliação, do Consumo de Energia Primária (CEP) das edificações, de forma que seus usuários tenham uma estimativa do consumo real de energia para elas esperado (LABEEE, 2020).

Assim como no RTQ-C, é possível a avaliação parcial dos diferentes sistemas da edificação. Nesse caso, na INI-C é introduzida a avaliação parcial da envoltória, feita com base no valor de Carga Térmica Total anual (CgTT) da envoltória, que mede a quantidade de calor que precisa ser retirada (ou fornecida) ao ambiente para mantê-lo na condição de conforto ao usuário. O método de simulação da INI-C também se diferencia do método homônimo do RTQ-C. Enquanto há no RTQ-C a necessidade de elaborar um modelo do edifício para cada classe de eficiência, cada um com parâmetros específicos de modelagem, além do modelo do edifício real, na INI-C apenas dois modelos são necessários, um de referência correspondente à classe "D" e outro correspondente ao edifício real. Dessa maneira, a classificação se dá pelo coeficiente de redução de carga térmica entre a condição real e de referência (BRASIL, 2021).

Por se tratar de uma nova regulamentação para avaliação da eficiência, o presente trabalho se propôs a testar a INI-C em uma instituição de ensino público federal, utilizando tanto o método simplificado quanto o de simulação presentes na regulamentação.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar a avaliação da eficiência energética de um edifício

público localizado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) por meio da aplicação da INI-C.

3. MÉTODO

A metodologia empregada na pesquisa consistiu em cinco etapas, conforme segue especificado.

3.1. Revisão Bibliográfica

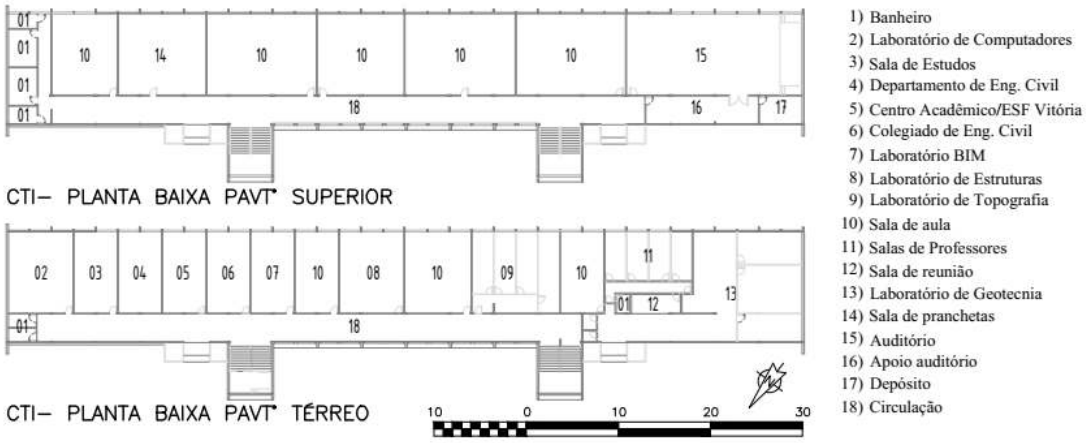
Na etapa de revisão bibliográfica, para estudo inicial dos assuntos relacionados ao objetivo da pesquisa, foram consultados artigos científicos recentes que tivessem como temática a avaliação da eficiência energética conforme o Programa Brasileiro de Etiquetagem, em especial, a avaliação feita com base no RTQ-C ou na INI-C. Além disso, para realização da avaliação do estudo de caso, foram consultados os textos tanto do RTQ-C como da INI-C. Ainda na etapa de revisão bibliográfica, foram consultados manuais de apoio para execução dos métodos de avaliação da INI-C, em especial, do método de simulação.

3.2. Definição do Estudo de Caso

A escolha do edifício representativo do estudo de caso para a pesquisa foi balizada por meio de três requisitos: (1) o edifício deveria ser do tipo como comercial, de serviço ou público, para que fosse utilizada para sua avaliação a INI-C; (2) o edifício deveria, preferencialmente, possuir seus parâmetros construtivos necessários para a avaliação documentados e acessíveis via arquivo eletrônico; (3) o edifício deveria ser tal que pudesse ser avaliado tanto pelo método simplificado, quanto pelo método de simulação da INI-C, de modo a permitir a comparação entre os dois métodos.

A edificação escolhida para o estudo de caso foi o Edifício Prof. Sebastião Magalhães Carneiro, localizado na Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, no bairro Goiabeiras em Vitória/ES. O prédio é conhecido como CT-I e é de uso dos estudantes e professores do Centro Tecnológico da universidade. Na Figura 1 são apresentadas as plantas baixas dos pavimentos.

Figura 1 – Plantas do edifício CT-I. Fonte: Ufes (2021).



Os parâmetros relativos aos sistemas construtivos do CT-I estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros construtivos do CT-I. Fonte: Adaptado de Dalvi e Camisqui (2020).

Sistema construtivo	Descrição	Propriedades
Estrutura	Estrutura em concreto armado	Laje com espessura de 10 cm
Vedação	Alvenaria de tijolos maciços	Paredes laterais com tijolos 9x6x19 cm assentados em 1 vez; paredes das janelas com tijolos 9x6x19 cm assentados em 1/2 vez
Revestimento das paredes externas	Argamassa de revestimento nas paredes internas das salas	Argamassa com espessura de 3 cm
Acabamento das paredes externas	Pintura sobre os tijolos e sobre o revestimento em argamassa	Pintura sobre a argamassa na cor branca (absortância 0,2) e sobre os tijolos na cor natural do tijolo (absortância 0,7 – terracota)
Esquadrias	Portas de madeira e janelas de madeira e vidro comum	Vidro com espessura de 3 mm e Fator Solar 0,87
Cobertura	Telha estrutural “canalete” sobre laje do pavimento superior	Telha com espessura de 10 mm, absortância 0,7 (concreto) e câmara de ar com espessura equivalente de 88 cm

3.3. Identificação e levantamento de dados sobre a edificação escolhida

Na etapa de levantamento de dados, foram coletados os parâmetros construtivos da edificação escolhida para o estudo de caso. Os parâmetros relativos à geometria da envoltória, como orientação solar, dimensões de paredes e aberturas, e pé-direito dos ambientes, foram coletados dos projetos arquitetônicos da edificação, concedidos pela Universidade. Para uso no método simplificado, foram calculados com base nos projetos os parâmetros relativos ao sombreamento da edificação (ângulo horizontal e vertical de sombreamento) e percentual de abertura de fachada, conforme definições da INI-C. Os parâmetros térmicos da envoltória foram obtidos indiretamente, com base no levantamento de materiais construtivos realizado em pesquisa anterior. Os parâmetros de absortância solar das superfícies foram coletados em função das respectivas cores no Anexo V do RAC, enquanto os parâmetros dos vidros foram coletados no portal ProjetEEE. Para determinação dos parâmetros de transmitância e capacidade térmica das paredes e da cobertura, não abrangidos nas referências citadas, foi utilizada a norma ABNT NBR 15220:2005.

3.4. Avaliação e classificação da eficiência energética da edificação

Nesta etapa, foram aplicados os critérios presentes na INI-C para avaliação e classificação parcial da envoltória da edificação, tanto pelo método simplificado quanto pelo método de simulação. Para avaliação pelo método simplificado, foi definida a tipologia da edificação, realizada a sua divisão em zonas térmicas e, em seguida, foram identificados os seus parâmetros da edificação para as condições real e de referência, esta última correspondente ao nível D de eficiência energética. Por fim, foram obtidos os valores da Carga Térmica Total (CgTT) anual para as duas condições da edificação e, assim, a classificação da envoltória da edificação.

Para a classificação da eficiência energética da edificação, para cada nível de eficiência foram obtidos de acordo com a INI-C os valores limites inferior e superior de carga térmica, conforme o Quadro 2. Como definido pela INI-C, o nível alcançado pela envoltória foi aquele em que os limites inferior e superior de carga térmica compreendem o valor de $CgTT_{real}$.

Quadro 2 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da Envoltória da edificação. Fonte: Brasil (2021).

Classificação	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> $CgTT_{ref}$ – 3i	> $CgTT_{ref}$ – 2i	> $CgTT_{ref}$ – i	> $CgTT_{ref}$
Limite inferior	≤ $CgTT_{ref}$ – 3i	≤ $CgTT_{ref}$ – 2i	≤ $CgTT_{ref}$ – i	≤ $CgTT_{ref}$	-

Para o cálculo do coeficiente *i*, é apresentada pela INI-C a Equação 1, em termos do coeficiente de redução $CRCgTT_{D\text{-}A}$, que varia em função da tipologia da edificação, do grupo climático em que se encontra e do Fator de Forma (FF), que relaciona a área da envoltória com o volume da edificação.

$$i = \frac{CgTT_{ref.} \cdot CRCgTT_{D-A}}{3} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
$CRCgTT_{D\text{-}A}$: coeficiente de redução, fornecido pela INI-C;
$CgTT_{real}$: Carga Térmica Total anual para a condição de referência (nível D) [kWh/ano].

Para avaliação pelo método de simulação foi utilizado o *software EnergyPlus*®, com auxílio do *plug-in Euclid*® para modelagem da geometria do edifício no *software SketchUp*®. A inserção dos parâmetros térmicos nos modelos simulados (real e referência), porém, foi feita diretamente no *EnergyPlus*®. As rotinas de uso e ocupação do edifício foram definidas igualmente em ambos modelos, com base nos valores de referência para o nível D, como estabelece a INI-C. O Quadro 3 identifica os grupos de parâmetros reais e/ou de referência utilizados em cada um dos modelos elaborados para o método de simulação.

Quadro 3 – Grupos de parâmetros reais e/ou de referência utilizados nos modelos simulados. Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

Grupos de parâmetros	Tipo de parâmetro	
	Modelo Real	Modelo de Referência
Geometria	Real	Real
Aberturas	Real	Referência
Componentes construtivos	Real	Referência
Iluminação	Referência	Referência
Ocupação	Referência	Referência
Equipamentos Elétricos	Referência	Referência
Ganho/atividade	Real	Real

3.5. Comparação dos resultados de eficiência energética obtidos pela INI-C

Nesta etapa, foram analisados os resultados obtidos pelos diferentes métodos (simplificado e de simulação da INI-C), bem como as possíveis razões que justifiquem as diferenças encontradas entre os resultados de cada método.

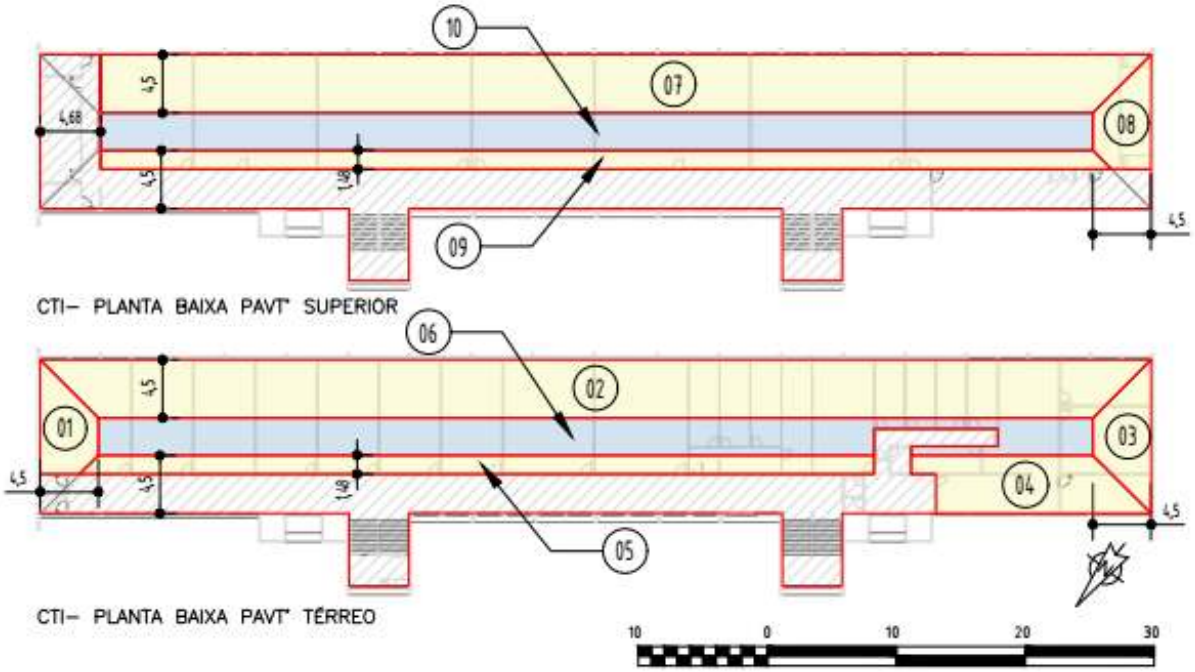
4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir descrevem-se os resultados obtidos nesta pesquisa. Inicia-se com uma breve descrição do estudo de caso, seguida da avaliação da envoltória e, por fim, a comparação entre os resultados.

4.1. Avaliação da envoltória do edifício pelo método simplificado

A tipologia definida para avaliação da envoltória do prédio CT-I, escolhida conforme opções apresentadas na INI-C, foi a de "Edificações Educacionais de Ensino Superior". Seguindo-se os critérios para a divisão das zonas térmicas do manual, foram estabelecidas as zonas térmicas conforme Figura 2.

Figura 2 – Divisão das zonas térmicas do CT-I para aplicação do método simplificado. Fonte: Adaptado de Ufes (2021).



Para a divisão das zonas, foram inicialmente separadas as áreas coloridas em amarelo e azul, que representam, respectivamente, as zonas térmicas perimetrais e internas do edifício. Em seguida, foram descontadas as áreas hachuradas, que correspondem às zonas de permanência temporária. Não foi considerada na avaliação da envoltória o aproveitamento da ventilação natural, uma vez que todos os ambientes de longa permanência do edifício são condicionados artificialmente.

Os parâmetros construtivos do CT-I necessários para a aplicação do método simplificado da INI-C, correspondentes à descrição apresentada da edificação, estão dispostos no Quadro 4. Nele estão também listados, para cada parâmetro, os valores mínimo e máximo admissíveis para aplicação do método simplificado. Todos os parâmetros da edificação atendem aos limites e, por isso, foi possível dar prosseguimento à aplicação do método.

Quadro 4 – Valores para os parâmetros do edifício CT-I, comparados com os limites do método simplificado da INI-C e com os valores de referência estabelecidos pela INI-C para o nível D. Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

Parâmetros	**Zonas**									**Limites**		**Ref. Nível D**
	1	**2**	**3**	**4 e 5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Mín.**	**Máx.**	
Tipo de zona	Perim.	Perim.	Perim.	Perim.	Inter.	Perim.	Perim.	Perim.	Inter.	-	-	-
Orientação Solar	NE	SE	SO	NO	-	SE	SO	NO	-	-	-	-
Dens. de potência de equipamentos [W/m2]	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	4,00	40,00	15,00
Dens. de potência de iluminação [W/m²]	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	4,00	40,00	15,50
Fator solar do vidro (FS)	0,72	0,72	0,72	0,72	-	0,72	0,72	0,72	-	0,21	0,87	0,82
Transmitância térmica do vidro [W/m²]	5,70	5,70	5,70	5,70	-	5,70	5,70	5,70	-	1,90	5,70	5,70
Absortância solar da cobertura (αcob)	-	-	-	-	-	0,72	0,72	0,72	0,72	0,20	0,80	0,80
Absortância solar da parede (αpar)	0,16	0,65	0,16	0,65	-	0,65	0,16	0,65	-	0,20	0,80	0,50
Pé-direito [m]	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	2,60	6,60	-
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0	0,51	0	0,51	-	0,51	0	0	-	0,00	0,80	0,40
Ângulo hor. de sombreamento (AHS) [°]	0	7	0	15	-	7	0	0	-	0	80	0
Ângulo vert. de sombreamento (AVS) [°]	0	18	0	23	-	35	0	0	-	0	90	0
Ângulo de obstrução vizinha (AOV) [°]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	80	-
Horas de Ocupação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	-	-	8
Transm. térmica - parede externa [W/m²K]	2,38	3,6	2,38	3,6	-	3,6	2,38	3,6	-	0,51	5,07	2,39
Transmitância térmica - cobertura [W/m²K]	-	-	-	-	-	2,03	2,03	2,03	2,03	0,50	4,40	2,06
Cap. térmica - parede externa [kJ/m².K]	418,1	169,6	418,1	169,6	-	169,6	418,1	169,6	-	0,22	450,00	150,00
Capacidade térmica - cobertura [kJ/m².K]	-	-	-	-	-	254,3	254,3	254,3	254,3	0,22	450,00	233,00

O cálculo dos parâmetros de transmitância térmica e capacidade térmica da parede e da cobertura foram realizados conforme orientações da NBR 15220:2005. Os parâmetros calculados foram obtidos para a situação de ganho de calor (verão). As variáveis utilizadas no cálculo, bem como os resultados obtidos, estão dispostas no Quadro 5.

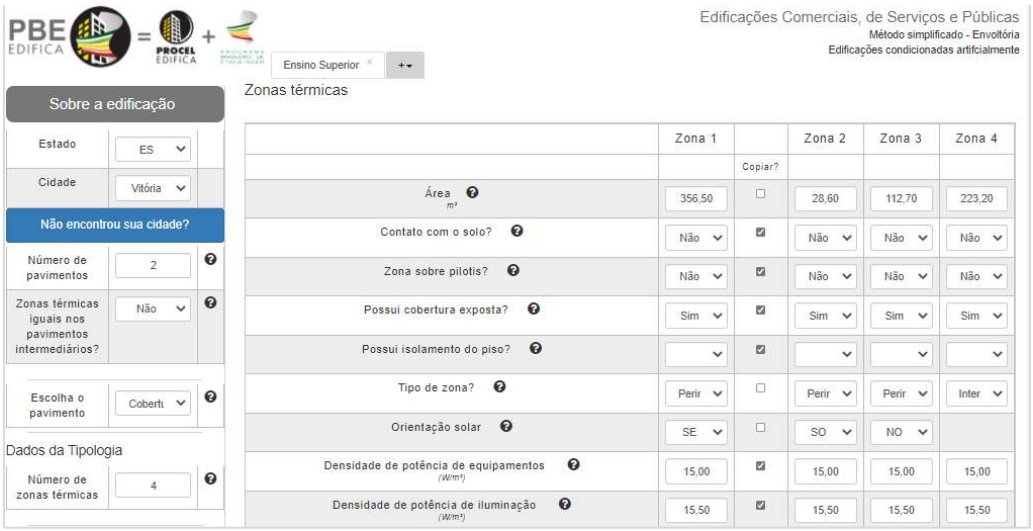
Quadro 5 – Cálculo dos parâmetros de transmitância e capacidade térmica para parede e cobertura. Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

Camadas	**Materiais**	**e**	**λ**	**c**	**ρ**	**As,mat.**	**Rt,mat.**	**Ct,mat.**	**Rt,cam.**	**Ct,cam.**	**Rt,total**	**Ut,total**	**Ct,total**
		m	W/m.K	kJ/kg.K	kg/m3	kg/m3	m2.K/W	kJ/m2.K	m2.K/W	kJ/m2.K	m2.K/W	W/m2.K	kJ/m2.K
Parede e = 25 cm													
Alvenaria de blocos maciços (1 vez)	Cerâmica	0,19	0,90	0,92	1600	0,0051	0,2111	279,68	0,1982	298,12	0,4204	2,38	418,12
	Argamassa	0,19	1,15	1,00	2000	0,0016	0,1652	380,00					
Reboco	Argamassa	0,06	1,15	1,00	2000	1,0000	0,0522	120,00	0,0522	120,00			
Parede e = 12 cm													
Alvenaria de blocos maciços (1/2 vez)	Cerâmica	0,09	0,90	0,92	1600	0,0108	0,1000	132,48	0,0949	139,55	0,2780	3,60	169,55
	Argamassa	0,09	1,15	1,00	2000	0,0026	0,0783	180,00					
Reboco	Argamassa	0,015	1,15	1,00	2000	1,0000	0,0130	30,00	0,0130	30,00			
Cobertura													
Telha estrutural	Fibrocimento	0,01	0,65	0,84	1700	1,0000	0,0154	14,28	0,0154	14,28	0,4925	2,03	254,28
Câmara de ar	Ar	0,88	-	-	-	1,0000	0,2100	0,00	0,2100	0,00			
Laje de concreto	Concreto	0,10	1,75	1,00	2400	1,0000	0,0571	240,00	0,0571	240,00			

Nota: O valor de $R_{t,total}$ considera resistências superficiais interna e externa.

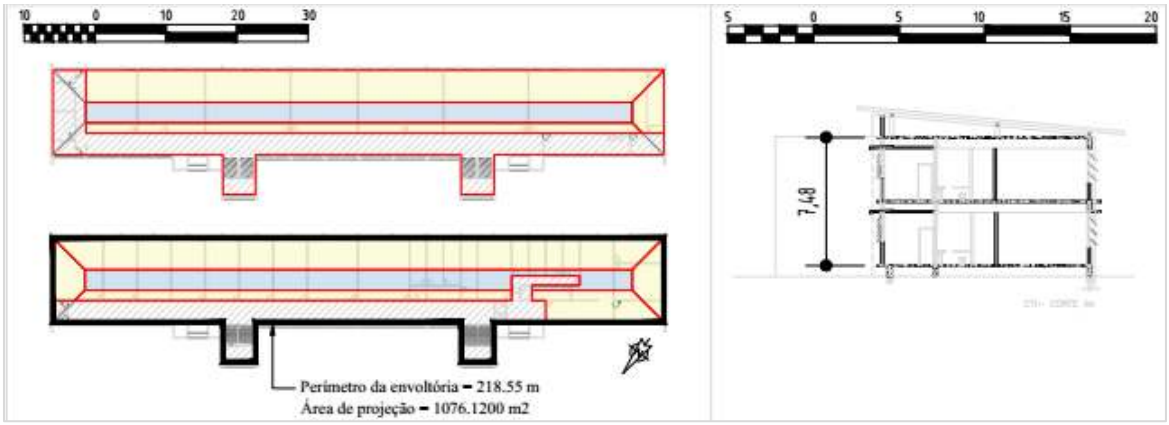
De posse de todos os dados da edificação para cálculo do $CgTT_{real}$, foi realizado o preenchimento dos dados da edificação para uso do metamodelo disponibilizado pelo PBE Edifica conforme indica a Figura 3.

Figura 3 – Vista preenchida da interface com os dados para uso do metamodelo. Fonte: PBE Edifica (2021).



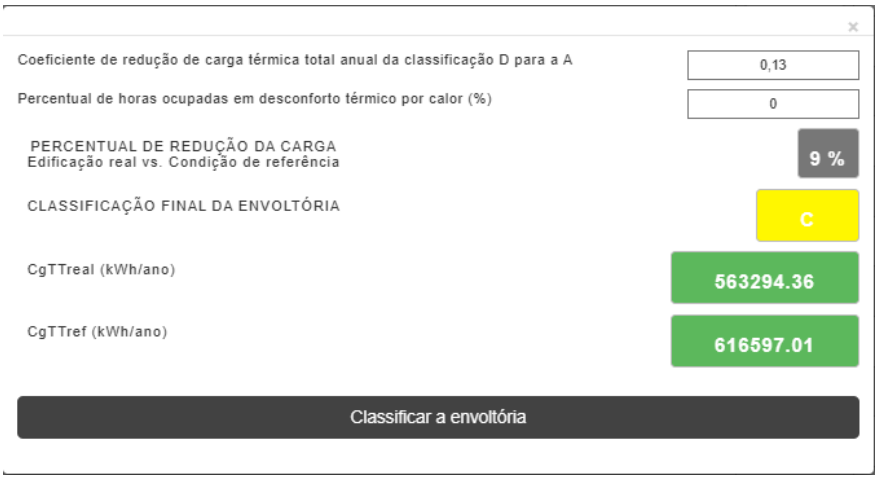
Uma vez que a interface permite a classificação da envoltória, em função do valor de $CRCgTT_{D\text{-}A}$, obteve-se seu valor em função do Fator de Forma (FF) da edificação. Para o cálculo de FF, as propriedades geométricas de área e volume foram calculadas por meio do projeto da edificação, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Propriedades geométricas necessárias para o cálculo do Fator de Forma da edificação. Fonte: Adaptado de Ufes (2021).



Dessa maneira, com uma área de envoltória $A_{env} = 1.076{,}12 + (218{,}55 \cdot 7{,}48) = 2.710{,}87$ m² e volume total $V_{tot} = 1.076{,}12 \cdot 7{,}48 = 8.049{,}38$ m3, o Fator de Forma calculado para a edificação é $FF = 2.710{,}87/8.049{,}38 = 0{,}34$. De posse do Fator de Forma e do grupo climático do edifício CT-I (GC 13), o valor de $CRCgTT_{D\text{-}A}$ igual a 0,13 foi determinado conforme disposto na INI-C. Lançado tal valor na interface do metamodelo, o resultado da classificação foi obtido pela própria interface, conforme Figura 5.

Figura 5 – Resultado da classificação da envoltória fornecido pela interface do metamodelo. Fonte: PBE Edifica (2021).

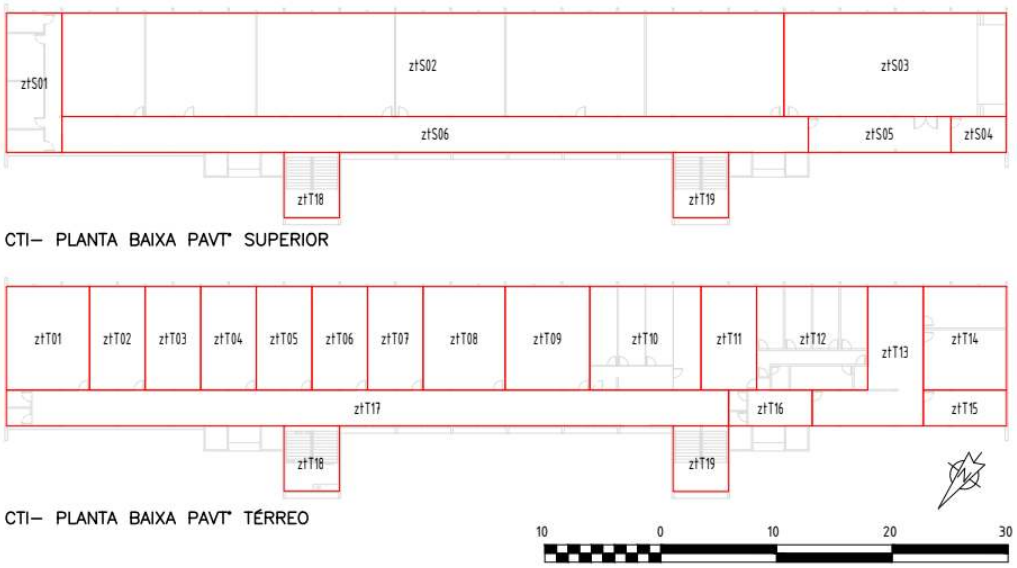


Com os parâmetros utilizados em cada zona térmica lançados na interface do metamodelo, foram obtidos o valor de 563.294,36 kWh/ano para a Carga Térmica Total anual da edificação real ($CgTT_{real}$). A classificação obtida para a envoltória da edificação pelo método simplificado, como indicado, foi de Nível C.

4.2. Avaliação da envoltória do edifício pelo método de simulação

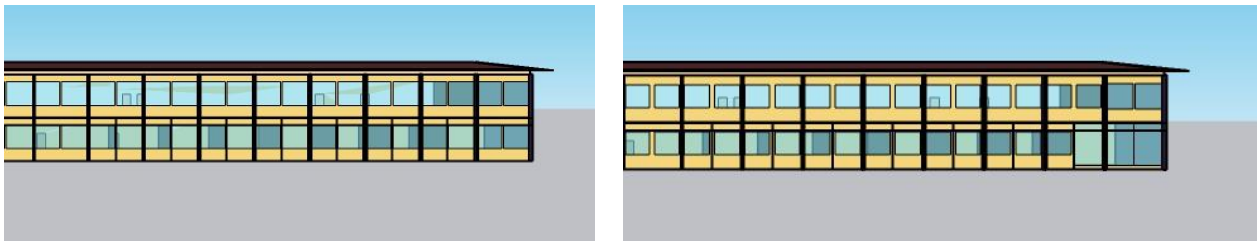
A divisão de zonas térmicas do CT-I para o método de simulação precisou ser ajustada para adequar-se às especificações do *software* de simulação *EnergyPlus*. Para isso, ambientes com comportamento térmico semelhante foram agrupados em uma mesma zona, conforme Figura 6.

Figura 6 – Divisão das zonas térmicas do CT-I para aplicação do método de simulação. Fonte: Adaptado de Ufes (2021).



As zonas térmicas foram modeladas no formato de um prisma retangular, com exceção da zona ztT13, cuja projeção se dá em formato "L". O formato retangular foi priorizado pois torna o modelo virtual menos complexo para análise no *EnergyPlus*. Para construção do modelo de referência, as dimensões das esquadrias foram ajustadas para conformidade do PAF correspondente de 40%, estabelecido pela INI-C. O ajuste foi tal que foram mantidas as relações de proporção entre as dimensões das esquadrias e entre as áreas envidraçadas em cada face das zonas térmicas. A Figura 7 compara um trecho das fachadas sudeste do modelo real e de referência.

Figura 7 – Trecho da fachada sudeste do modelo (a) real e (b) de referência. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



(a) (b)

O arquivo climático utilizado para a simulação foi obtido da base de dados mais recente do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente ao ano de 2018. Os componentes construtivos foram definidos conforme parâmetros apresentados, divididos em camadas homogêneas de materiais com espessura, coeficiente de condutividade térmica, densidade e calor específico definidos. No caso das alvenarias assentadas com argamassa, foram calculados valores de espessura e coeficiente de condutividade equivalentes, com base na transmitância e capacidade térmica do conjunto bloco-argamassa. O mesmo procedimento foi adotado para determinação das propriedades térmicas do modelo de referência. Valores equivalentes foram obtidos conforme equações da NBR 15220:2005 e estão dispostos no Quadro 6.

Quadro 6 – Materiais equivalentes aos conjuntos de materiais dos componentes construtivos. Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

Conjunto	R_t (m²K/W)	C_t (kJ/m²K)	e_{real} (m)	Material equivalente	e_{eq} (m)	λ_{eq} (W/mK)
Tijolo + Argamassa	0,0949	139,55	0,090	Cerâmica	0,095	1,00
Tijolo + Argamassa	0,1982	298,12	0,190	Cerâmica	0,203	1,02
Bloco + Argamassa (referência)	0,1630	78,54	0,090	Cerâmica	0,053	0,33

As cargas térmicas de ocupação, iluminação e equipamentos de cada zona foram definidas, tanto no modelo real quanto no de referência, com base nos valores de referência da INI-C utilizados também no método simplificado. No caso da ocupação, na ausência de recomendação pela INI-C, foi associado à cada pessoa o valor para ganho por atividade entre 99 W e 180 W. O Quadro 7 apresenta os resultados obtidos na simulação de cada modelo.

Quadro 7 – Resultados de carga térmica total obtidos nas simulações. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Modelo simulado	Carga térmica total (kWh/ano)
Real	431.038,44
Referência	441.289,49

Para definição dos limites inferior e superior de consumo energético de cada classe de eficiência foi utilizado o mesmo valor de Coeficiente de Redução do método simplificado, isto é, $CRCgT_{D\text{-}A} = 0{,}13$. O intervalo de variação de carga calculado para o valor de referência obtido no método simplificado foi de $i = 441.289{,}49 \cdot 0{,}13/3 = 19.122{,}54$ kWh/ano. Dessa maneira, foram obtidos os limites de cada classe de eficiência conforme Quadro 8.

Quadro 8 – Limites das classes de eficiência para o método de simulação. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior (kWh/ano)	-	383.921,86	403.044,40	422.166,95	441.289,49
Limite inferior (kWh/ano)	383.921,86	403.044,40	422.166,95	441.289,49	-

A comparação do valor de carga térmica obtido na simulação do modelo real com o quadro permite concluir a classificação obtida para envoltória da edificação, nesse caso, de Nível D.

4.3. Comparação entre os resultados obtidos pelo método simplificado e de simulação

A classificação alcançada, em ambos os métodos, condiz com as propriedades térmicas dos componentes construtivos da envoltória, uma vez que estas possuem, em relação à condição de referência, valores bem próximos (U=2,38~2,39 W/m²K) ou até mesmo mais desfavoráveis (U=3,60>2,39 W/m²K). Todavia, o valor de carga térmica total anual do CT-I, obtido pelo método simplificado, foi aproximadamente 31% superior ao simulado, de 431.038,44 kWh/ano.

Uma possibilidade para a diferença nos resultados é devido à metodologia de cálculo do metamodelo, que pode não se adequar bem ao formato da edificação estudada, principalmente no que se refere ao padrão de uso e ocupação das zonas térmicas do edifício. Outra possibilidade é um desvio entre os valores dos parâmetros não utilizados no preenchimento da ferramenta do método simplificado que são necessários para a simulação, por exemplo, o valor de ganho de calor por atividade dos ocupantes.

5. CONCLUSÕES

A classificação da envoltória do estudo de caso obtida utilizando-se o método simplificado da INI-C foi diferente da obtida pelo método de simulação. Neste, a classificação obtida foi de Nível D, enquanto naquele a classificação obtida foi de Nível C. Os valores de carga térmica total obtidos em cada um dos métodos também foram diferentes. O valor obtido na simulação foi de 431.038,44 kWh/ano contra 563.294,36 kWh/ano pelo método simplificado do INI-C, um aumento de 31%.

A obtenção dos resultados apresentados, baseada na metodologia proposta, deu-se por meio de algumas dificuldades, como a utilização de um texto provisório da INI-C enquanto esta não havia sido oficialmente publicada e, em decorrência da publicação do texto oficial durante a pesquisa, a necessidade de revisar alguns parâmetros estabelecidos pela INI-C. Todavia, o estudo finalizado contribui para o meio acadêmico como embasamento teórico para outras análises de eficiência energética, além de contribuir para o meio profissional e para a sociedade como um todo por apresentar metodologia para avaliação do impacto de edificações por meio do seu consumo energético. Sugere-se que em trabalhos futuros o estudo do método simplificado seja

aprofundado, orientando-se na análise de como é construído o metamodelo para avaliação da envoltória, para verificar possíveis desvios de considerações que podem ter sido feitas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Consulta Pública – Novo RTQ-C do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edifícios – PBE Edifica – 12/09**. Disponível em: < https://abrava.com.br/consulta-publica-novo-rtq-c-do-programa-brasileiro-de-etiquetagem-para-edificios-pbe-edifica-12-09/>. Acesso em: 27 jun. 2021.

BRASIL. Balanço Energético Nacional - **Relatório Síntese / Ano Base 2019**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, RJ. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 28 fev. 2021.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**, Rio de Janeiro, 2010.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 50, de 01 de fevereiro de 2013. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**, Rio de Janeiro, 2013.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 42, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**, Rio de Janeiro, 2021.

DALVI, B. M.; CAMISQUI, J. **Etiquetagem energética parcial da envoltória de uma edificação pública localizada na cidade de Vitória - ES, segundo o Método de Simulação do PBE Edifica**. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espirito Santo, Vitória, ES, 2020.

FERREIRA, F. D.; MARQUES, T. H. T. Carga Térmica: princípios básicos. **Portal Engenharia e Arquitetura**, São Paulo, SP, 5 jan. 2018. Qualidade do Ambiente Interno. Disponível em: <http://engenhariaearquitetura.com.br/2018/01/carga-termica-principios-basicos>. Acesso em: 28 fev. 2021.

LABEEE – 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: 27 jun. 2021.

MELO, A. P. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

MELO, A. P., CÓSTOLA, D., LAMBERTS, R., HENSEN, J. L. M. Determinação do nível de eficiência da envoltória de edificações comerciais de acordo com o RTQ-C. **Anais do XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.** Búzios, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301540260>. Acesso em: 28 fev. 2021.

PBE Edifica – Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. [*S. l.*], 2021. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/>. Acesso em: 28 fev. 2021.

PROCEL Info – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. [*S. l.*], 2021. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/. Acesso em: 28 fev. 2021.

PROJETEEE. **Componentes construtivos.** Disponível em: < http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>. Acesso em: 28 fev. 2021.

QUEIRÓZ, G. R. de; GRIGOLETTI, G. de C.; SANTOS, J. C. P. dos. Interoperabilidade entre os programas AutoDesk Revit e EnergyPlus para simulação térmica de edificações. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019005, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8652852. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652852>. Acesso em: 28 fev. 2021.

RUTSATZ, H. N.; TOMAZELLI, S. **Análise de eficiência energética de uma edificação pública segundo o método PBE – Edifica, localizada na cidade de Vitória - ES**. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espirito Santo, Vitória, ES, 2018.

SANTA, F. Arquitetura Bioclimática: Projetos que trabalham com a Natureza. **Revista Habitare**, 11 abr. 2017. Disponível em: <https://www.revistahabitare.com.br/ecologia/arquitetura-bioclimatica-projetos-que-trabalham-com-a-natureza/>. Acesso em: 28 fev. 2021.

STEVEN WINTER ASSOCIATES, INC. Net Zero Energy Buildings. **Whole Building Design Guide**, 2 ago. 2016. Disponível em: <https://www.wbdg.org/resources/net-zero-energy-buildings>. Acesso em: 28 fev. 2021.

TAMBOSI, R. G.; HACKENBERG, A. M. Análise e classificação da envoltória de Subprefeitura da cidade de Joinville-SC através do método INI-C. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.l.], v. 9, p. 165-185, fev. 2020. ISSN 2238-8753. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8694>. Acesso em: 28 fev. 2021. doi:http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020165-185.

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. Prefeitura Universitária. **Edifício Prof. Sebastião Magalhães Carneiro - Prédio CT-I**. 2021. Plantas diversas. Fornecido via meio digital.

WONG, I. L.; KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: implications, challenges, barriers and opportunities. **Energy Policy**, [S.L.], v. 109, p. 310-323, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.005.