



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E  
GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
SUSTENTABILIDADE  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E

## **ETIQUETAGEM ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO PELA INI-C**

**Breno Pontes Pimentel**

**2020**

**CAMPO GRANDE|MS**



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ETIQUETAGEM ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO DO  
EXÉRCITO BRASILEIRO PELA INI-C**

**BRENO PONTES PIMENTEL**

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Teresa Riccio Barbosa.**

**CAMPO GRANDE  
DEZEMBRO / 2020**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

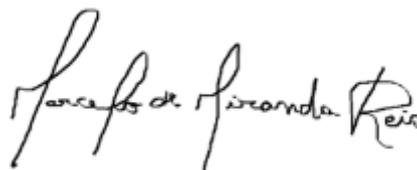
Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **BRENO PONTES PIMENTEL**, aprovada pela Comissão Julgadora em 8 de dezembro de 2020, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



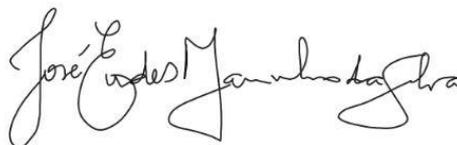
Prof.ª Dr.ª Andréa Riccio Barbosa – Orientador  
FAENG/UFMS



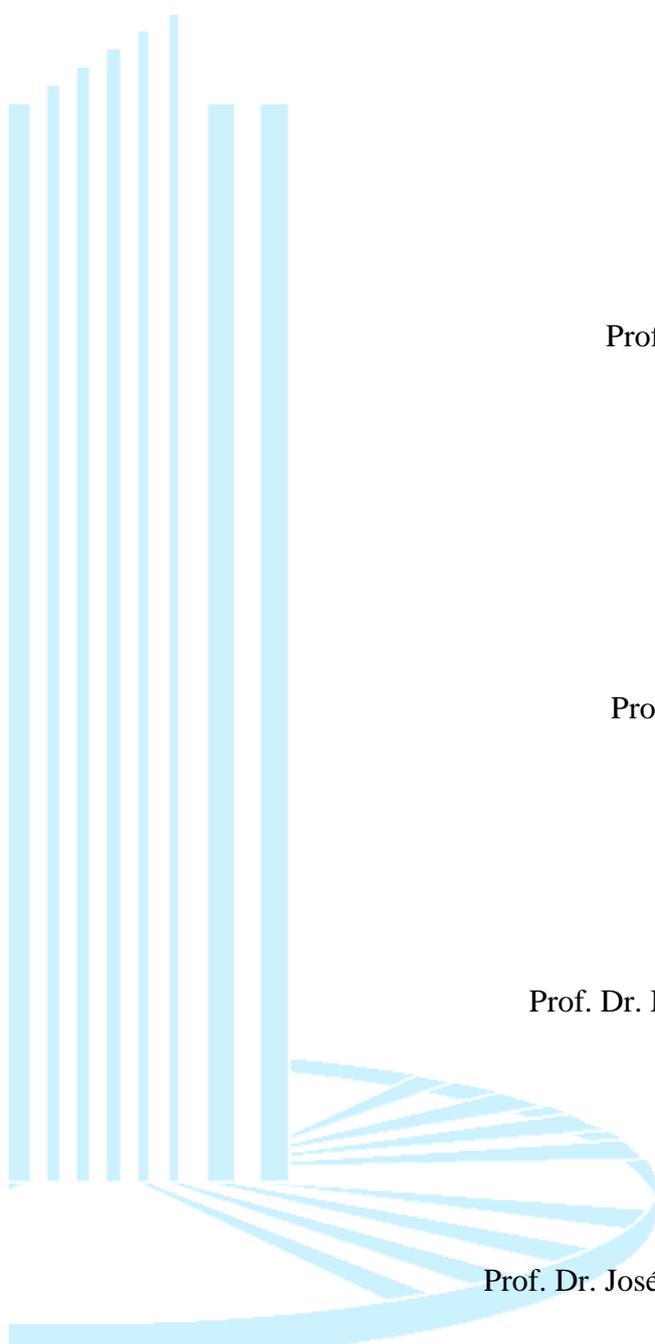
Prof. Dr. Arthur Santos Silva – Membro Titular  
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Marcelo de Miranda Reis – Membro Titular  
Instituto Militar de Engenharia – IME



Prof. Dr. José Eudes Marinho da Silva – Membro Titular  
Diretoria de Obras Militares - DOM



## **DEDICATÓRIA**

A Deus, fonte de toda a sabedoria, por sua bondade, graça e misericórdia. À minha esposa, pelo seu amor, pelo seu suporte e por sua dedicação. Aos meus familiares e amigos, bênçãos de Deus em minha vida, pela sua compreensão, pelo seu apoio e por seus bons conselhos.

## **AGRADECIMENTO**

Ao Exército Brasileiro, que oportunizou a realização desta pesquisa em tempo integral com todo apoio necessário, privilegiando o conhecimento técnico-científico.

À Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, que forneceram um grupo de docentes qualificados e interessados no compartilhamento de conhecimentos que fomentaram essa pesquisa.

Ao Sr Coronel Zago, antigo comandante da Comissão de Obras da 9ª Região Militar e ao atual comandante, Sr Coronel Celso, por terem tornado o presente trabalho possível.

Ao Coronel Marcelo Reis, do Instituto Militar de Engenharia, e ao Major Paiva Rodrigues, da Diretoria de Obras Militares, pelo contínuo apoio ao presente trabalho.

Ao Major Rachid, que iniciou os estudos de eficiência energética do Pav CCAp do 9º B Com GE, fornecendo ideias de estudos futuros que puderam ser desenvolvidas neste trabalho.

À minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup> Andréa, exemplar docente, pela dedicação e disponibilidade para orientar, direcionar e corrigir sucessivas vezes este trabalho, com trato fácil e amigável.

Ao colaborador Prof Dr Arthur Silva, pelas importantes informações e pelos conhecimentos repassados para o desenvolvimento deste trabalho, sem os quais não teria sido possível alcançar todos os resultados obtidos.

## RESUMO

PIMENTEL, B.P. (2020). Etiqueta Energética de Edificação do Exército Brasileiro pela INI-C. Campo Grande, 2020. 190 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

No Brasil, desde 2014, é obrigatório que os órgãos públicos federais obtenham etiqueta energética (ENCE) nível “A” nos seus projetos de edificações, por meio dos métodos previstos no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, Públicas e de Serviços (RTQ-C). Devido a limitações desse regulamento, em 2018 foi realizada uma Consulta Pública para sua substituição pela Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). O Exército Brasileiro, por ser órgão público federal, deve classificar suas edificações no nível “A” e projetou um pavilhão militar localizado em Campo Grande, MS, que atendeu a todos esses requisitos quando avaliado pelo método Prescritivo do RTQ-C. Com o advento da INI-C, é recomendada não só uma reavaliação desse pavilhão, como também um estudo aprofundado do novo regulamento, registrando diretrizes a serem seguidas pelo Exército na sua aplicação, o que foi objetivo desta pesquisa. Foram aplicados os métodos Simplificado e de Simulação da INI-C para avaliação dessa edificação, comparando os resultados obtidos com aqueles do método Prescritivo do RTQ-C. Ainda, foram avaliados 52 cenários de aplicação da INI-C, variando *softwares* de simulação (*EnergyPlus* e *DesignBuilder*), objetos de modelagem do sistema de condicionamento de ar (“PTAC” e “*IdealLoads*”), formas de modelagem de cobertura (conforme projeto, adiabática e com material equivalente de mesmas propriedades térmicas da cobertura de projeto) e arquivos climáticos (“SWERA” e “INMET 2016”). Procurou-se também integrar a ferramenta *Building Information Modeling* (BIM), de uso obrigatório pelo Exército, com a simulação termoenergética de edificações, por meio da interoperabilidade entre o *Revit* e o *DesignBuilder*. Por fim, foi processada uma análise paramétrica no *DesignBuilder* para quantificar possível economia de energia, caso o posicionamento solar da edificação tivesse sido avaliado por simulação na fase de projeto. Foram pontuadas vantagens na aplicação do método Simplificado da INI-C em relação ao método Prescritivo do RTQ-C, dentre as quais a possibilidade do cálculo de um consumo energético anual previsto para edificação estudada nas condições Real e de Referência, com uma economia de 61,6% que resultou em ENCE Geral de Projeto Classe “A”. As ENCEs Parciais foram as mesmas (Classe “A”) que as obtidas com o RTQ-C, exceto a de Envolvória, que melhorou do Nível “B” (RTQ-C) para a Classe “A” (INI-C). Comparando os dois métodos da INI-C entre si, em todos os cenários foi obtida ENCE Classe “A”, porém com diferenças de consumos energéticos obtidos. Apesar da INI-C recomendar a utilização do arquivo climático “INMET 2016”, o “SWERA” se mostrou mais adequado, pois: a diferença entre os consumos médios obtidos pelos métodos Simplificado e de Simulação foi de 1,51% com este, e de -9,98% com aquele; a utilização do “SWERA” forneceu um consumo energético, em média, 12,64% maior (resultado mais conservador). O cenário que forneceu maior proximidade entre os métodos da INI-C (diferença média de 1,37%) foi o que utilizou arquivo climático “SWERA”, objeto “PTAC” de condicionamento de ar, cobertura modelada de acordo com o projeto. Quando realizada a interoperabilidade entre o *Revit* e o *DesignBuilder*, o consumo energético obtido foi de -1,00% daquele obtido apenas com o *DesignBuilder* (sem interoperabilidade) e de -0,03% daquele obtido com o *EnergyPlus*, demonstrando a precisão da integração entre BIM e simulação. Por uma análise paramétrica de posicionamento solar, concluiu-se que poderia ter havido uma redução de consumo de 1,25%

ao ano pela simples rotação da edificação na fase de projeto, demonstrando a importância da elaboração de projetos baseados em desempenho energético pelo Exército.

Palavras-chave: Eficiência energética. Simulação computacional. Pavilhão militar. *Energyplus*. *Designbuilder*. BIM.

## ABSTRACT

*In Brazil, since 2014, it is mandatory that federal public agencies obtain energy label (ENCE) level “A” in their building projects, using the methods provided for in the Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C). Due to the limitations of this regulation, a Public Consultation was held in 2018, to replace RTQ-C by Inmetro Normative Instruction for Energy Efficiency Class for Commercial, Service and Public Buildings (INI-C). The Brazilian Army, as a federal public agency, must classify its buildings at the highest level (“A”) and so has designed a pavilion located in Campo Grande, MS, which met all these requirements when evaluated by the Prescriptive method of RTQ-C. With the advent of the INI-C, it is recommended not only to reclassify this pavilion, but also to conduct an in-depth study of the new regulation, recording guidelines to be followed by the Army in its application, which was the objective of this research. The Simplified and the Simulation methods of INI-C were applied to evaluate this building, comparing the results obtained with those of the Prescriptive method of RTQ-C. In addition, 52 application scenarios using INI-C were evaluated, varying simulation software (EnergyPlus and DesignBuilder), air conditioning system modeling objects (“PTAC” and “IdealLoads”), roof modeling forms (according to the project, adiabatic and with equivalent material with same thermal properties of the project roof) and weather files (“SWERA” and “INMET 2016”). It also sought to integrate the Building Information Modeling (BIM) platform, which is mandatory for the Army, with the thermoenergetic simulation of buildings, through interoperability between Revit and DesignBuilder. Finally, a parametric analysis was processed in DesignBuilder to quantify possible energy savings if the solar positioning of the building had been evaluated by simulation in the design phase. Advantages were noted in the application of the Simplified method of INI-C in relation to the Prescriptive method of RTQ-C, including the possibility of calculating a predicted annual energy consumption for building studied in Real and Reference conditions, with a saving of 61.6% that resulted in General ENCE of Project Class “A”. Partial ENCE were the same (Class “A”) as those obtained with the RTQ-C, except for the Envelope, which improved from Level “B” (RTQ-C) to Class “A” (INI-C). Comparing the two INI-C methods with each other, in all scenarios ENCE Class “A” was obtained, however with differences in energy consumption. Despite the INI-C recommends the use of the weather file “INMET 2016”, the weather file “SWERA” proved to be more appropriate: the difference between the average consumption obtained by the simplified and simulation methods was 1.51% with this, and -9.98% with that; the use of “SWERA” provided an energy consumption, on average, 12.64% higher (more conservative result). The scenario that provided the greatest proximity between the INI-C methods (average deviation of 1.37%) was the one that used the weather file “SWERA”, object “PTAC” for air conditioning, roof modeled according to the project. When interoperability between Revit and DesignBuilder was performed, the actual energy consumption obtained was -1.00% of that obtained with DesignBuilder (without interoperability) and -0.03% of that obtained with EnergyPlus, demonstrating the accuracy of integration between BIM and simulation. Also, if a parametric analysis of solar positioning had been carried out in the design phase of the case study, there would be a reduction of consumption of 1.25% per year by the simple rotation of the building, demonstrating the importance of elaborating projects based on energy performance by Army.*

*Keywords: Energy efficiency. Building performance simulation. Military pavilion. Energyplus. Designbuilder. BIM.*

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Cálculo da pontuação total. ....   | 49 |
| Figura 2 - Fórmula para cálculo do nível de eficiência energética da edificação. ....   | 50 |
| Figura 3 - Comparação esquemática entre os métodos Prescritivo e de Simulação. ...  | 50 |
| Figura 4 – Exemplo de Equação para cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória de uma edificação com área de projeção menor que 500 m <sup>2</sup> localizada na Zona Bioclimática de número 3. ....  | 51 |
| Figura 5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) Geral, incluindo todos os sistemas possíveis de avaliação (Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar). Pode ser fornecida para o edifício completo, para blocos de edifícios, para pavimentos ou conjuntos de salas. ....  | 53 |
| Figura 6 – À esquerda, ENCE parcial da Envoltória. Deve ser obtida para o edifício completo, obrigatoriamente. No centro, ENCE Parcial da Envoltória e do sistema de Iluminação. À direita, ENCE Parcial da Envoltória e do sistema de Condicionamento de Ar. As duas últimas podem ser obtidas para o edifício completo, para blocos de edifícios, para pavimentos ou conjuntos de salas, sendo a Envoltória avaliada para o edifício completo. .... | 53 |
| Figura 7 – Nova ENCE – 1ª Página, onde são expressos dados de classificação de EE obtida, consumo final de energia elétrica e térmica, informações complementares (uso racional de água e emissões de CO <sub>2</sub> ) e um QR Code para acessar páginas 2 e 3 da ENCE com dispositivos eletrônicos equipados com câmeras. ....  | 56 |
| Figura 8 – Nova ENCE – 2ª e 3ª Páginas, onde são expressos dados de classificação parcial, consumos por uso final (sistemas de Iluminação, Condicionamento de Ar, água quente e Equipamentos Instalados) e condições de avaliação. ....   | 56 |
| Figura 9 – ENCE de projeto obtida para o 11º Centro de Telemática e Centro de Operações da 5ºDE – Curitiba, PR. ....  | 60 |
| Figura 10 - ENCE de projeto obtida para o Centro de Comando e Controle Fixo do 34º BIMEC – Foz do Iguaçu, PR. ....  | 60 |
| Figura 11 - ENCE de projeto e de edificação construída obtida para o Pavilhão Comando do 5º RCC – Rio Negro, PR. ....   | 60 |
| Figura 12- Ciclo de Vida de modelagem termoenergética de edificações. ....  | 64 |
| Figura 13- Ciclo de Vida do BIM. ....   | 64 |
| Figura 14- Ciclo de Vida contemplado na plataforma OPUS. ....   | 74 |
| Figura 15- Tela inicial da plataforma OPUS. ....  | 74 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 16 – Etapas do método proposto nesse projeto de pesquisa.....   | 79 |
| Figura 17 - Vistas em perspectiva do Pav CCAp. ....  | 79 |
| Figura 18 - Vistas da fachada Norte do Pav CCAp com detalhes dos cobogós (elementos de sombreamento empregados em toda a fachada Oeste, dos dois lados do pavilhão).....   | 80 |
| Figura 19 - Vista em perspectiva do pavilhão militar (planta baixa humanizada). ....   | 80 |
| Figura 20 - Vista em perspectiva do movimento do Sol em relação ao pavilhão militar. ....  | 80 |
| Figura 21 – Localização da obra.....   | 83 |
| Figura 22 - Histórico das temperaturas mensais de Campo Grande, MS, elaborados com arquivos climáticos “INMET 2016”.....   | 83 |
| Figura 23 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro adotado pelo RTQ-C.....   | 84 |
| Figura 24 - Classificação Climática do Brasil adotada pela INI-C. ....   | 84 |
| Figura 25 - Fluxograma do método de avaliação energética de uma edificação pela INI-C, independentemente se será aplicado o método Simplificado ou de Simulação.....   | 86 |
| Figura 26 - Fluxograma do método de determinação da Carga Térmica Total e da ENCE Parcial de Envoltória, sendo $CgT_{TREAL}$ e $CgT_{TREF}$ as Cargas Térmicas na condição Real e de Referência, respectivamente .....   | 86 |
| Figura 27 - Fluxograma com etapas para obtenção do consumo energético e da ENCE Parcial do sistema de Condicionamento de Ar, sendo CCA o seu Consumo Anual de energia e $CgT$ a Carga Térmica anual.....   | 89 |
| Figura 28 - Fluxograma com etapas para determinação do consumo energético e da ENCE Parcial do sistema de Iluminação, sendo $PI_T$ a Potência Instalada Total, $PI_{TREAL}$ e $PI_{TREF}$ a Potência Instalada na condição Real e de Referência (respectivamente) e $PI_{TA}$ , a Potência Instalada na condição mais eficiente (classe “A”) ..... | 90 |
| Figura 29 - Fluxograma com etapas para determinação do consumo energético e da ENCE Parcial do sistema de Aquecimento de Água (o significado das siglas, por serem muitas, foi apresentado no texto). ....   | 92 |
| Figura 30 - Escala para classificação energética do sistema de Aquecimento de Água (com acumulação).....   | 95 |
| Figura 31- Escala para classificação energética do sistema de Aquecimento de Água (sem acumulação).....  | 96 |
| Figura 32 - Fluxograma com método para determinação do consumo energético total da edificação e da ENCE Geral de Projeto, onde CEP é o Consumo de Energia Primária, $CTE_E$ e $CTE_T$ os Consumos Totais de Energia Elétrica e Térmica, respectivamente.....   | 97 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 33 - Fluxograma com etapas para obtenção do Percentual de Economia devido Uso Racional de Água ( $ET_{\text{água}}$ ), sendo $CA_{\text{REAL}}$ e $CA_{\text{REF}}$ OS Consumos de Água na condição Real e de Referência (respectivamente), $CA_{\text{REFBS\_MIC}}$ e $CA_{\text{REFBS\_MIC}}$ OS Consumos diários de Água das Bacias Sanitárias e Mictórios na condição Real e de Referência (respectivamente), $AO_{\text{não-potável}}$ a Oferta de água não potável. .... | 99  |
| Figura 34 - Fluxograma para cálculo de carga térmica anual por meio de metamodelo <i>online</i> baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA), onde $CgT$ é a Carga Térmica anual. .   | 101 |
| Figura 35- Exemplo de Divisão de ambientes em zonas térmicas. O primeiro ambiente (esquerda) pôde ser dividido em zonas perimetrais e interna, por ter comprimento e largura superiores a 9 m. O segundo ambiente apenas pôde ser dividido em zonas perimetrais.....  | 102 |
| Figura 36- Representação de uma abertura em corte com um elemento de proteção solar paralelo à fachada, onde $Ab$ refere-se à área de abertura perpendicular a uma janela. ....   | 103 |
| Figura 37- Detalhes da tela do metamodelo para cálculo da carga térmica.....  | 104 |
| Figura 38 - Fluxograma com etapas de obtenção de Potência Instalada de Iluminação para posterior avaliação do sistema de Iluminação, onde $DPI_L$ é a Densidade de Potência de Iluminação na condição limite e $PI$ a Potência Instalada na condição de referência (REF) e nas classes de eficiência “A”, “B” ou “C”. ....  | 105 |
| Figura 39 - Modelagem na ferramenta de desenho do <i>software DesignBuilder</i> , na condição Real (conforme projeto).....  | 109 |
| Figura 40 - Modelagem no <i>software SketchUp</i> para posterior simulação no <i>software EnergyPlus</i> , na condição Real (conforme projeto). ....  | 109 |
| Figura 41 - Modelagem no <i>software Revit</i> após exportação para simulação no <i>software DesignBuilder</i> , na condição Real (conforme projeto). ....  | 109 |
| Figura 42 – Médias diárias de Temperatura de Bulbo Seco, Radiação Solar Direta e Global, e Umidade Relativa de Campo Grande, MS (“SWERA”). O eixo “x” representa os meses e as horas do dia. ....   | 111 |
| Figura 43 – Médias diárias de Temperatura de Bulbo Seco, Radiação Solar Direta e Global, e Umidade Relativa de Campo Grande, MS (“INMET 2016”). O eixo “x” representa os meses e as horas do dia. ....  | 112 |
| Figura 44- Etapas de interoperabilidade entre o <i>Revit</i> e o <i>DesignBuilder</i> . ....  | 122 |
| Figura 45 - Importação da Edificação sem exclusão de elementos estruturais, mobiliários e peças hidráulicas, no <i>DesignBuilder</i> . ....   | 123 |
| Figura 46- Planta baixa original do Pavilhão militar, edificação do lado Leste, no <i>Revit</i> . ....  | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 47 - Planta baixa do Pavilhão militar, edificação do lado Leste, no Revit, após exclusão de elementos e agrupamento de ambientes de permanência transitória. ....  | 124 |
| Figura 48 - Problemas decorrentes da falta de ligação entre paredes e lajes causados por erro de interoperabilidade (destaque na cor vermelha). ....  | 124 |
| Figura 49 - Ferramenta do Revit que permite conferência das superfícies e zonas térmicas do Modelo Analítico de Energia antes da exportação.....  | 125 |
| Figura 50 – Valores de consumo energético total para todos os cenários, com destaque para o valor médio na condição Real e na condição de Referência. ....  | 135 |
| Figura 51 – Valores de carga térmica de resfriamento para todos os cenários (simulação com arquivo climático “INMET 2016”), onde RNA se refere ao método Simplificado, DB significa <i>DesignBuilder</i> e E+, <i>EnergyPlus</i> . ....   | 136 |
| Figura 52 – Valores de consumo energético total para todos os cenários (simulação com arquivo climático “INMET 2016”), com destaque para os consumos individuais dos sistemas de Iluminação, de Condicionamento de Ar e de Equipamentos, onde DB significa <i>DesignBuilder</i> e E+ significa <i>EnergyPlus</i> . .... | 137 |
| Figura 53 – Valores de carga térmica de resfriamento para todos os cenários (simulação com arquivo climático “SWERA”), onde RNA refere-se ao método Simplificado, DB significa <i>DesignBuilder</i> e E+, <i>EnergyPlus</i> . ....  | 138 |
| Figura 54 – Valores de consumo energético total para todos os cenários (simulação com arquivo climático “SWERA”), com destaque para os consumos individuais dos sistemas de Iluminação, de Condicionamento de Ar e de Equipamentos. DB significa <i>DesignBuilder</i> e E+ significa <i>EnergyPlus</i> . ....           | 139 |
| Figura 55- Indicação da fachada principal da edificação na condição de projeto. ....  | 150 |
| Figura 56 – Carga térmica anual de resfriamento- kWh (em função da orientação solar da edificação).....   | 151 |
| Figura 57- Variação do consumo com a orientação da edificação. ....   | 152 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Consumo de energia elétrica no mundo por região em 2017 (TWh). .....  | 29 |
| Tabela 2 – Consumo de energia elétrica no mundo - 10 maiores países em 2017 (TWh).<br>.....  | 30 |
| Tabela 3 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) nos Estados Unidos.....   | 31 |
| Tabela 4 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) na União Europeia. ....   | 33 |
| Tabela 5 – Principais instrumentos políticos chineses para Economia Energética em Edifícios. ....  | 36 |
| Tabela 6 – Principais instrumentos políticos japoneses para EE em Edifícios.....   | 38 |
| Tabela 7 – Principais obstáculos às Políticas de Economia Energética em Edifícios do Japão.....  | 39 |
| Tabela 8 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) na Índia. ....  | 40 |
| Tabela 9 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) na Rússia. ....   | 44 |
| Tabela 10 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) no Brasil.....   | 46 |
| Tabela 11 - Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação geral.<br>.....   | 50 |
| Tabela 12 - Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação geral INI-C.....  | 57 |
| Tabela 13 – Valores para avaliação energética de edificações de escritórios pela INI-C.<br>.....   | 87 |
| Tabela 14 – Limites para classificação de EE da Envoltória de uma edificação, onde $CgT_{TREF}$ é a Carga Térmica anual na condição de Referência.....                               | 88 |
| Tabela 15 – Espessura mínima (cm) de isolamento térmico de tubulações para sistemas de refrigeração do tipo expansão direta ( <i>splits</i> convencionais e <i>inverter</i> ). ..... | 90 |
| Tabela 16 – Limites para classificação de EE do sistema de Iluminação de uma edificação, onde $PI_{TREF}$ é a Potência Instalada de Iluminação na condição de Referência.....        | 91 |
| Tabela 17 – Tipo de sistemas de Aquecimento de Água e suas eficiências ( $r_{aq}$ ). .....   | 95 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 18 – Limites para classificação de EE Geral de uma edificação, sendo $CEP_{REF}$ o Consumo de Energia Primária na condição de Referência.....  | 98  |
| Tabela 19 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método Simplificado da INI-C.....   | 100 |
| Tabela 20 – Valores de Densidade de Potência de Iluminação Limite ( $DPI_L$ ) para classe de EE pretendida – método do Edifício Completo da INI-C. Abaixo estão expressas apenas as atividades do Pavilhão Militar avaliado, sendo as demais disponíveis na INI-C ocultadas nessa tabela..... | 106 |
| Tabela 21 – Valores para avaliação energética de edificações de escritórios pela INI-C. ....  | 113 |
| Tabela 22 – Características gerais do sistema de Condicionamento de Ar para o modelo de simulação do edifício Real e de Referência.....   | 115 |
| Tabela 23 – Características específicas do sistema de Condicionamento de Ar para o modelo de simulação do edifício Real e de Referência.....  | 116 |
| Tabela 24 – Dados de entrada do objeto “PTAC” e do “ <i>IdealLoads</i> ” para modelagem de sistema de Condicionamento de Ar. ....   | 118 |
| Tabela 25 - Cenários avaliados, onde RNA refere-se ao método Simplificado, E+ ao <i>software EnergyPlus</i> , e DB, ao <i>software DesignBuilder</i> .....  | 120 |
| Tabela 26 - Consumo Energético Anual do Lado Leste- Pav CCAp, onde APP e APT significam, respectivamente, Área de Permanência Prolongada e Área de Permanência Transitória.....   | 128 |
| Tabela 27 - Consumo Energético Anual do Lado Oeste- Pav CCAp, onde APP e APT significam, respectivamente, Área de Permanência Prolongada e Área de Permanência Transitória.....   | 128 |
| Tabela 28 - ENCE Parcial- Pav CCAp- método Prescritivo do RTQ-C. ....   | 130 |
| Tabela 29 - ENCE Parcial- Pav CCAp- método Simplificado da INI-C.....   | 130 |
| Tabela 30 - Percentual de Economia (consumo energético anual do Edifício Real em relação ao do Edifício de Referência-Ref) para obtenção de ENCE Geral de Projeto.....  | 140 |
| Tabela 31 - Comparação entre os resultados de consumo energético anual obtidos pelo método Simplificado e de Simulação da INI-C (com <i>software EnergyPlus</i> e <i>DesignBuilder</i> ). ....  | 141 |
| Tabela 32 - Consumo energético anual (kWh/ano) na Condição Real (conforme projeto). ....  | 144 |
| Tabela 33 - Consumo energético anual (kWh/ano) na Condição de Referência .....  | 146 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 34 - Percentual de Economia (consumo energético anual do Edifício Real em relação ao do Edifício de Referência) para obtenção de ENCE Geral de Projeto. ....   | 147 |
| Tabela 35 – Volume diário de consumo de água quente por tipologia da INI-C.....   | 174 |
| Tabela 36 – Fatores de perdas térmicas por metro de tubulação - $F_{per,tub}$ (kWh/(dia.m)). (M) corresponde a tubulação metálica, não-isolada termicamente, (P) corresponde a tubulação polimérica, não-isolada termicamente e (Ref) indica a condição de Referência. Os valores referentes a tubulações com isolamento independem do material da tubulação. Caso o diâmetro da tubulação em análise não esteja especificado na tabela, adotar o valor mais próximo..... | 180 |
| Tabela 37 – Perda térmica específica do reservatório de água quente em <i>Standby</i> ( $E_{A,res,sby}$ ). ....   | 182 |
| Tabela 38 – Vazão dos dispositivos consumidores de água de uma edificação, na condição de Referência. ....  | 186 |
| Tabela 39 – Número de acionamentos diários dos dispositivos consumidores de água de uma edificação, na condição Real e de Referência. Quando não há mictórios, considera-se o mesmo número de acionamentos de bacia sanitária feminina para bacia sanitária masculina. ....   | 186 |
| Tabela 40 – Duração de uso dos dispositivos consumidores de água de uma edificação, na condição Real e de Referência. ....  | 187 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AHSRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
- AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado
- BEM - *Building Energy Model* (Modelo Energético de Edifício)
- BIM - *Building Information Modelling* (Modelagem de Informação da Construção)
- CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
- CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
- CO/3º Gpt E - Comissão de Obras do 3º Grupamento de Engenharia do Exército Brasileiro (atualmente Comissão Regional de Obras da 9ª Região Militar)
- CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural
- CRO - Comissão Regional de Obras
- DEC - Departamento de Engenharia e Construção
- DoE - *Department of Energy* (Departamento de Energia dos Estados Unidos da América)
- DOM - Diretoria de Obras Militares
- EB - Exército Brasileiro
- EB Sustentável - Programa de Sustentabilidade do Exército Brasileiro
- EE - Eficiência Energética
- EEE - Eficiência Energética em Edificações
- EISA - *Energy Independence and Security Act* (Ato de Segurança e Independência Energética)
- ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EPACT - *Energy Policy Act* (Ato de Política Energética)
- EPC - *Energy Performance Certificate* (Certificado de Desempenho Energético)
- EPE - Empresa de Pesquisa Energéticas
- IEA - *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- INI-C - Instrução Normativa INMETRO para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
- LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações / UFSC
- LED - *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)
- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, e Comércio Exterior

MME - Ministério de Minas e Energia

MPOG - Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (atualmente, Ministério da Economia)

NATO - *North Atlantic Treaty Organization* (Organização do Tratado do Atlântico Norte)

NBR - Norma Brasileira

OIA - Organismo de Inspeção Acreditado

OM - Organização Militar

OPUS - Sistema Unificado do Processo de Obras

OTAN - Organização do Tratado do Atlântico Norte

Pav CCAp - Pavilhão Companhia de Comando e Apoio

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PBE Edifica - Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações

PDOM - Plano Diretor de Organizações Militares

PNR - Próprio Nacional Residencial

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROCEL EDIFICA - Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações

QEM - Quadro de Engenheiros Militares do Exército Brasileiro

RAC - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SLTI - Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação

SOM - Sistema de Obras Militares

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

ZB - Zona Bioclimática

9ª RM - 9ª Região Militar

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                         |  |
|-------------------------|--|
| BTU                     | <i>British Thermal Unit</i> (unidade térmica britânica)  |
| $\text{kJ/m}^2\text{K}$ | Unidade de medida de energia em joules elevada à terceira potência por metro quadrado por Kelvin |
| kW                      | Unidade de medida de potência em watts elevada à terceira potência                               |
| kWh                     | Unidade de medida de potência em watts elevada à terceira potência vezes hora                    |
| lx                      | Unidade de medida de iluminamento em lux   |
| m                       | Unidade de medida de comprimento em metros   |
| $\text{m}^2$            | Unidade de medida de área em metros quadrados  |
| $\text{m}^3$            | Unidade de medida de volume em metros cúbicos  |
| mm                      | Unidade de medida de comprimento em milímetros   |
| tep                     | Unidade de medida de energia (tonelada equivalente de petróleo)                                  |
| TBtu                    | Unidade térmica britânica elevada à décima segunda potência                                      |
| TWh                     | Unidade de medida de potência elevada à décima segunda potência vezes hora                       |
| V                       | Unidade de medida de tensão elétrica em volts  |
| W                       | Unidade de medida de potência em watts   |
| $\text{W/mK}$           | Unidade de medida de potência em watts por metros por Kelvin                                     |
| $\text{W/m}^2\text{K}$  | Unidade de medida de potência em watts por metros quadrados por Kelvin                           |
| $^\circ$                | Unidade de medida de ângulo em graus   |
| $^\circ\text{C}$        | Unidade de medida de temperatura em graus Celsius  |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....   | 21 |
| 1.1   | OBJETIVO GERAL.....  | 24 |
| 1.2   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 24 |
| 1.3   | JUSTIFICATIVA .....  | 24 |
| 1.4   | AVALIAÇÃO DE IMPACTO E INOVAÇÃO DE PRODUTO INTELECTUAL .....   | 26 |
| 1.5   | ESTRUTURA DO TRABALHO.....   | 27 |
| 2     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....  | 29 |
| 2.1   | POLÍTICAS PÚBLICAS E OUTRAS MEDIDAS DE INCENTIVO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES .....                          | 29 |
| 2.1.1 | Panorama Mundial.....  | 30 |
| 2.1.2 | Um panorama sobre o Brasil .....   | 46 |
| 2.2   | REGULAMENTOS BRASILEIROS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DIRECIONADOS ÀS EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS ..... | 48 |
| 2.2.1 | RTQ-C .....  | 48 |
| 2.2.2 | INI-C.....   | 53 |
| 2.3   | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO EXÉRCITO BRASILEIRO .....   | 58 |
| 2.4   | BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) INTEGRADO A SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES MILITARES .....              | 62 |
| 2.4.1 | Uso conjunto da Ferramenta BIM e simulação termoenergética de edificações .....  | 63 |
| 2.4.2 | Simulação termoenergética no Autodesk Revit .....  | 66 |
| 2.4.3 | Interoperabilidade do Autodesk Revit com softwares de simulação termoenergética de edificações .....                   | 67 |
| 2.4.4 | Uso da Ferramenta BIM no Exército Brasileiro .....   | 72 |
| 2.5   | TRABALHOS RELACIONADOS .....   | 75 |
| 3     | MÉTODO .....   | 78 |
| 3.1   | CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA .....   | 79 |
| 3.2   | CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA.....   | 82 |
| 3.3   | AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO PROJETO EM ESTUDO PELA INI-C .....   | 85 |
| 3.3.1 | Determinação da Carga Térmica Total e da ENCE Parcial da Envoltória .....  | 86 |
| 3.3.2 | Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar .....                         | 89 |
| 3.3.3 | Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Iluminação .....                                    | 90 |
| 3.3.4 | Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Aquecimento de Água .....                           | 92 |
| 3.3.5 | Determinação do Consumo Energético dos Equipamentos Instalados na Edificação .....                                     | 97 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.3.6 | Determinação do Consumo Energético Total da Edificação e da ENCE Geral de Projeto .....  | 97  |
| 3.3.7 | Determinação do Percentual de Economia devido Uso Racional de Água.....  | 98  |
| 3.4   | <i>APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C NO PROJETO EM ESTUDO</i> .....  | 100 |
| 3.4.1 | Método Simplificado para obtenção de Carga Térmica Anual de Refrigeração da Edificação.....  | 101 |
| 3.4.2 | Método Simplificado para obtenção de Potência Instalada do Sistema de Iluminação da Edificação .....   | 104 |
| 3.5   | <i>APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C NO PROJETO EM ESTUDO</i> .....  | 106 |
| 3.5.1 | Softwares de simulação termoenergética de edificações utilizados.....  | 107 |
| 3.5.2 | Arquivos Climáticos utilizados .....   | 109 |
| 3.5.3 | Características de uso e ocupação da edificação estudada.....  | 112 |
| 3.5.4 | Características da Envoltória, dos Equipamentos Instalados, do sistema de Iluminação e do sistema de Condicionamento de Ar da edificação estudada... | 113 |
| 3.6   | <i>COMPARAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C E DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C PARA O ESTUDO DE CASO</i> .....                          | 116 |
| 3.7   | <i>COMPARAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C E DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C PARA O ESTUDO DE CASO</i> .....                         | 117 |
| 3.8   | <i>INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES MILITARES</i> .....   | 121 |
| 3.9   | <i>ANÁLISE PARAMÉTRICA DA ORIENTAÇÃO SOLAR DA EDIFICAÇÃO</i> .....   | 125 |
| 4     | RESULTADOS .....   | 127 |
| 4.1   | <i>CONSUMO ENERGÉTICO E ENCE OBTIDA PELO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C</i> .....  | 127 |
| 4.1.1 | Consumo Energético Anual e ENCE Geral de Projeto .....   | 127 |
| 4.1.2 | ENCEs Parciais de Projeto .....  | 129 |
| 4.1.3 | Discussão.....   | 131 |
| 4.2   | <i>ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO SIMPLIFICADO E O MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C</i> .....   | 133 |
| 4.2.1 | Consumo Energético Anual em todos os cenários estudados .....  | 134 |
| 4.2.2 | Resultados obtidos com arquivo climático “INMET 2016” .....  | 135 |
| 4.2.3 | Resultados obtidos com arquivo climático “SWERA” .....   | 138 |
| 4.2.4 | Comparação entre os cenários avaliados.....  | 139 |
| 4.2.5 | Discussão.....   | 142 |
| 4.3   | <i>INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA</i> .....  | 144 |
| 4.3.1 | Consumo Energético Anual para Condição Real .....  | 144 |
| 4.3.2 | Consumo Energético Anual para Condição de Referência .....   | 146 |
| 4.3.3 | ENCE Geral de Projeto .....  | 147 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.3.4 | Observações sobre processo de modelagem e interoperabilidade.....                     | 148 |
| 4.4   | <i>OTIMIZAÇÃO POR ANÁLISE PARAMÉTRICA DO POSICIONAMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO</i> ..... | 149 |
| 5     | SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....  | 153 |
| 6     | CONCLUSÕES .....  | 155 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 159 |
|       | ANEXO.....  | 171 |

# 1 INTRODUÇÃO

Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, sigla em inglês para *International Energy Agency*) mostram que, entre 1971 e 2017, o Consumo Final Total de Energia (TFC, sigla em inglês para *Total Final Consumption*) cresceu 2,3 vezes (IEA, 2019a).

Mais recentemente, a IEA (2018a) apontou que o consumo energético global aumentou em 2,3% no ano de 2018, uma taxa de quase duas vezes a média de crescimento anual que figurou entre 2010 e 2017. Esse crescimento ocorreu devido ao desenvolvimento econômico das nações e ao aumento das necessidades de aquecimento e resfriamento, em alguns países.

O aumento da demanda de eletricidade foi responsável por quase metade desse crescimento da necessidade de energia, atingindo a maior taxa de crescimento, desde 2010, ano em que a economia global se recuperou de uma crise financeira. Para suprir esse aumento de demanda por eletricidade, usinas geradoras alimentadas por carvão e gás natural foram acionadas, aumentando as emissões de carbono em 2,5% e agravando diversos problemas, como o aquecimento global (IEA, 2018a).

Nesse contexto de aumento de demanda energética e de crescimento econômico e populacional, a Eficiência Energética (EE) surge como “primeiro combustível”, por sua importância crucial na construção de um futuro sustentável, com benefícios não somente ambientais, mas também econômicos (MOTHERWAY, 2019).

Segundo a IEA, caso sejam implementadas corretamente técnicas de EE, o mundo pode reduzir as emissões de carbono e não necessariamente aumentar o consumo energético. Apesar de estimar-se uma duplicação da economia global, entre 2018 até 2040, possivelmente, poderá se extrair até duas vezes mais valor econômico da energia do que atualmente, devido aos ganhos com eficiência. Para isso, são exigidas ações imediatas, tais como políticas públicas para efficientização das edificações, das indústrias, dos automóveis, dos eletrodomésticos e dos eletroeletrônicos, além de investimentos em geração de energia limpa (IEA, 2018b).

Esse potencial de EE como fator importante para redução da taxa de crescimento do consumo de energia já era citado por Geller *et al.* (2004), como uma importante estratégia para garantir uma transição energética sustentável. Entre os anos 2000 a 2017, por exemplo, ganhos com EE evitaram um consumo de 12% a mais de energia, o que comprova esse potencial (IEA, 2018b).

Apesar disso, apenas um terço do uso final de energia é coberto por políticas mandatórias de EE, como códigos e normas (IEA, 2018a), o que, juntamente com outros

fatores, provocou redução de apenas 1,3% da taxa primária global de Intensidade Energética (razão entre o consumo energético e o Produto Interno Bruto, PIB) em 2018, a menor taxa observada desde 2010 (IEA, 2018b). Ademais, 2018 foi o terceiro ano consecutivo em que a taxa de melhoramento de EE decresceu, em contraste à aceleração requerida pelo Cenário de Desenvolvimento Sustentável da IEA 2018-2040 (IEA, 2018a).

É, portanto, extremamente necessária a retomada do crescimento da EE, de acordo com a *IEA's Efficient World Strategy*, atendendo ainda aos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). E, em especial o objetivo sete (garantir energia acessível, confiável e limpa), no seu terceiro alvo, que é dobrar a taxa de crescimento da EE (uso primário da energia por unidade do Produto Interno Bruto, PIB) até 2030 em relação a 2015, com uma taxa de crescimento anual de 2,7% (IEA, 2018b). Entre 2010 e 2016, por exemplo, houve redução anual de 2,3% da Intensidade Energética global, abaixo dos 2,7% requeridos (ONU, 2019).

Salienta-se que o setor de edificações representa grande percentual de contribuição, em relação ao consumo total final de energia. Em 2010, por exemplo, as edificações (comerciais, de serviços, públicas e residenciais) correspondiam a 35% do total mundial do consumo energético e 50% do total mundial do consumo de eletricidade (IEA, 2013). Em 2019, representaram 36% do consumo energético total no mundo (IEA, 2019b), com tendências crescentes. Apenas entre 2010 e 2018, o uso final de energia nos edifícios aumentou em quase 9% (IEA, 2019c).

Apesar da ampla contribuição do setor, apenas cerca de 40% da energia consumida nos edifícios foi coberta por políticas energéticas em 2018. Por esse motivo, é primordial que haja melhoramento no desempenho energético desse setor, reduzindo gastos e garantindo a segurança energética global (IEA, 2019c).

No Brasil, o consumo de energia também tem aumentado nos últimos anos. Em 1970, o consumo total era de 62.106.000 tep (tonelada equivalente de petróleo), evoluindo para 259.437.000 tep em 2019, um acréscimo de quase 318% (EPE, 2020a).

Em relação a 2018, o consumo de eletricidade cresceu 1,3% em 2019, impulsionado pelo aumento no consumo nas residências (de 3,5%). No mesmo ano, o consumo de eletricidade em edificações residenciais, comerciais e públicas representou 52% do total. Ao se considerar o consumo energético como um todo (não apenas eletricidade), em 2019, apenas o setor residencial e de serviços foram responsáveis por mais de 15% do total da energia consumida no Brasil (EPE, 2020a).

De 1970 a 2019, o aumento no consumo energético nos setores públicos e comerciais foi de quase 938 % (1.267.000 tep para 13.146.000 tep), sendo urgente a eficiência no setor de edificações, em especial o de edificações públicas (EPE, 2020a).

Agravando a situação do setor público, o país passa por grave crise econômica, com *déficit* primário (receitas menos despesas, sem considerar juros) de R\$ 61 bilhões, acumulados apenas em 2019, segundo a Secretaria do Tesouro Nacional. Devido ao aumento de gastos para enfrentamento da pandemia da COVID-19, a previsão é que até o final de 2020 o *déficit* primário chegue a quase R\$ 800 bilhões. Caso a previsão se confirme, o ano de 2020 terá o maior *déficit* primário em contas públicas já registrado, exigindo um grande esforço fiscal após a crise (AGÊNCIA BRASIL, 2020).

Dados da Agência Contas Abertas mostram que o Ministério da Defesa representa o segundo ministério que mais consome energia no Brasil. A soma das contas de energia das Forças Armadas (Exército, Marinha e Aeronáutica) chegou a mais de 466 milhões de reais em 2016 e a mais de 390 milhões de reais em 2017 (AGÊNCIA CONTAS ABERTAS, 2018).

Segundo Fossati *et al.* (2016), uma maneira de reduzir o consumo energético dos edifícios é o estabelecimento de políticas de regulação, de avaliação e de classificação do desempenho energético desses, o que já é mundialmente realizado, desde a crise do petróleo na década de 1970.

Evans e Shui (2009) afirmam que códigos energéticos de edifícios podem garantir que o consumo de energia possa ser reduzido em até 50%, quando comparados a edifícios projetados sem aplicação de técnicas de EE, e ainda com aumento no conforto térmico dos usuários e economia de recursos. Os mesmos autores também salientam que é menos custoso e demorado projetar um edifício eficiente do que reformar um edifício já construído.

Uma das instituições públicas que mais executa obras, direta (com mão de obra própria) e indiretamente (por licitações com fiscalização própria) é o Exército Brasileiro (EB). Conforme citou Castro (2016), o EB faz gestão de mais de: 650 quartéis, 1.850 imóveis, 88.000 benfeitorias e 16.000 solicitações de obras, espalhadas nos mais diversos rincões do país. Assim, essa instituição apresenta alto potencial de contribuição para redução de consumo energético por meio de projetos e edificações energeticamente eficientes.

Uma diretriz do governo federal, a qual também impacta diretamente os projetos elaborados pelo Exército, é a exigência do uso do *Building Information Modelling* (BIM) nas contratações públicas, o que foi estipulado pelo Decreto n° 10.306 (BRASIL, 2020a).

Nesse contexto, esse trabalho visa à análise de métodos e de ferramentas de simulação computacional para etiquetagem energética de projetos de obras militares, realizadas pelo EB, integrando ainda o uso de BIM.

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar avaliação energética do projeto de uma edificação do Exército Brasileiro, com obtenção de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), pelos métodos previstos na Instrução Normativa INMETRO para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

a) aplicar método Simplificado e de Simulação da INI-C para cálculo do consumo energético e para obtenção de ENCE de uma edificação militar;

b) comparar o método Simplificado da INI-C com o Prescritivo do RTQ-C, e as ENCE obtidas por cada método;

c) comparar os consumos energéticos obtidos pelo método Simplificado e de Simulação da INI-C;

d) avaliar o uso de diferentes ferramentas de simulação termoenergética para etiquetagem de edificações militares;

e) integrar a ferramenta *Building Information Modeling* (BIM) e a simulação termoenergética, para etiquetagem de edificações militares.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

Atualmente, há uma tendência mundial por soluções sustentáveis na área de construção civil, estimulando o surgimento e o melhoramento de sistemas de certificação para edificações eficientes. Melo *et al.* (2013) citam que no Brasil, em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) deu origem a programas de avaliação de eficiência energética de equipamentos, culminando, na área de construção civil, com o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) e, mais especificamente, com a publicação do RTQ-C no ano de 2009, o qual classifica as edificações para obtenção de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Inicialmente, a aplicação do RTQ-C teve caráter voluntário. Porém, no ano de 2014, a Instrução Normativa nº 02 da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) (SLTI-MPOG, 2014) dispôs que todos os Órgãos da Administração Pública Federal, direta, autárquica e fundacional, devem obter a ENCE nível “A”, tanto para projetos, como também para edificações públicas federais, novas ou que recebam *retrofit*.

Diante de limitações do RTQ-C, diversos estudos foram realizados desde 2009 até 2018, resultando na Consulta Pública da INI-C. Essa instrução visa à atualização e substituição do RTQ-C, por meio da Portaria nº 248 (INMETRO, 2018). Esse novo regulamento deve ser homologado (com possíveis mudanças) ainda no ano de 2020, conforme foi citado pelo INMETRO, em contato realizado por esse autor.

O Exército Brasileiro (EB), tem edificações em todo o território nacional e dispõe de um efetivo de aproximadamente 222.000 homens (BRASIL, 2018a), um dos maiores do poder público federal. Dentre os esforços do EB para aproveitar o seu potencial de EE, destacam-se estudos realizados com projetos de edificações militares, para fins de obtenção de ENCE Geral de projeto nível “A”, até então pelo RTQ-C.

Para possibilitar ainda uma análise comparativa, entre o RTQ-C e a INI-C, disponibilizada no processo de Consulta Pública em 2018, optou-se por realizar um estudo de caso de aplicação dos regulamentos para análise do projeto do Pavilhão Companhia de Comando e Apoio (Pav CCAp) do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9º B Com GE), localizado no município de Campo Grande, MS.

Esse projeto foi escolhido por ter sido modificado por Rachid (2018) para atender todos os requisitos para obtenção da ENCE Geral de Projeto Nível “A”, conforme o método Prescritivo do RTQ-C. Além disso, esse tipo de pavilhão é uma das poucas tipologias arquitetônicas comuns a todos os quartéis no território nacional, facilitando a difusão das diretrizes de projeto eficientes para Zona Bioclimática 6 (Grupo Climático 10 pela Classificação adotada na INI-C) e para que possam ser adaptadas para outras zonas.

Uma vez que o uso de BIM é obrigatório nos projetos de edificações públicas, também se procura integrar o uso de BIM ao processo de simulação termoenergética de edificações militares, o que não foi feito nos trabalhos já concluídos. Para isso, nesse trabalho, foi analisado qual *software* de simulação oferece a possibilidade de interoperabilidade com o *Autodesk Revit*, atendendo ainda aos requisitos e peculiaridades do Sistema de Obras Militares.

#### ***1.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTO E INOVAÇÃO DE PRODUTO INTELECTUAL***

Por solicitação do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, optou-se por explicitar nesta seção o impacto e a contribuição desse trabalho para a sociedade.

Esse trabalho impacta o ambiente social, uma vez que pelas técnicas expostas é possível elaborar projetos mais eficientes que reduzam o consumo energético de edificações. No caso específico dessa pesquisa, há ganhos para a sociedade porque a economia energética gerada em uma edificação militar implica redução de gastos públicos, os quais são financiados por meio de tributos. Também há possível ganho social porque algumas edificações do Exército são utilizadas pelos familiares dos militares, como os colégios militares, os hospitais militares e as residências funcionais. Assim, mudanças na área econômica podem ser resultantes desse trabalho.

Pretende-se também que o trabalho sirva como referência para o corpo técnico do Exército, facilitando o entendimento de como se deve avaliar a EE de uma edificação pela INI-C. Tal fato justifica o nível de detalhamento utilizado na seção de Método desta pesquisa, uma vez que há Manual de Aplicação do RTQ-C (INMETRO, 2016), mas ainda não da INI-C.

O nível de impacto é alto, pois o Exército Brasileiro é uma das instituições públicas que mais executa obras no país, conforme mencionado na Introdução dessa pesquisa, e os seus projetos podem ser melhorados no quesito Eficiência Energética por técnicas aqui apresentadas. Como o Exército é instituição presente em todo o território do país, esse impacto é nacional.

Como o trabalho se baseou em técnicas de avaliação energética de uma edificação pública, utilizando a INI-C (regulamento não específico apenas para edificações militares), o setor da sociedade beneficiado por essa pesquisa é o Governo (1º setor). As técnicas aplicadas no trabalho e o conhecimento produzido, apesar de terem sido aplicados a um estudo de caso em Campo Grande, MS (Zona Bioclimática 6), podem ser naturalmente replicados para outras regiões do país e para outros tipos de edificações (públicas, comerciais e de serviços). Assim, a replicabilidade do produto é considerada alta.

O presente trabalho tem relevância para a área de conhecimento de Eficiência Energética de Edificações, pois há poucos trabalhos que abordam a aplicação da INI-C devido ao seu recente lançamento (2018). Como o texto definitivo da INI-C ainda não foi divulgado, há indefinições (por exemplo, no arquivo climático das simulações) que foram também exploradas nessa pesquisa. Isso pode auxiliar profissionais da área e pesquisadores em aplicações e em trabalhos futuros que utilizem a INI-C.

Por ampla pesquisa bibliográfica, não foram encontrados trabalhos que façam comparações entre os métodos Simplificado e de Simulação da INI-C entre si, nem com o RTQ-C, o que foi realizado nessa pesquisa com caráter inovador. Esse também é o primeiro trabalho a realizar um estudo de caso de aplicação da INI-C para edificações militares, contribuindo para embasamento de novos estudos. Atividades do trabalho, como a definição do arquivo climático “SWERA” como mais vantajoso para Campo Grande, MS, quando a INI-C sugere a utilização do “INMET 2016”, por exemplo, demonstram um desenvolvimento da pesquisa com base em conhecimento inédito.

O caráter inovador do trabalho é aplicado à avaliação de edificações pela INI-C, com contribuição científica e tecnológica. Científica porque foi realizada uma análise investigatória do novo regulamento, em diversos cenários, com estudo de opções de *softwares* de simulação, de objetos de modelagem do sistema de Condicionamento de Ar de uma edificação, de arquivos climáticos, entre outros fatores, apontando os benefícios de cada abordagem e determinando se os métodos da INI-C (Simplificado e de Simulação) são de fato compatíveis (quantificando as diferenças entre eles, inclusive). A contribuição é também tecnológica porque, como não há um Manual de Aplicação da INI-C, procurou-se explicitar com detalhes o processo de avaliação de uma edificação por esse regulamento, dirimindo dúvidas que possam surgir no processo e auxiliando futuras aplicações técnicas.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está dividido em cinco partes: introdução, revisão bibliográfica, método, resultados e conclusões.

Na introdução, foram apresentados dados de consumo energético global e nacional, demonstrando a problemática do grande consumo de energia das edificações, em especial das edificações públicas brasileiras. Também foi apresentada a oportunidade de mitigar o alto consumo pela implementação de técnicas de Eficiência Energética em Edificações (EEE), atendendo aos regulamentos brasileiros da área. Por fim, foi fornecida uma justificativa para o trabalho, citando a sua contribuição para a sociedade brasileira como um todo, e para o meio acadêmico.

No capítulo 2, foi apresentada uma revisão bibliográfica que embasa esta pesquisa. Em primeiro lugar, foi traçado um panorama das políticas públicas e outras medidas de incentivo à EEE, em alguns países do mundo, inclusive no Brasil, demonstrando a relevância e atualidade do tema. Além disso, uma vez que os regulamentos brasileiros de EEE estão sendo atualizados,

é importante que os pesquisadores identifiquem as ações de outros países que possam ser adaptadas à realidade nacional. Depois, para um melhor entendimento da pesquisa, foram apresentados o RTQ-C e a INI-C, que são regulamentos brasileiros que visam EE de edificações públicas. Numa outra seção, foi descrito, sucintamente, como esse tema tem sido abordado pelo EB. Logo após, uma breve revisão da ferramenta BIM integrada à simulação termoenergética de edificações foi apresentada. Por fim, foram citados alguns trabalhos relacionados a essa pesquisa.

No capítulo 3, foi apresentado o método adotado para avaliação energética de uma edificação do EB, contendo: a caracterização do local e do objeto de estudo, a apresentação dos métodos Simplificado e de Simulação da INI-C, a descrição de como serão comparados o RTQ-C e a INI-C, a descrição das ferramentas de simulação termoenergética que serão avaliadas para o uso no EB, o detalhamento de como se pretende integrar a ferramenta BIM com simulação termoenergética de edificações militares bem como, finalmente, a descrição de uma análise paramétrica para determinação do posicionamento solar mais eficiente para a edificação.

No capítulo 4, foram apresentados os resultados desta pesquisa, com discussões e análises de cada grupo de resultados.

Por fim, foram apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, foram apresentadas políticas públicas e outras medidas dos países que mais consomem energia no mundo em prol do uso mais eficiente desse recurso, com enfoque no setor de edificações. Em seguida, foram apresentados os regulamentos brasileiros para avaliação energética de edificações públicas e os esforços do Exército Brasileiro na área de eficiência energética. Posteriormente, foi apresentado um panorama sobre uso de BIM integrado a simulação termoenergética de edificações. Por fim, foram citados trabalhos relacionados a esta pesquisa.

### 2.1 *POLÍTICAS PÚBLICAS E OUTRAS MEDIDAS DE INCENTIVO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES*

Para reduzir as taxas de crescimento de consumo de energia e de emissões de gases de Efeito Estufa, muitos países têm empregado políticas públicas em prol da conservação e do uso racional de energia, em especial na área de edificações (ALTOÉ *et al.*, 2017).

Algumas políticas e medidas que visam à conservação de energia e ao aumento da EE nos principais países do mundo, incluindo o Brasil, foram analisadas e serão apresentadas a seguir. O critério de escolha dos países foi a relevante participação no consumo de energia elétrica do mundo (países que consomem mais do que o Brasil), incluindo um panorama geral sobre a Europa. Esses dados foram obtidos no Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020 (EPE, 2020b) e estão apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica no mundo por região em 2017 (TWh).

| REGIÃO                   | CONSUMO EM 2017 | PARTICIPAÇÃO (%) |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| Mundo                    | 22323           | 100,0            |
| Ásia e Oceania           | 10234           | 45,8             |
| América do Norte         | 4636            | 20,8             |
| Europa                   | 3431            | 15,4             |
| Eurásia <sup>1</sup>     | 1291            | 5,8              |
| América do Sul e Central | 1072            | 4,8              |
| Oriente Médio            | 972             | 4,4              |
| África                   | 686             | 3,1              |

Fonte: EPE, 2020b.

<sup>1</sup> Para a Agência Internacional de Energia (IEA), Eurásia é formada por Albânia, Armênia, Azerbaijão, Bielorrússia, Bósnia e Herzegovina, Bulgária, Croácia, Chipre, Ilhas Feroe, Geórgia, Gibraltar, Cazaquistão, Kosovo, Quirguistão, Macedônia, Malta, Moldávia, Montenegro, Romênia, Rússia, Sérvia, Tadjiquistão, Turcomenistão, Ucrânia, e Uzbequistão (IEA, 2019d).

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica no mundo - 10 maiores países em 2017 (TWh).

| PAÍS           | CONSUMO EM 2017 | PARTICIPAÇÃO (%) |
|----------------|-----------------|------------------|
| Mundo          | 22323           | 100,0            |
| China          | 5935            | 26,6             |
| Estados Unidos | 3864            | 17,3             |
| Índia          | 1177            | 5,3              |
| Japão          | 946             | 4,2              |
| Rússia         | 919             | 4,1              |
| Alemanha       | 539             | 2,4              |
| Brasil         | 516             | 2,3              |
| Coreia do Sul  | 512             | 2,3              |
| Canadá         | 509             | 2,3              |
| França         | 455             | 2,0              |
| Outros         | 6950            | 31,1             |

Fonte: EPE, 2020b.

### 2.1.1 Panorama Mundial

Na década de 1970, ocorreu a Crise do Petróleo, com aumentos expressivos no preço desse recurso. Em apenas cinco meses (outubro de 1973 a março de 1974), o preço do barril de petróleo aumentou 400%, causando diversas dificuldades em todo o mundo, especialmente nos Estados Unidos e na Europa (JUNIOR, 2019). Tal fato foi o motivador do surgimento de diversas políticas e outras medidas na área de EE nas décadas de 1970 e 1980.

#### 2.1.1.1 Estados Unidos

O setor de edificações dos Estados Unidos da América (EUA) está em segundo lugar quando se analisa o consumo energético por setor, ficando atrás apenas do setor de transportes. Em 2005, aproximadamente 29% do uso final da energia se deu no setor de edificações, para o qual os gastos maiores se deram no aquecimento de ambientes, seguidos pelo seu resfriamento, pelo aquecimento de água e pelo consumo de equipamentos (HALVERSON; SHUI; EVANS, 2009).

Os EUA começaram a reconhecer a importância da conservação de energia após o embargo do petróleo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) em 1970 (SHIH; LATHAM; SARZYNSKI, 2016).

Na década de 1990, foram intensificadas diversas preocupações com o meio ambiente e com os impactos climáticos das atividades humanas, principalmente após a Guerra do Golfo e o embargo do petróleo feito pelo Iraque (DIXON *et al.*, 2010).

Nos anos 2000, o governo dos EUA, em nível federal e estadual, passou a focar na eficiência energética como forma de reduzir as emissões de gases de Efeito Estufa e o aquecimento global (DIXON *et al.*, 2010).

A Tabela 3 apresenta uma breve descrição das principais medidas adotadas pelos EUA para o aumento da EE, principalmente na área de edificações.

Tabela 3 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) nos Estados Unidos.

| <b>ANO</b>            | <b>MEDIDA COM IMPACTO EM EEE</b>  | <b>BREVE DESCRIÇÃO</b>  |
|-----------------------|---|---|
| 1975                  | Ato de Conservação e Política Energética (EPCA, sigla em inglês para <i>Energy Policy and Conservation Act</i> )      | Primeira iniciativa federal dos EUA objetivando medidas de eficiência e conservação de energia (DIXON <i>et al.</i> , 2010).  |
| 1975                  | Norma ASHRAE Standard 90s   | Tratou de conservação de energia em projetos de novos edifícios (HALVERSON; SHUI; EVANS, 2009).   |
| 1978                  | Ato Nacional de Energia (NEA, sigla em inglês para <i>National Energy Act</i> )                                       | Trouxe medidas para efficientização dos setores residencial, comercial, industrial, de transporte e de geração e fornecimento de energia elétrica (SHIH; LATHAM; SARZYNSKI, 2016).  |
| Década de 1970 e 1980 | Códigos de eficiência e conservação energética de alguns estados, como Nova Iorque, Califórnia e Carolina do Norte.   | Trataram de sistemas de iluminação, de eletrodomésticos e de equipamentos utilizados nas edificações. Essas medidas evitaram uma nova crise energética, promovendo a origem de outras políticas no país (SHIH; LATHAM; SARZYNSKI, 2016).  |
| 1991                  | Estratégia Energética Nacional (DOE's <i>National Energy Strategy</i> )   | Incentivou pesquisas e desenvolvimento tecnológico na área, planejamento de reformulação de infraestrutura elétrica e de gás natural, assim como a adoção de etiquetas energéticas para treze categorias de eletrodomésticos e equipamentos residenciais (SHIH; LATHAM; SARZYNSKI, 2016).   |
| 1992                  | Ato de Políticas Energéticas (EPACT, sigla em inglês para <i>Energy Policy Act</i> )                                  | Possibilitou que agências reguladoras estaduais arcassem com custos de programas de EE, embutindo-os em tarifas do fornecimento de utilidades públicas (SHIH; LATHAM; SARZYNSKI, 2016).   |
| 2005                  | Ato de Políticas Energéticas (EPAct05, sigla em inglês para <i>Energy Policy Act of 2005</i> )                        | Expandiu financiamentos governamentais para o desenvolvimento tecnológico em EE e energias renováveis (DIXON <i>et al.</i> , 2010) e implementou códigos energéticos de edifícios nas suas subseções Normas de Desempenho para Edifícios Federais e Eficiência Energética de Prédios Públicos (HALVERSON; SHUI; EVANS, 2009).   |
| 2007                  | Ato de Segurança e Independência Energética (EISA, sigla em inglês para <i>Energy Independence and Security Act</i> ) | Aborda a importância de Eficiência de Edifícios Residenciais, Comerciais e Federais de Alto Desempenho e de Escolas Saudáveis e de alto desempenho (HALVERSON; SHUI; EVANS, 2009). Seu impacto, segundo o Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente (ACEEE, sigla em inglês para <i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i> ), reduzirá as emissões de carbono em 9% até 2030 (DIXON <i>et al.</i> , 2010). |
| 2015                  | Plano de Energia Limpa ( <i>Clean Power Plan</i> )  | Foram estabelecidos padrões flexíveis para que cada estado desenvolva suas próprias legislações para promoção de fontes energéticas mais limpas e adoção de taxas limites anuais de emissões (NRDC, 2017).  |

Fonte: elaborado pelo autor.

O EISA e o EAct05 transformaram o mercado energético dos EUA e foram os responsáveis pelos maiores impactos na área de EE no país, desde 1975. Apenas no setor de edificações, destacam-se as seguintes metas decorrentes dessas legislações: aumentar em 70% a eficiência das lâmpadas até 2020; eliminar lâmpadas incandescentes até 2020 e promover uso de sistemas eficientes com uso de lâmpadas de diodo emissor de luz (LED, sigla em inglês para *light-emitting diode*); introduzir quarenta e cinco novas normas para efficientização de eletrodomésticos; promover uma modernização de 30% nos códigos de obra estabelecendo práticas mais eficientes (DIXON *et al.*, 2010).

Nos EUA, conforme citam Holt e Galligan (2013), as políticas públicas em prol da EE geralmente não têm estabelecido metas numéricas de redução de consumo ou de emissões de gases de Efeito Estufa como, por exemplo, é feito na União Europeia. Segundo esses autores, atualmente se tem observado uma mistura de políticas, sendo implementadas em nível regional (principalmente) e nacional, objetivando redução de custos com energia, segurança e suficiência energética, redução de danos ao meio ambiente e estímulo ao desenvolvimento sustentável e à diversificação de fontes energéticas (principalmente renováveis e limpas).

Apesar de haver iniciativas regionais, há carência de lei federal que regule redução de emissões de CO<sub>2</sub> (com incentivos fiscais, taxações de carbono e mercado de compensações e, crédito de carbono, por exemplo), que estabeleça normas e metas para uso de fontes renováveis de energia e que definam limites mínimos de EE. Muitos estados americanos atuam nessas três áreas, porém, com normas que variam consideravelmente entre si. Agências Federais têm um papel de desenvolver políticas federais de EE, que, de forma geral, dão suporte às ações estaduais, mas a adoção de objetivos comuns mais claros, em conjunto com uma metodologia uniforme de avaliação dos resultados alcançados, garantiria uma implementação mais robusta de medidas (HOLT; GALLIGAN, 2013).

Halverson; Shui e Evans (2009) sugerem algumas medidas que podem expandir os efeitos das legislações pertinentes na área de EE. Segundo os autores, deve haver melhoramento da comunicação entre os órgãos responsáveis pela adoção dos códigos de obra e os responsáveis pela obrigatoriedade no cumprimento desses, além da indústria de construção civil. O treinamento dos usuários dos códigos (engenheiros, arquitetos, construtores, empresas) e dos agentes fiscalizadores também é importante para a aceitabilidade e maior aplicação da legislação.

### 2.1.1.2 União Europeia

Na União Europeia, o consumo energético dos edifícios representa 40% do total, o que faz desse setor, individualmente, o maior consumidor europeu. Além disso, consome-se de forma ineficiente, uma vez que 75% dos edifícios europeus são considerados energeticamente ineficientes. Tais fatos fazem com que as edificações sejam responsáveis por 36% das emissões de CO<sub>2</sub> na Europa, agravando problemas ambientais (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

Na busca pela redução das emissões de carbono, desde a década de 1990, esquemas de certificação energética no setor de edificações têm sido introduzidos em muitos países da União Europeia, alguns de aplicação voluntária e outros obrigatórios (LIANG WONG; KRÜGER, 2017).

A Tabela 4 apresenta uma breve descrição das principais medidas que promovem EE na Europa.

Tabela 4 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) na União Europeia.

| ANO  | MEDIDA COM IMPACTO EM EEE                            | BREVE DESCRIÇÃO  |
|------|--|--|
| 1993 | Diretiva 93/76/UE                                    | Iniciam-se os esforços europeus para classificar o desempenho energético de edificações, visando uso racional de energia e redução de emissões de gases estufa. Embora não obrigasse ainda a certificação energética de edifícios, a Dinamarca foi o primeiro país a fazê-lo em 1997 (LIANG WONG; KRÜGER, 2017).   |
| 2002 | Diretiva 2002/91/UE                                  | Tornou obrigatória, em todos os Estados Membros, a divulgação de Certificados de Desempenho Energético (EPC, sigla em inglês para <i>Energy Performance Certificate</i> ). Foi de fato implementada após 2006, pois os países tiveram que legislar internamente sobre o assunto e qualificar profissionais acreditados (LIANG WONG; KRÜGER, 2017).                                   |
| 2006 | Diretiva 2006/32/CE (Diretiva de Serviço Energético) | Exigiu que os Estados Membros calculassem as suas economias de energia e fizessem relatórios explicando como atingiram esse desempenho (incluindo obrigatoriamente dados que permitam uma análise completa das medidas, como exemplo, a descrição das propriedades dos materiais utilizados), para que outros países pudessem replicar as medidas de sucesso (HOLT; GALLIGAN, 2013). |

| ANO  | MEDIDA COM IMPACTO EM EEE  | BREVE DESCRIÇÃO  |
|------|--|--|
| 2007 | Metas de redução de emissões de CO <sub>2</sub> até 2020   | Os objetivos são: reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 20% (comparando 2020 com 1990), atender 20% do consumo com energia oriunda de fontes renováveis e aumentar em 20% a EE na Europa. Devido à crise econômica, e à ineficiência dos meios adotados por alguns países, observaram-se dificuldades para que os objetivos fossem efetivamente alcançados (HOLT; GALLIGAN, 2013).  |
| 2010 | Diretiva 2010/31/UE (Diretiva de Desempenho Energético de Edificações – EPBD, sigla em inglês para <i>Energy Performance of Buildings Directives</i> ) | Exigiu que a EPC e, informações para fomentar economia de energia, fossem incluídas nas propagandas de aluguel e venda de imóveis e nos prédios públicos, frequentemente visitados. O objetivo principal é o aumento da consciência no tema, por parte da população em geral. Embora seja obrigatória a disposição dos EPC, os critérios utilizados, a metodologia de cálculo e o formato do certificado varia de país para país. A maioria dos Estados Membros desenvolveu programas e outras ferramentas simplificadas de cálculo, para possibilitar a certificação energética, como é o caso do Reino Unido com o Modelo Energético Simplificado de Edifícios (SBEM, sigla em inglês para <i>Simplified Building Energy Model</i> ) (LIANG WONG; KRÜGER, 2017). |
| 2011 | Plano de Ação de Eficiência Energética   | Publicados em 2000, 2006 e 2011, induziram que cada Estado Membro criasse seu Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética, que estabelece meios para redução de 9% no consumo energético, entre 2008 e 2016 (HOLT; GALLIGAN, 2013).  |
| 2012 | Diretiva 2012/27/UE  | Pressionou o Parlamento Europeu a prosseguir mais efetivamente em busca de redução de 20% do consumo energético, até 2020, por meio da criação de um Esquema Obrigatório de Eficiência Energética, o qual promove economia mandatória anual de 1,5% nas vendas de energia aos consumidores finais, entre 2014 e 2020. Esse esquema também estabeleceu mais rigor na metodologia de cálculo dos percentuais de economia utilizada pelos Estados Membros, uma vez que a subjetividade adotada por cada estado no cálculo traz descrédito ao atendimento das metas estabelecidas (HOLT; GALLIGAN, 2013). Visando aumento na EEE, estabeleceu estratégias de longo prazo para renovação das edificações (LIANG WONG; KRÜGER, 2017).                                    |
| 2018 | Diretiva 2018/2002/UE  | Alterou a Diretiva 2012/27 e estabeleceu que a União Europeia deve reduzir o consumo em 2030 em 32,5% em relação ao consumo que foi estimado para esse ano em projeções de 2007. Como a projeção feita em 2007 previa consumo final de energia de 1.416 Mtep em 2030, a meta é que os países consumam no máximo 956 Mtep, uma redução de 32,5% (PARLAMENTO EUROPEU, 2018).   |

Há ainda diversas barreiras à implementação de EEE na União Europeia. *Tuominen et al.* (2012) categorizaram as barreiras em quatro classes: a) regulatórias; b) relacionadas às organizações e aos tomadores de decisão; c) financeiras; e d) relacionadas a medidas de informação, de promoção e de educação.

Dentre as barreiras regulatórias, citam-se: insuficiência de legislações, problemas nos incentivos à EE, falta de clareza nas legislações para etiquetagem, mudanças constantes de legislações, insuficiência de subsídios, alto custo de etiquetagem, falta de fiscalização e obrigatoriedade do cumprimento dos regulamentos de EE, e falta de visibilidade dos benefícios de etiquetagem (TUOMINEN *et al.*, 2012).

Dentre as barreiras relacionadas às organizações e aos tomadores de decisão, citam-se: problemas no processo de tomada de decisão sobre edificações, falta de coordenação e comunicação, falta de coordenação no nível dos construtores (TUOMINEN *et al.*, 2012).

Dentre as barreiras financeiras, citam-se: falta de efeito de ganhos com EE no preço dos aluguéis e vendas de edificações, falta de financiamentos adequados ao incentivo à EE, falta de ligação do preço da energia com fatores externos (poluição, efeito estufa, entre outros), falta de recursos para investir em EE, divisão dos custos com EE entre os ocupantes das edificações (TUOMINEN *et al.*, 2012).

Dentre as barreiras relacionadas a medidas de informação, de promoção e de educação, citam-se: baixa prioridade em EE, falta de informações sobre o tema, falta de capacitação e treinamento dos profissionais da área, falta de consciência sobre tecnologias existentes em EE, falta de conhecimento sobre os benefícios financeiros de EE (tempo de *payback*, entre outros), dificuldades de convencer os construtores, falta do conhecimento de legislações, falta de pesquisa e informação sobre o tema (TUOMINEN *et al.*, 2012).

### **2.1.1.3 China**

Com o rápido crescimento econômico vivido por alguns países asiáticos, nações como a China vivenciaram um aumento expressivo no consumo energético. Entre os anos de 2000 e 2014, por exemplo, o consumo energético no setor de edifícios chinês cresceu 1,7 vezes, com esse setor representando entre 17,7% e 20,3% do total de consumo energético do país (HUO *et al.*, 2018). Atualmente, a China é o país de maior consumo energético do mundo e o maior emissor de gases de efeito estufa, o que torna a EEE uma questão central da estratégia energética chinesa (ZHANG; WANG, 2013).

As políticas que promovem economia de energia na China começaram na década de 1980. Há políticas de incentivo econômico à EE, como também políticas reguladoras mandatórias. As de incentivo econômico incluem incentivos fiscais, suporte financeiro, concessão de empréstimos e políticas de preços, sendo bem-sucedidas no caso chinês. Os mecanismos de controle e regulação (mais empregados na China) incluem leis, regulamentos e códigos (ZHANG; WANG, 2013).

Segundo Evans e Umd (2009), foram implementados na China códigos para promover eficiência energética de edifícios, incluindo três normas de projeto para edifícios residenciais, em diferentes partes do país (publicadas em 1995, 2001 e 2003) e uma norma de projeto de edifícios públicos (publicada em 2005). Também foram desenvolvidas normas para projeto do sistema de Iluminação mais eficiente em 2004. Observa-se que as atividades de desenvolvimento de normas nessa área têm focado mais em edifícios residenciais que públicos, mais na parte Norte do país que no Sul, e mais nos edifícios novos do que nos existentes. Esses autores ressaltam que o foco das normativas tem sido a envoltória do edifício e os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), excluindo outros componentes importantes, como Iluminação e Aquecimento de Água.

Em conjunto com as políticas de regulação mandatórias, foram implementadas a partir de 2007, políticas de incentivo econômico. O foco dessas políticas são os novos edifícios (apenas de alta eficiência energética, com 50% de redução no consumo energético ou os Edifícios “Verde”), os edifícios existentes (prédios públicos e residenciais, esses últimos na região norte do país), assim como a geração de energia renovável e os produtos eficientes energeticamente (ZHANG; WANG, 2013).

Na Tabela 5 estão destacadas algumas políticas públicas apresentadas nessa seção, que buscam aumentar EE no setor de edificações da China.

Tabela 5 – Principais instrumentos políticos chineses para Economia Energética em Edifícios.

| <b>ANO DE IMPLEMENTAÇÃO</b> | <b>MEDIDA COM IMPACTO EM EEE</b>   | <b>BREVE DESCRIÇÃO</b>   |
|-----------------------------|--|--|
| 1986                        | Normas de Projeto para Economia de Energia em Edifícios Residenciais no Norte da China | Previu redução de consumo energético dos edifícios em 50%, em relação ao ano de 1985 (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).                              |
| 1997                        | Lei de Conservação Energética da República Popular da China                            | Previu início de uma gestão que privilegiasse o uso racional de energia e a promoção de tecnologias, para economia energética (ZHANG; WANG, 2013). |

| ANO DE IMPLEMENTAÇÃO | MEDIDA COM IMPACTO EM EEE   | BREVE DESCRIÇÃO   |
|----------------------|---|---|
| 2004                 | Plano de Conservação Energética a médio e a longo prazo   | Estabeleceu EEE entre as dez principais prioridades e entre os dez projetos considerados chave para o país, com objetivos ambiciosos de reduzir em até 50% o consumo energético de edifícios (ZHANG; WANG, 2013). |
| 2006                 | 11º Plano Quinquenal Chinês (2006-2010)   | Estabeleceu uma meta de redução do consumo energético por unidade do Produto Interno Bruto (PIB), ou seja, da Intensidade Energética, em 20% nesses cinco anos (ZHANG; WANG, 2013).                               |
| 2006                 | Etiqueta 3 Star Green Building  | Incentivo a promoção de prédios sustentáveis, por meio de um sistema de pontuação com até três estrelas (EVANS; UMD, 2009).   |
| 2006                 | Lei de Energia Renovável  | Promoveu a utilização dessas fontes alternativas nos edifícios (ZHANG; WANG, 2013).   |
| 2008                 | Atualização da Lei de Conservação de Energia  | Criação de uma seção de Conservação de Energia em Construções, incluindo sete artigos relacionados a códigos energéticos de edifícios (EVANS; UMD, 2009).   |
| 2011                 | Mecanismos de flexibilidade de Kyoto: <i>Clean Development Mechanism</i> (CDM) e <i>Programmatic CDM</i> (PCDM) | Foram considerados os mecanismos mais racionais para projetos de edifícios energeticamente eficientes (ZHANG; WANG, 2013).  |
| 2011                 | 12º Plano Quinquenal Chinês (2011-2015)   | Alocou metas de redução de consumo energético e de redução de emissões para todas as regiões do país (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que há problemas a serem superados no sistema regulatório e legal para garantir a EEE na China. Apesar de haver uma Lei de Conservação de Energia, ela não impôs exigências na Lei de Construção, sendo necessária a elaboração de normativas adicionais que o façam, exigindo metas mais específicas, como limites de propriedades térmicas aceitáveis para envoltória das edificações e outras diretrizes de projeto, que reduzam o consumo de energia (ZHANG; WANG, 2013).

Ao ser comparada com o Japão, por exemplo, a China sofre com mais obstáculos para implementação de políticas na área energética, como a ineficácia na obrigatoriedade de implementação, a insuficiência de informação e consciência sobre o tema, e a imaturidade do sistema regulatório financeiro. Zhang e Wang (2013) também sugerem que sejam desenvolvidas metodologias mais confiáveis para avaliação energética, e para cálculo de emissões. A China é um país de dimensões continentais, com várias zonas climáticas, sendo

necessário que sejam criadas normas mais específicas, para cada zona ou grupo de zonas. Também há problemas de monitoramento energético de consumo, com falta de uma *baseline* que direcione os investimentos em EE (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).

Outro obstáculo a ser superado é a falta de consciência sobre a necessidade de implementação de normas para economia energética em edifícios. Deve-se incentivar *Workshops*, informações nos meios de comunicação de massa para disseminação da real necessidade e aumento da participação pública no processo (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).

#### 2.1.1.4 Japão

No Japão, o setor de edificações responde por mais de 30% do consumo energético, com taxas de crescimento maiores que as dos setores de transporte e de indústria, nos últimos anos (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).

Em 1973, o país foi duramente afetado pela Crise do Petróleo, época na qual o consumo desse recurso representava 80% do total da demanda primária de energia. Assim, desde essa época há melhoramentos na área de EE devido implementação de diversas políticas governamentais (EVANS; SHUI, 2009).

Porém, foi mais recentemente que as políticas energéticas ganharam bastante visibilidade, tornando-se prioridade no governo nacional e nos governos estaduais. O acidente na Usina Nuclear de Fukushima seguido de grandes terremotos causou uma queda de todos os reatores nucleares do país entre 2013 e 2015. Após esses fatos, houve grande resistência a operação e a expansão de usinas nucleares, aumentando ainda mais a necessidade de economia de energia e busca por novas fontes. A EE surge nesse contexto como uma das possibilidades para amenizar a crise energética do país (ARIMURA; TARUI, 2017).

Na Tabela 6, foram destacadas algumas políticas públicas apresentadas nessa seção, que visam à economia de energia no setor de edificações do Japão.

Tabela 6 – Principais instrumentos políticos japoneses para EE em Edifícios.

| <b>ANO DE IMPLEMENTAÇÃO</b> | <b>MEDIDA COM IMPACTO EM EEE</b>   | <b>BREVE DESCRIÇÃO</b>   |
|-----------------------------|--|--|
| 1979                        | Ato de Conservação de Energia (revisada muitas vezes nos anos seguintes) | Inicialmente, foi buscada a EE no setor industrial. Depois, o setor de edificações foi também sendo abordado nas legislações (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016). Esse Ato motivou implementação de várias políticas e regras ambientais, na década seguinte (ARIMURA; TARUI, 2017). |

| <b>ANO DE IMPLEMENTAÇÃO</b> | <b>MEDIDA COM IMPACTO EM EEE</b>  | <b>BREVE DESCRIÇÃO</b>  |
|-----------------------------|---|---|
| 1996                        | Contratos de Desempenho Energético  | Garantiram o financiamento, com taxas menores, para projetos de edifícios que utilizavam tecnologia para redução do consumo energético (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).   |
| 1999                        | Orientações de Projeto e Construção para Racionalização do Uso de Energia em Residências                            | Abordou isolamento térmico da envoltória, sistemas AVAC, informações sobre manutenção e operação (EVANS; SHUI, 2009).   |
| 1999                        | Critério para Clientes na Racionalização de Uso Energético em Residências   | Mistura de métodos de desempenho e prescritivos, abordando principalmente sistemas AVAC, inclusive com metodologia de obtenção de cargas térmicas anuais de aquecimento e resfriamento para cada tipo de prédio (EVANS; SHUI, 2009).  |
| 2000                        | Lei de Garantia de Qualidade das Edificações  | Deu suporte a diferentes medidas e padrões a serem adotados por edifícios comerciais e residenciais (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).  |
| 2001                        | Padrões CASBEE (sigla em inglês para <i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i> ) | Sistema de avaliação de desempenho de edifícios, de aplicação voluntária. Muitas cidades japonesas forneceram incentivos a edifícios energeticamente eficientes, avaliados pelo CASBEE, como autorização a construir um andar adicional ou de maior área, mesmo acima de limitações de zoneamento urbano (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).   |
| 2002                        | Ato de Uso Racional de Energia  | Previu que proprietários de prédios comerciais de mais de 2000 m <sup>2</sup> submetessem planos de economia de energia ao governo. Foi promulgado em 1979, revisado em 1983, 1993, 1998, 2002, 2005 e 2008. (EVANS; SHUI, 2009).   |
| 2006                        | Programa Básico para Residências  | Tinha objetivo de melhorar os padrões construtivos das edificações até 2015 (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016).  |
| 2010                        | <i>Cap and Trade</i> Tóquio   | Primeiro esquema mandatário de controle de emissões de gases de efeito estufa da Ásia, iniciado em 2008 e totalmente implantado em 2010. Numa das suas vertentes, foi introduzido o Programa de Edifícios “Verde” de Tóquio, com um sistema de classificação energética para avaliação dos novos edifícios (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016). |

Fonte: elaborado pelo autor.

O sucesso da implementação correta das políticas públicas na área de EEE se reflete no fato de quase 80% dos projetos de edifícios japoneses atenderem as normas nacionais de economia energética (EVANS; SHUI, 2009).

Há, porém, limitações ainda que podem ser superadas. Em uma pesquisa realizada por (HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016) foram citados alguns obstáculos ao sucesso das Políticas de economia energética nos edifícios, listadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Principais obstáculos às Políticas de Economia Energética em Edifícios do Japão.

| <b>PORCENTAGEM DE RESPOSTAS NA PESQUISA</b> | <b>PRINCIPAL OBSTÁCULO</b>    |
|---|-------------------------------|
| 83,33%                                      | Falta de incentivo à inovação |
| 60,00%                                      | Situação política instável    |
| 86,67%                                      | Altos custos de transações    |

| <b>PORCENTAGEM DE RESPOSTAS NA PESQUISA</b> | <b>PRINCIPAL OBSTÁCULO</b>                 |
|---|--|
| 73,33%                                      | Falta de metodologia aplicável             |
| 53,33%                                      | Impedimentos decorrentes do acidente de    |
| 93,33%                                      | Pequena monta dos créditos para incentivos |
| 63,33%                                      | Falta de consciência adequada              |
| 86,67%                                      | Insuficiência de mecanismos de teste       |

Fonte: Modificado de HUANG; MAUERHOFER; GENG, 2016.

Segundo Huang; Mauerhofer e Geng (2016), instrumentos fiscais, como isenção de taxas, empréstimos e subsídios normalmente são mais efetivos do que taxações e aumentos nas tarifas de energia para redução do consumo energético no Japão. Certificação voluntária e etiquetagem também podem ser eficazes para este fim, desde que as metodologias sejam bem elaboradas e atualizadas regularmente.

### 2.1.1.5 Índia

Com o rápido crescimento econômico da Índia, o consumo energético do setor de edificações tem crescido vertiginosamente. Segundo Kumar *et al.* (2010), é extremamente importante o aumento da EE, principalmente na área de edifícios, que contribui por aproximadamente 33% do consumo de eletricidade no país.

A Tabela 8 apresenta uma breve descrição das principais medidas que promoveram EEE na Índia.

Tabela 8 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) na Índia.

| <b>ANO</b> | <b>MEDIDA COM IMPACTO EM EEE</b>                       | <b>BREVE DESCRIÇÃO</b>   |
|------------|--|--|
| 2001       | Ato de Conservação Energética                          | Criou a Secretaria de Eficiência Energética (SEE) do Ministério de Energia da Índia. A SEE atua no treinamento e no aumento da consciência sobre EE; elabora documentos técnicos, aumentando a efetividade da implementação de códigos e regulamentos pelos profissionais da construção civil; monitora os esforços para atingir metas de economia de energia e redução de Intensidade Energética no país; desenvolve programas de classificação energética para edifícios; cria valores de referência de desempenho energético de edificações (kWh / ano.m <sup>2</sup> ) (KUMAR <i>et al.</i> , 2010). |
| 2005       | GRIHA (Green Rating for Integrated Habitat Assessment) | Incorporou alguns aspectos do Código Nacional de Obras e do Código de Conservação Energética em Edifícios (ECBC) e inclui análise de consumo energético comercial, consumo de energias renováveis, consumo de água e reciclagem, gestão de resíduos, entre outros (KUMAR <i>et al.</i> , 2010).  |

| ANO  | MEDIDA COM IMPACTO EM EEE                            | BREVE DESCRIÇÃO  |
|------|--|--|
| 2007 | Código de Conservação Energética em Edifícios (ECBC) | Contemplou grandes edifícios comerciais (carga conectada igual ou superior a 500 kW ou demanda igual ou superior a 600 kVA), estabelecendo padrões mínimos de desempenho para edificações das cinco principais regiões climáticas da Índia. O código foca na envoltória, nos sistemas mecânicos e equipamentos (AVAC), no sistema de iluminação, no aquecimento de água, nos motores e nas fontes de eletricidade. A estrutura do código oferece duas abordagens para avaliação: método Prescritivo e método de Simulação. O Prescritivo tem a vantagem de ser de simples aplicação. Porém, infelizmente, o governo, os laboratórios e os órgãos do terceiro setor não certificaram ainda todos os produtos e equipamentos necessários à conformidade quanto ao ECBC (KUMAR <i>et al.</i> , 2010). |
| 2009 | Grupo ECO-III  | Criou um Manual do Usuário do ECBC com o objetivo de ajudar os arquitetos, engenheiros e outros atores da indústria de construção a aplicarem o código em situações reais. Também desenvolveu seções de dicas quanto à Envoltória, sistema AVAC e de Iluminação, e sobre o método de Simulação. Atuou num projeto importantíssimo de benchmarking energético, mapeando consumo e áreas úteis em diversas tipologias construtivas de mais de 760 edifícios comerciais, o que contribui para avaliação de conformidade do desempenho energético por meio de índices reais (KUMAR <i>et al.</i> , 2010).  |
| 2014 | LEED- Índia  | Abordagem visando sustentabilidade de edifícios por meio da avaliação de desempenho de cinco áreas principais: (1) Desenvolvimento Sustentável do canteiro de obras; (2) economia de água; (3) eficiência energética; (4) seleção de materiais e (5) qualidade ambiental interna (KUMAR <i>et al.</i> , 2010).   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Kumar *et al.* (2010), a implementação dos códigos energéticos na Índia (como o ECBC) exige uma ação dos governos locais, uma vez que cabe aos Órgãos Urbanos Locais (ULBs, sigla em inglês para *Urban Local Bodies*) o aparato legal sobre legislações de edifícios. O Governo Central apenas elabora os Regulamentos e Códigos, mas não tem poder legal para garantir que entrem em vigor de fato. Assim, os governos estaduais devem atuar para que os governos municipais implementem os códigos nas suas leis, para que de fato sejam adotados amplamente (KUMAR *et al.*, 2010).

Em resumo, Kumar *et al.* (2010) citam algumas barreiras à implementação do ECBC (mas que servem para outros códigos energéticos) na Índia:

- a) falta de clareza do aparato institucional e administrativo e do mecanismo de avaliação de conformidade no nível estadual, para que possa ser tornado obrigatório o ECBC;
- b) falta de conhecimento e *expertise* suficiente dos profissionais de construção civil para garantir a implementação efetiva do código no setor;
- c) alto custo dos materiais e sistemas construtivos energeticamente eficientes (o que pode ser resultado de baixa demanda);

d) insuficiência de Laboratórios e outros órgãos para testar materiais, impossibilitando atender a alguns requisitos do ECBC;

e) ausência de pressão do mercado e falta de consciência do setor de construção quanto aos benefícios financeiros de longo prazo na conformidade quanto ao ECBC;

f) inadequação de instituições de ensino com conhecimento especializado para ensinar seus alunos em aspectos relacionados à EEE.

Como consequência, Kumar *et al.* (2010) oferecem sugestões para maximizar a implementação do ECBC:

a) fortalecer o aparato administrativo/institucional e criação de órgãos para verificação de conformidade quanto ao ECBC em autoridades municipais subordinadas aos Estados;

b) identificar e autorizar instituições que possam funcionar como agências de certificação do terceiro setor para aumentar a conformidade dos edifícios quanto ao ECBC;

c) selecionar instituições de ensino que possam capacitar e treinar os projetistas, consultores e outros trabalhadores da construção civil para bom entendimento do ECBC e de técnicas de EEE;

d) garantir que o currículo de faculdades de engenharia e arquitetura contemplem EEE;

e) identificar e fortalecer laboratórios que possam executar testes e certificação de materiais e sistemas construtivos relacionados ao ECBC;

f) criar fóruns para disseminar informações sobre materiais, equipamentos e outros produtos que visam EEE;

g) introduzir esquema que facilite aplicação parcial e sequencial de diferentes sistemas avaliados pelo ECBC;

h) reconhecer e premiar iniciativas que sejam trabalhos exemplares quanto à implementação de medidas previstas no ECBC.

#### **2.1.1.6 Alemanha**

O setor de edificações é responsável por 35% do consumo energético total da Alemanha. O alto consumo é agravado pelo fato de 63% dos edifícios residenciais terem sido construídos antes de 1979, ano da primeira ordenança abordando isolamento térmico no país. Estima-se que esses edifícios ineficientes consomem cerca de 5 vezes mais energia que os construídos após o ano de 2001 (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR, 2020).

A Alemanha, seguindo a tendência de outros países, tem buscado uma transição do seu sistema energético para uma “Economia de Energia Verde” (*‘Green Energy Economy’*), com redução de emissões de gases de efeito estufa e de dependência de combustíveis fósseis. Motivado ainda pelo acidente nuclear de Fukushima, no Japão, o país tem buscado eliminar a produção de energia nuclear até 2022, o que gera ainda mais necessidade de investimento em EE e em fontes alternativas de energia. Para transformar o sistema energético, o governo alemão tem introduzido metas ambiciosas de EE: reduzir o consumo primário de energia em 20% até 2020, e em 50% até 2050, em relação ao ano de 2008. Além disso, o país tem adotado como Estado Membro da União Europeia, as metas desse Bloco Econômico, de reduzir o consumo energético em 20% até 2020, e em 27% até 2030, comparado às projeções energéticas europeias (RINGEL *et al.*, 2016).

Além das medidas decorrentes do país ser um Estado Membro da União Europeia (já citadas anteriormente neste trabalho), a Alemanha tem estabelecido medidas e políticas próprias de EE recentemente, por meio do Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética (NAPE, sigla em inglês para *National Energy Efficiency Action Plan*) e do Programa de Ação sobre Clima (APC 2020, sigla em inglês para *Action Plan on Climate 2020*) (RINGEL *et al.*, 2016).

Ringel *et al.* (2016) citam quatro grupos de medidas para EE em que o governo alemão tem atuado: 1) Regulações, por meio de códigos energéticos, estruturas de tarifas energéticas, regulações dos usos finais de produtos; 2) Medidas que afetam preços e instrumentos financeiros, como taxação energética, subsídios e outros programas; 3) Campanhas de informação; e 4) Auditorias Energéticas realizadas pelas agências à nível nacional e regional.

O sucesso dos programas e das políticas de EE na Alemanha tem sido limitado, gerando dificuldades para que o país consiga atender as metas estipuladas de redução de consumo energético em 20% até 2020. Atingir as metas até 2020 foi um dos principais motivos para o governo alemão apresentar o NAPE e o APC (RINGEL *et al.*, 2016).

O NAPE inclui instrumentos para melhoramento de EE tornando esse tema o segundo pilar da transição energética alemã. Esse Plano contempla diversas medidas visando aumento de EE, incluindo instrumentos para difusão de informações, medidas de incentivo financeiro e regulações. A sua área de aplicação abrange diversos campos de atividades, como o setor de edificações, indústrias e serviços. Metade dos instrumentos propostos no NAPE são para implementação imediata (instrumentos de curto prazo), como, por exemplo, a introdução de um esquema competitivo que visa licitação com mecanismos quantitativos de EE e a criação de uma iniciativa para encontrar 500 redes de EE capazes de acelerar e melhorar a implementação de EE no setor industrial e de serviços (RINGEL *et al.*, 2016).

As medidas propostas no NAPE contribuem com 22 a 30% da economia necessária para atingir a meta de redução energética até 2020. Assim, por si só não são suficientes, apesar de fornecerem uma contribuição significativa. O governo alemão permite atingir o restante da economia necessária por meio de medidas previstas com mudanças no setor de transporte, energia e edificações expressas no APC, além das medidas tomadas pela União Europeia como um todo (RINGEL *et al.*, 2016).

### 2.1.1.7 Rússia

Lychuk, Halverson e Roshchanka (2012) afirmam que o consumo energético russo é um dos mais ineficientes do mundo. A intensidade energética da Rússia é aproximadamente 2,5 a 3,5 vezes maior que a de países economicamente desenvolvidos (BOYARINOV; PLASTININA; DUKMASOVA, 2016).

Os edifícios russos são especialmente ineficientes energeticamente, pois apresentam projetos que não levam em conta EE associados a uma longa estação climática de frio. Esse setor é responsável por 32% do consumo energético total do país, e é o que apresenta o maior potencial de economia dentre todos os setores consumidores de energia (GUSEV, 2013; LYCHUK; HALVERSON; ROSHCHANKA, 2012). Assim, Boyarinov, Plastinina e Dukmasova (2016) acreditam que, para que o país seja mais competitivo economicamente, é necessário que se invista em EE em diferentes setores, principalmente no setor de edificações.

A indústria de construção civil na Rússia historicamente sempre esteve sujeita a forte controle governamental. Assim, apesar de atualmente haver a motivação de conformidade com regras de mercado, o fator governamental é também muito importante para efetividade da implementação de EE (BOYARINOV; PLASTININA; DUKMASOVA, 2016).

A atuação na área de EEE russa é comprometida por diversos fatores, como, por exemplo, a mudança de propriedade dos imóveis para diferentes proprietários, o que dificulta o direcionamento das medidas (BOYARINOV; PLASTININA; DUKMASOVA, 2016).

A Tabela 9 apresenta uma breve descrição das principais medidas de EEE na Rússia.

Tabela 9 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) na Rússia.

| ANO  | MEDIDA COM IMPACTO EM EEE                                     | BREVE DESCRIÇÃO  |
|------|---|--|
| 1998 | Programa Federal de Economia Energética da Rússia (1998-2005) | Primeiro programa governamental russo para EE, revelou diversas falhas de governança, resultando em aumento do consumo energético até mesmo numa época de redução da produção no país. |

| ANO  | MEDIDA COM IMPACTO EM EEE   | BREVE DESCRIÇÃO  |
|------|---|--|
| 2008 | Decreto da Presidência da Rússia n° 889                                   | Previu redução da Intensidade Energética do país em pelo menos 40% até 2020, em comparação a 2007. Apesar dos esforços, observou-se um aumento de apenas 5,61% na EE comparando a Intensidade Energética de 2014 com a de 2008, o que é insuficiente para atingir os objetivos estabelecidos pelo país.  |
| 2009 | Lei n° 261  | Objetivou que entre 2015 e 2020 4,5% do total de edifícios construídos devam ser reformados, para aumentar sua EE. O restante dos edifícios existentes depende de iniciativas independentes e voluntárias para eficiência energética. Como o número de edifícios existentes é bem maior que o número em construção, não deve haver avanço rápido da EE nas edificações russas. |
| 2011 | Regulação dos Requerimentos de EE (Decreto do Governo Federal Russo n°18) | Previu redução do consumo energético anual dos edifícios de 40% para prédios construídos a partir de 2020. Porém, essa lei é válida apenas para edifícios novos ou que passem por processo de reforma.   |

Fonte: adaptado de BOYARINOV; PLASTININA; DUKMASOVA, 2016.

Atualmente, dentre as medidas implementadas na Rússia para aumento de EEE Boyarinov, Plastinina e Dukmasova (2016) citam:

- a) definição de requerimentos mínimos de EE em edifícios, novos ou existentes;
- b) introdução de Auditorias Energéticas obrigatórias e de certificados energéticos para os edifícios em construção e para edifícios que estão sendo modernizados ou reformados;
- c) supervisão da conformidade com requerimentos de economia de energia pelas agências governamentais;
- d) definição de violações administrativas na esfera de economia de energia;
- e) implementação de suporte orçamentário federal e regional aos Programas de Economia de Energia;
- f) instalação de instrumentos de medição de consumo de água e eletricidade (por enquanto) nas reformas dos edifícios, obrigatoriamente.

Segundo Boyarinov, Plastinina e Dukmasova (2016), essas medidas não são suficientes. Deve ser implementado um sistema que restrinja gradualmente os requisitos mínimos a serem atendidos.

Operando conjuntamente com as medidas administrativas do governo russo, são necessárias medidas econômicas. Para as construtoras, há necessidade de que haja uma demanda por produtos eficientes no setor imobiliário, assim como disponibilidade de produtos eficientes energeticamente viáveis. Para os compradores, é necessário que haja consciência das vantagens de adquirir um imóvel energeticamente eficiente, assim como viabilidade econômica para aquisição desses. Para os administradores dos prédios, deve haver incentivo governamental

para implementação de tecnologias eficientes (BOYARINOV; PLASTININA; DUKMASOVA, 2016).

Na Rússia, o Código Fiscal já prevê que pode ser fornecida uma taxa de juros mais vantajosa para organizações que constroem edifícios de EE mais alta (classe “A”), ou seja, quando o consumo energético para aquecimento, ventilação e aquecimento de água é 45% menor que um valor de referência. Porém, o processo junto aos órgãos responsáveis é extremamente burocrático. Indo além, uma sugestão de medida econômica para o aumento da EE na Rússia é a adoção de incentivos financeiros para proprietários de residências construídas antes de 1988, uma vez que os custos envolvidos na eficientização são maiores. (BOYARINOV; PLASTININA; DUKMASOVA, 2016).

### 2.1.2 Um panorama sobre o Brasil

O Brasil começou a formular sua política de incentivo à Eficiência Energética na década de 1980. Segundo Geller *et al.* (2004), as políticas nacionais para promoção de EE foram moderadamente bem-sucedidas. Assim, ainda há muito espaço para ações governamentais nessa área (ALTOÉ *et al.*, 2017).

A Tabela 10 apresenta uma breve descrição das principais medidas impactaram a EEE no Brasil.

Tabela 10 – Medidas que impactaram Eficiência Energética de Edificações (EEE) no Brasil.

| ANO  | MEDIDAS E FATOS COM IMPACTO EM EEE       | BREVE DESCRIÇÃO  |
|------|--|--|
| 1981 | Programa Conserve                        | Início das políticas públicas visando EE. Buscou conservação de energia na indústria, com o desenvolvimento de produtos mais eficientes e a substituição de fontes energéticas importadas, por nacionais (ALTOÉ <i>et al.</i> , 2017).   |
| 1982 | Programa de Mobilização Energética (PME) | Buscou incentivar conservação energética e substituição de derivados de petróleo, por fontes renováveis (ALTOÉ <i>et al.</i> , 2017).  |
| 1984 | Programas de Avaliação de Conformidade   | Objetivou racionalizar o consumo da energia ao fornecer informações de EE dos equipamentos disponíveis no mercado. Esse projeto se transformou no Programa Brasileiro de Etiquetagem, PBE (BRASIL, 2019a). O PBE é coordenado pelo INMETRO e fornece informações de desempenho de produtos, tanto na área de EE como na área de ruídos ou outra área que possa influenciar a sua escolha, pelo consumidor. Os produtos são avaliados em laboratórios por meio de ensaios, recebendo etiquetas para classificação de desempenho. No caso de EE, por exemplo, há etiquetas desde a classe “A” (mais eficiente) até a classe de “C” até “G” (menos eficiente), dependendo do produto (BRASIL, 2019b). |

| ANO        | MEDIDAS E FATOS<br>COM IMPACTO EM<br>EEE  | BREVE DESCRIÇÃO   |
|------------|---|---|
| 1985       | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)                                 | Objetivou promover o uso racional de energia elétrica (ALTOÉ <i>et al.</i> , 2017). Foi criado por meio da Portaria Interministerial n° 1877 (BRASIL, 1985).  |
| 1991       | Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) | Atua no âmbito do PBE, estimulando o uso racional de energias não renováveis (ALTOÉ <i>et al.</i> , 2017). Foi criado pelo Decreto Presidencial de 18 de julho de 1991 (BRASIL, 1991).  |
| 1997       | Política Energética Nacional (PEN)  | Visou conservação de energia e a preservação do meio ambiente, criada pela Lei n. 9.478 (BRASIL, 1997), que estabeleceu os princípios da PEN relacionados ao uso racional de fontes energéticas.  |
| 2000- 2001 | Pico de Consumo e Crise Energética  | No ano 2000, ocorreu pico de consumo no setor de edificações. Em 2001, ocorreu grave crise energética, ocasionada por fatores como falta de investimentos, aumento do consumo nos anos anteriores e escassez de chuvas. Para efeitos de comparação, a taxa de crescimento do consumo energético entre 1995 e 1999 foi de 8,3%. Após a crise, de 2003 a 2009, observou-se crescimento de 4,7%, o que provavelmente se deu por mudanças de hábitos adquiridos durante o racionamento e por uso de tecnologias mais eficientes (FOSSATI <i>et al.</i> , 2011).                         |
| 2001       | Lei n° 10.295<br>Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia                   | Estabeleceu que o Poder Executivo seria responsável por desenvolver mecanismos de promoção de EE de máquinas e equipamentos (produzidos e comercializados no país) e de edificações construídas no país (BRASIL, 2001a).  |
| 2001       | Decreto n° 4.059  | Regulamentou a Lei n. 10.295 e dispôs: “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia, fabricados ou comercializados no país, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia” (BRASIL, 2001b).   |
| 2001       | Programas obrigatórios de etiquetagem   | O INMETRO, que, antes da Lei n 10.295 (BRASIL, 2001a) e do Decreto 4.059 (BRASIL, 2001b), estabelecia os programas de etiquetagem de forma voluntária, passou a realizar avaliação de conformidade compulsoriamente na área de EE, fortalecendo o PBE e estabelecendo níveis mínimos de eficiência energética pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, CGIEE (BRASIL, 2019a)  |
| 2003       | Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA)                    | Foi criado pela ELETROBRAS/PROCEL atuando de forma conjunta com os “Ministérios de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil.” O Programa tem trabalhado em seis vertentes: Capacitação, Tecnologia, Disseminação, Regulamentação, Habitação e Eficiência Energética e Planejamento. O PROCEL EDIFICA organiza ações de incentivo à conservação e o uso eficiente de recursos naturais nas edificações (CB3E, 2019a). |

| <b>ANO</b> | <b>MEDIDAS E FATOS COM IMPACTO EM EEE</b>  | <b>BREVE DESCRIÇÃO</b>  |
|------------|--|---|
| 2003       | Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-Edificações)  | Teve objetivo de elaborar regulamentos e metodologias de avaliação de EE de edificações (ALTOÉ <i>et al.</i> , 2017).   |
| 2005       | Secretaria Técnica de Edificações (ST-Edificações)   | Constituiu-se como um fórum de discussões técnicas, do qual participaram o Laboratório de Eficiência Energética de Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/ UFSC) e diversos especialistas do meio acadêmico, dos conselhos de classe e de entidades do setor de construção civil (FOSSATI <i>et al.</i> , 2011).   |
| 2005       | Comissão Técnica de Edificações (CT-Edificações)   | Criado para discussão e definição do processo para obtenção de ENCE (BRASIL, 2019c).  |
| 2009       | Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) | Segundo Brasil (2019c), foi lançado o Programa de Certificação Energética para Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços e o RTQ-C, por meio da Portaria INMETRO nº 53, de 27 de fevereiro de 2009 (INMETRO, 2009). Esse documento foi revisado em 2010, por meio da Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010 (INMETRO, 2010), complementada pelas Portarias INMETRO n.º 17, de 16 de janeiro de 2012 (INMETRO, 2012a) e Portaria INMETRO nº 299, de 19 de junho de 2013 (INMETRO, 2013a). Apresenta metodologia de avaliação de desempenho energético de edifícios comerciais, de serviços e públicos, além de estabelecer requisitos que devem ser cumpridos para que seja obtida a Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE). |
| 2010       | Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)                       | Apresenta metodologia de avaliação de desempenho energético de edifícios residenciais, além de estabelecer requisitos que devem ser cumpridos para que seja obtida a Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE). Revisado pela Portaria INMETRO nº 18, de 16 de janeiro de 2012 (INMETRO, 2012b).  |
| 2013       | Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC)  | Apresenta as etapas a serem seguidas para obtenção de ENCE, os órgãos envolvidos, a lista de documentos a serem encaminhados, os modelos de formulários para preenchimento, além de outros. Já houve o RAC-C (lançado em 2009) e o RAC-R (lançado em 2011) para edificações comerciais, públicas e de serviços e para edificações residenciais, respectivamente. Atualmente, porém, há apenas um RAC para todo tipo de edificação, publicado sob a Portaria INMETRO nº 50, de 01 de fevereiro de 2013 (INMETRO, 2013b).   |

Fonte: elaborado pelo autor.

## **2.2 REGULAMENTOS BRASILEIROS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DIRECIONADOS ÀS EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS**

### **2.2.1 RTQ-C**

O RTQ-C é aplicável a edifícios comerciais, de serviços e públicos, condicionados, totalmente ou parcialmente, e os não-condicionados. Atualmente, o RTQ-C ainda está em vigor e todas as obtenções de ENCE das edificações do tipo citado devem utilizar os métodos previstos nesse regulamento.

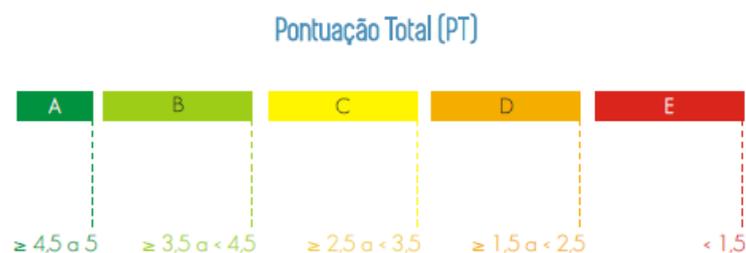
Para análise de EE de uma edificação, segundo o RTQ-C, são avaliados três sistemas principais: Iluminação, Condicionamento de ar e Envoltória da edificação. No RTQ-C, há métodos de avaliação e pré-requisitos específicos para cada um desses sistemas. Após a avaliação, cada sistema recebe uma classificação que varia de “A” (mais eficiente) até “E” (menos eficiente). Há também pré-requisitos gerais que o edifício deve cumprir: separação de circuitos por uso final, eficiência do sistema de Aquecimento de Água e isolamento de tubulações (INMETRO, 2014).

Para classificação energética geral do edifício, os três sistemas citados devem ser avaliados e, por meio de uma equação expressa no regulamento, há uma ponderação das pontuações individuais, para que seja obtida uma pontuação total.

Nessa equação, a Envoltória e o sistema de Iluminação têm peso de 30% cada e o sistema de Condicionamento de Ar tem peso de 40% da pontuação total. Há também a possibilidade de somar à pontuação total, um valor entre 0 e 1, referente às bonificações, como: uso de sistemas e de equipamentos que racionalizem o uso de água, gerando economia mínima de 40%; uso de sistemas ou de fontes de energia renováveis (aquecimento solar de água, energia eólica ou fotovoltaica); uso de sistemas de cogeração ou de outras inovações, que permitam economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica; uso de sistemas de elevadores, com ENCE nível A.

A classificação geral do edifício também varia de “A” (mais eficiente) até “E” (menos eficiente) (FOSSATI *et al.*, 2011). A Figura 1 mostra a classificação obtida para os valores de Pontuação Total e a Figura 2 expressa a fórmula de cálculo da Pontuação Total.

Figura 1 - Cálculo da pontuação total.



Fonte: CINTRA, 2016.

Figura 2 - Fórmula para cálculo do nível de eficiência energética da edificação.

$$PT = 0,30 \left\{ \left[ \left( \frac{EqNumEnv}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] \right\} + 0,30 (EqNumDPI) + 0,40 \left\{ \left[ \left( \frac{EqNumCA}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] \right\} + b^1$$

Peso      Equivalente numérico para nível A      Fração não condicionada - longa permanência      Peso      Peso      Fração condicionada do edifício      Fração não condicionada - curta permanência      Bonificações

**Legenda**  
 EqNumEnv ▶ Equivalente numérico da envoltória  
 EqNumDPI ▶ Equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação  
 EqNumCA ▶ Equivalente numérico de ambientes condicionados artificialmente  
 EqNumV ▶ Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente  
 APT ▶ Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados  
 ANC ▶ Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC)  
 AC ▶ Área útil dos ambientes condicionados  
 AU ▶ Área útil  
 b ▶ Pontuação obtida pelas bonificações

10

Fonte: CINTRA, 2016.

Quanto aos métodos de avaliação de EE, expressas no RTQ-C, há duas possibilidades: método Prescritivo e método de Simulação. O método Prescritivo prevê várias equações e tabelas para avaliação de eficiência energética (FOSSATI *et al.*, 2011). Na Tabela 11 são apresentadas as combinações possíveis, entre os dois métodos, para obtenção de ENCE e a Figura 3 demonstra um esquema para o método Prescritivo e para o método de Simulação.

Tabela 11 - Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação geral.

| COMBINAÇÕES  | ENVOLTÓRIA         | SISTEMA DE ILUMINAÇÃO | SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR | VENTILAÇÃO NATURAL |
|--------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------|
| Combinação 1 | método Prescritivo | método Prescritivo    | método Prescritivo               | método Simulação   |
| Combinação 2 | método Simulação   | método Simulação      | método Simulação                 | método Simulação   |
| Combinação 3 | método Simulação   | método Prescritivo    | método Prescritivo               | método Simulação   |

Fonte: INMETRO, 2010.

Figura 3 - Comparação esquemática entre os métodos Prescritivo e de Simulação.

Gráfico 1 | Método prescritivo

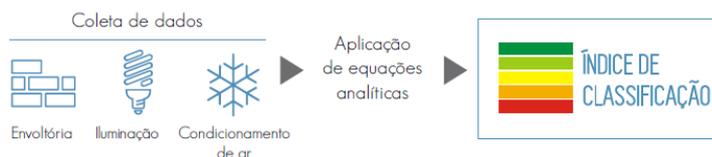
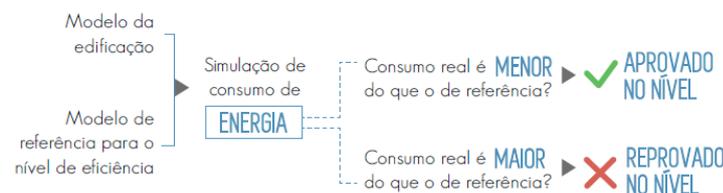


Gráfico 2 | Método de simulação



Fonte: RACHID, 2018.

Para classificação energética da Envoltória, há equações previstas para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas, nas quais o Brasil é dividido (ABNT, 2005a) e para grupos de edifícios, menores ou maiores que 500 m<sup>2</sup>.

Segundo Fossati *et al.* (2011), foram definidos cinco protótipos para elaborar essas equações, que procuram representar edifícios construídos no Brasil para as tipologias de hotel, grande escritório, pequeno escritório, grande loja e pequena loja. Foram fotografadas 1.103 edificações comerciais e institucionais em cinco capitais do país e foram levantados para essas: forma e dimensões; percentual de abertura de fachada; existência e dimensões de proteções solares e cores dos vidros. Com esses dados, os protótipos foram modelados e simulados termoenergicamente para o pior caso em diversas situações. Em seguida, foram implementadas em cada protótipo, medidas de conservação energética a fim de verificar sua relevância na EE. Com isso, foram definidas (por regressão multilinear) equações para determinar um Indicador de Consumo da Envoltória (FOSSATI *et al.*, 2011).

Na Figura 4 é mostrado um exemplo de equação para cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória, com cada termo sendo destacado, para a Zona Bioclimática 3 e edificações com área de projeção menores que 500 m<sup>2</sup>.

Figura 4 – Exemplo de Equação para cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória de uma edificação com área de projeção menor que 500 m<sup>2</sup> localizada na Zona Bioclimática de número 3.

$$IC_{env} = -175,30 \cdot FA - 212,79 \cdot FF + 21,86 \cdot PAF_T + 5,59 \cdot FS - 0,19 \cdot AVS + 0,15 \cdot AHS + 275,19 \cdot \frac{FA}{FF} + 213,35 \cdot FA \cdot FF - 0,04 \cdot PAF_T \cdot FS \cdot AVS - 0,45 \cdot PAF_T \cdot AHS + 190,42$$

Diagram illustrating the variables in the equation and their definitions:

- FATOR ALTURA (FA)**: Factor related to building height.
- FATOR DE FORMA (FF)**: Factor related to building form.
- PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA (TOTAL) (PAF<sub>T</sub>)**: Total facade opening percentage.
- FATOR SOLAR DO VIDRO (FS)**: Solar factor of the glass.
- ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO (AVS)**: Vertical shading angle, shown as AVS = 3°.
- ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO (AHS)**: Horizontal shading angle, shown as AHS = (20°+20°)/2 = 20°.

Fonte: LAMBERTS, 2019.

O método de Simulação, por sua vez, consiste na simulação termoenergética do edifício Real (que está sendo avaliado) e dos edifícios de Referência, para os níveis de eficiência “A”, “B”, “C” e “D”, com características baseadas no método Prescritivo. Compara-se o consumo anual de energia elétrica, simulado para cada condição, Real e de Referência (de níveis “A” até “D”). Se o consumo anual, simulado do edifício Real, for menor que o consumo de uma determinada Referência com nível pretendido, tem-se a classe energética da edificação (FOSSATI *et al.*, 2011).

Uma vez aplicado o RTQ-C para avaliação de EE de um edifício, há um processo expresso no RAC (INMETRO, 2013b) para obtenção de ENCE, em duas etapas. A primeira

etapa é a avaliação de projeto, para emissão de ENCE de Projeto, e a segunda etapa é a inspeção do edifício construído, para emissão de ENCE de Edifício Construído (FOSSATI *et al.*, 2011).

Todo projeto encaminhado para avaliação deve ser submetido posteriormente à inspeção após construído. Em ambas as etapas, há uma verificação de conformidade quanto ao RTQ-C, por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo INMETRO. Mesmo que a edificação esteja construída, deve ser emitida uma ENCE de Projeto, antes da obtenção da ENCE de Edifício Construído (FOSSATI *et al.*, 2011).

A ENCE de Projeto tem validade até a edificação receber o Alvará de Conclusão da Obra, em no máximo cinco anos. Uma vez concluída à obra (com Alvará de Conclusão e ligação definitiva à rede de energia) e com ENCE de Projeto já emitida, a segunda etapa deve ser solicitada ao OIA, que verificará se o edifício está de acordo com o projeto, e emitirá a ENCE de Edifício Construído (FOSSATI *et al.*, 2011). Atualmente, já foram emitidas 250 ENCE de edifícios comerciais, de serviços e públicos, sendo 146 ENCE de Projeto e 104 ENCE de Edifício Construído (INMETRO, 2020a).

A ENCE pode então ser obtida para o edifício como um todo (ENCE Geral), com avaliação individual da Envoltória, do sistema de Condicionamento de Ar e do sistema de Iluminação, ou também pode ser obtida uma ENCE Parcial, referente apenas à Envoltória ou combinando a Envoltória com um dos outros dois sistemas.

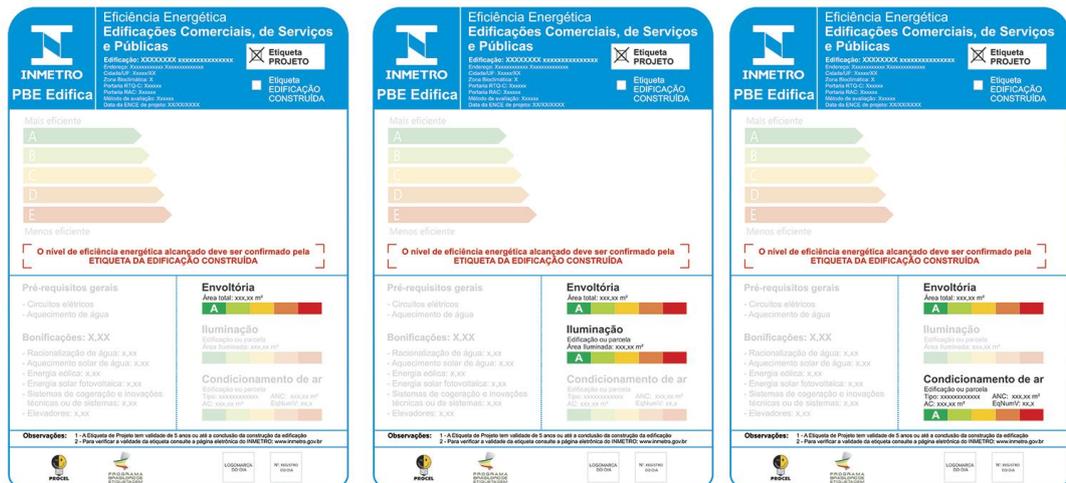
É possível que a ENCE Geral seja atribuída apenas a uma determinada parte de um edifício (por exemplo, um conjunto de salas ou apenas um determinado pavimento). Também é possível que as ENCE Parciais sejam obtidas para o edifício como um todo ou parte (mas para avaliação apenas da Envoltória, deve obrigatoriamente ser avaliado o edifício como um todo). Ressalta-se que não é possível obter ENCE Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar ou do Sistema de Iluminação, sem avaliar a Envoltória preliminarmente (FOSSATI *et al.*, 2011). A Figura 5 e a Figura 6, mostram as ENCE Geral e as ENCE Parciais para as combinações possíveis em edifícios comerciais, públicos ou de serviços.

Figura 5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) Geral, incluindo todos os sistemas possíveis de avaliação (Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar). Pode ser fornecida para o edifício completo, para blocos de edifícios, para pavimentos ou conjuntos de salas.



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2019b.

Figura 6 – À esquerda, ENCE parcial da Envoltória. Deve ser obtida para o edifício completo, obrigatoriamente. No centro, ENCE Parcial da Envoltória e do sistema de Iluminação. À direita, ENCE Parcial da Envoltória e do sistema de Condicionamento de Ar. As duas últimas podem ser obtidas para o edifício completo, para blocos de edifícios, para pavimentos ou conjuntos de salas, sendo a Envoltória avaliada para o edifício completo.



Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2019b.

### 2.2.2 INI-C

Desde 2014, no âmbito do Convênio ECV DTP 001-2012 entre a Eletrobrás e a UFSC, o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) e o PROCEL Edifica têm atuado na melhoria do método de avaliação do nível de EE de edificações comerciais, de serviços e públicas, e de edificações residenciais (CB3E, 2019c).

No método Prescritivo do RTQ-C, para classificação energética de edificações, utiliza-se um Indicador de Consumo que permite a classificação de níveis de “A” até “E”, mas não permite que haja uma estimativa do consumo energético real da edificação analisada. Esse fato,

que impede a quantificação da economia gerada pela implementação de medidas de EE, foi o principal motivador para atualização do RTQ-C, que passará a ser denominado Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, INI-C (CB3E, 2019c).

Outros fatores motivadores para elaboração de um novo método são as limitações do RTQ-C, principalmente do seu método Prescritivo, dentre as quais (CB3E, 2017):

- a) aberturas e proteções solares não eram diferenciáveis por orientação solar. Deveria ser obtido um valor único de Percentual de Abertura de Fachada (PAF), de Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e de Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) que representasse a edificação;
- b) vidros com controle solar não apresentavam boa resposta;
- c) muitos dados eram levantados, mesmo que alguns exercessem pouca influência no desempenho energético da edificação;
- d) apenas um tipo de ar condicionado (*split*) era considerado;
- e) influência do Entorno Edificado era desconsiderada;
- f) pré-requisitos penalizavam a edificação (limites de transmitância térmica e absortância para paredes e coberturas), mesmo em alguns casos que não influenciavam significativamente no desempenho térmico;
- g) apenas um padrão de carga térmica interna e um padrão de uso e ocupação eram considerados para todas as atividades, sem diferenciar, por exemplo, escritórios, hotéis, salas comerciais, entre outros;
- h) ventilação natural era desconsiderada.

Além dessas limitações, Yamakawa e Westphal (2011) variaram parâmetros de fator solar dos vidros e percentual de abertura de fachada com aplicação do método Prescritivo e de Simulação do RTQ-C, obtendo diferentes níveis de eficiência entre os métodos.

Melo *et al.* (2012) analisaram a precisão do método Prescritivo do RTQ-C, encontrando resultados fora do limite, quando comparados com casos do BESTEST (*Building Energy Simulation Test*) da ASHRAE, que é um teste de validação internacionalmente conhecido. Além disso, observaram que o método Prescritivo do RTQ-C resulta em ENCE de Envoltória de nível inferior à obtida por simulação para uma mesma edificação, e imprecisões nas quais edificações com grandes diferenças de desempenho energético obtêm o mesmo nível de eficiência.

Com a finalidade de mitigar os problemas citados, Melo *et al.* (2013) buscaram utilizar Redes Neurais Artificiais<sup>2</sup> (RNA) e método Hipercubo Latino para propor um novo método Simplificado para avaliação de edifícios comerciais. Nesse sentido, Versage (2015) desenvolveu um metamodelo<sup>3</sup> baseado em RNA para estimar a carga térmica anual de refrigeração e para avaliar o desempenho energético de edificações condicionadas artificialmente.

Bavaresco *et al.* (2017) verificaram a precisão desse metamodelo por meio de uma análise de sensibilidade, concluindo que esse apresenta boa predição na determinação de carga térmica das edificações, podendo ser aplicado em regulamentos brasileiros.

Devido a diversas limitações e críticas ao RTQ-C, principalmente ao seu método Prescritivo, foi publicada a Portaria INMETRO n° 248, de 10 de julho de 2018 (INMETRO, 2018), que divulga o texto da INI-C que passou por processo de Consulta Pública em 2018.

Na INI-C, a classificação energética de uma edificação baseia-se no cálculo do consumo anual de Energia Primária<sup>4</sup> para a edificação Real e para uma condição de Referência, com características estabelecidas na Instrução. Tal conceito foi introduzido pois, quando há diferentes fontes de energia (elétrica, térmica, entre outras) sendo utilizadas para um uso final, é recomendável que a classificação de EE de um sistema leve em consideração a fonte de energia utilizada, o que pode ser feito por fatores de conversão de energia (CB3E, 2017).

Para obtenção de ENCE, cada sistema ou mesmo o projeto no geral é classificado com base no percentual de economia da edificação Real em relação à edificação de Referência, a qual representa classe “D” de eficiência energética. O fundamento dos métodos de avaliação da INI-C, portanto, é derivado do método de Simulação do RTQ-C, no qual eram comparados por simulação o desempenho energético de uma edificação Real com edificações de Referência para determinação da ENCE (INMETRO, 2018).

Na INI-C são analisados os seguintes sistemas da edificação para fins de obtenção de ENCE: Envoltória, Condicionamento de Ar, Iluminação, Equipamentos Instalados, Aquecimento de Água e, apenas para fins informativos, percentual de economia devido uso racional de água (INMETRO, 2018).

---

<sup>2</sup> Redes Neurais Artificiais (RNA) são modelos matemáticos que podem ser modelados computacionalmente inspirados na estrutura neural de seres inteligentes que adquirem conhecimento por experiências. São estruturas integradas compostas por diversas unidades de processamento conectadas por canais de comunicação, cada um associado a determinado peso que indica sua influência na saída de dados. As redes são treinadas com amostras e os pesos de suas conexões podem ser ajustados para que sejam fornecidos resultados esperados (CARVALHO, 2020).

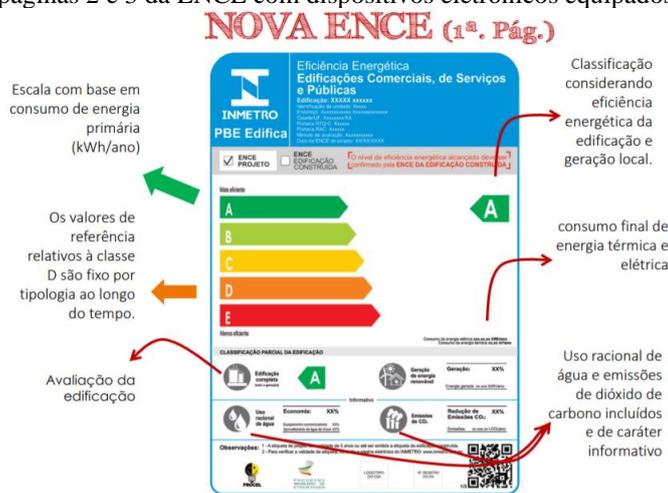
<sup>3</sup> Metamodelos são modelos computacionais híbridos que, no caso da avaliação do desempenho energético de edificações, permitem combinar resultados de milhares de simulações termoenergéticas para previsões estatísticas de consumo. A vantagem do metamodelo é obter previsão de consumo com mais rapidez e simplicidade que quando é utilizada a simulação computacional (VERSAGE, 2015).

<sup>4</sup> Energia Primária é aquela disponível na natureza antes de sofrer qualquer transformação, contida nos combustíveis ainda brutos (CB3E, 2017).

O modelo das ENCE também foi totalmente reformulado, fornecendo agora informações de consumo de Energia Primária, anual e mensal, em cada sistema avaliado, informações complementares de emissões de CO<sub>2</sub>, e potencial de economia de água devido aos sistemas que promovem o uso racional desse recurso (CB3E, 2019c).

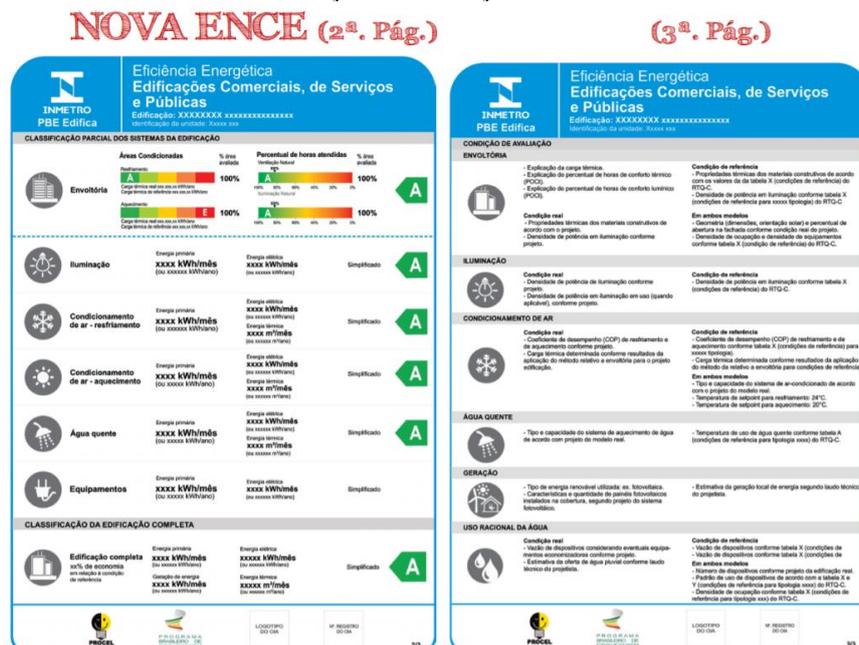
As novas ENCE também apresentam um *QR Code*, por meio do qual se acessam informações adicionais de cada sistema avaliado (CB3E, 2017). A Figura 7 e a Figura 8 apresentam a nova ENCE.

Figura 7 – Nova ENCE – 1ª Página, onde são expressos dados de classificação de EE obtida, consumo final de energia elétrica e térmica, informações complementares (uso racional de água e emissões de CO<sub>2</sub>) e um QR Code para acessar páginas 2 e 3 da ENCE com dispositivos eletrônicos equipados com câmeras.



Fonte: CB3E, 2017.

Figura 8 – Nova ENCE – 2ª e 3ª Páginas, onde são expressos dados de classificação parcial, consumos por uso final (sistemas de Iluminação, Condicionamento de Ar, água quente e Equipamentos Instalados) e condições de avaliação.



Fonte CB3E, 2017.

Segundo a INI-C, a ENCE pode ser obtida para a edificação como um todo, quando todos os sistemas parciais são avaliados (ENCE Geral) ou para diferentes combinações entre os sistemas (ENCE Parcial). A obtenção de ENCE Parcial é possível para: Envoltória; Envoltória e Sistema de Condicionamento de Ar; Envoltória e Sistema de Iluminação; Envoltória e Sistema de Aquecimento de Água (INMETRO, 2018).

Uma vez que a classificação energética de uma edificação pela INI-C é realizada por meio do consumo energético, há dois métodos para avaliação dos consumos: método Simplificado (Anexo B da INI-C) e método de Simulação (Anexo C da INI-C). Um método Prescritivo (com base em um *checklist*) ainda está sendo desenvolvido (CB3E, 2017). Na Tabela 12 são expressas as combinações possíveis entre os métodos Simplificado e de Simulação para obtenção de ENCE.

Tabela 12 - Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação geral INI-C.

| ENVOLTÓRIA                |                                     |                                     | SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL | SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR | SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Edificações condicionadas | Edificações naturalmente ventiladas | Edificações naturalmente iluminadas |                                  |                                  |                                |
| método Simplificado       | método Simplificado                 | -                                   | método Simplificado              | método Simplificado              | método Simplificado            |
| método Simulação          | método Simulação                    | método Simulação                    | método Simulação                 | método Simulação                 | -                              |

Fonte: INMETRO, 2018.

Para o cálculo do consumo energético anual da edificação pelo método Simplificado da INI-C desenvolveram-se procedimentos, que serão expressos no método deste trabalho. Destaca-se o uso de um metamodelo (CB3E, 2019d; VERSAGE, 2015) para cálculo da carga térmica anual de refrigeração, para as condições Real e de Referência, da edificação em análise. Comparando-se a Carga Térmica Anual de Resfriamento da Envoltória, na condição Real com a de Referência, classifica-se energeticamente a Envoltória.

Com a carga térmica, pode-se calcular o consumo do sistema de Condicionamento de Ar, conforme equações expressas na INI-C. Também há outras equações para cálculo do consumo energético dos sistemas de Iluminação, de Aquecimento de Água e dos Equipamentos Instalados.

Uma vantagem da INI-C em relação ao RTQ-C foi a exclusão das bonificações, que para fins de etiquetagem, poderiam beneficiar uma edificação, energeticamente menos eficiente que o necessário, para obter até ENCE nível “A” por meio da pontuação de bonificação. A INI-

C, entretanto, permite que seja feito o cálculo da economia no consumo energético gerada para posterior classificação, o que é mais apropriado.

No método de Simulação da INI-C, há necessidade de modelagem apenas do edifício Real e de um edifício de Referência (Classe “D” de EE). O Anexo A da INI-C traz tabelas com diversos parâmetros construtivos a serem adotados nesses dois modelos, que no RTQ-C não eram expressos diretamente (deveriam ser calculados indiretamente por equações, tornando o processo mais demorado).

Na INI-C, no Anexo A são expressas tabelas com características dos edifícios Real e de Referência, no Anexo B é expresso o método Simplificado, no Anexo C trata-se do método de Simulação, no Anexo D há método de geração local de energia renovável, no Anexo E há informações relativas à uso racional de água nas edificações, no Anexo F há informações relativas à emissão de dióxido de carbono. O Anexo G informa o Grupo Climático (GCL) de 154 municípios brasileiros (INMETRO, 2018).

Cabe destacar que, em relação ao RTQ-C, houve adoção de um Zoneamento Bioclimático diferente da NBR 15.220- Parte 3 (ABNT, 2005a). Foi utilizada a classificação de climas de Roriz (2014), que divide o Brasil em 24 Grupos Climáticos (GCL).

Mesmo atualmente em Consulta Pública, há algumas publicações que utilizaram a INI-C: Vieira *et al.* (2019) avaliaram uma edificação educacional localizada em Belo Horizonte, MG, pelo método Prescritivo do RTQ-C e pelo Simplificado da INI-C, obtendo ENCE Parcial de Envoltória Nível “C” (devido não atendimento de pré-requisitos, reduzindo do nível “A” para o “C”) pelo RTQ-C e “A” pela INI-C; Fontana *et al.* (2019) avaliaram o impacto do entorno edificado na disponibilidade de luz natural e no consumo energético do sistema de Iluminação de uma edificação comercial localizada em São Paulo, SP. A classificação energética dessa edificação nos diferentes cenários avaliados foi realizada pela INI-C, uma vez que essa dispõe de um método para contabilização de economia de energia devido aproveitamento de luz natural.

### **2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO EXÉRCITO BRASILEIRO**

Antes mesmo do país buscar aplicação obrigatória de EE nas obras públicas, com obtenção de ENCE nível “A” desde 2014 (SLTI-MPOG, 2014), o Exército já atuava numa campanha interna para promoção de Eficiência Energética e de Sustentabilidade em seus projetos e edificações.

Neste sentido, a Diretoria de Obras Militares (DOM) fixou, por meio da Instrução Geral nº 50, para o Planejamento e Execução de Obras Militares no Exército (BRASIL, 2003), que os projetos devem privilegiar técnicas para racionalização dos recursos naturais. Além disso, o Exército tem se esforçado para capacitar seus engenheiros nessa área, com palestras, cursos de extensão e pós-graduação.

Em meados de 2016, foi contratada uma empresa para a realização de treinamento de parte do efetivo técnico do EB, no intuito de implementar a eficiência energética em edificações (EEE), com prazo final para treinamento até meados de 2017, conforme citou Rachid (2018).

Dentre as pesquisas realizadas, cita-se Rodrigues (2015), que avaliou eficiência energética de edificações residenciais do Exército Brasileiro, Rachid (2018), que implementou técnicas de eficiência energética no projeto de um Pavilhão Companhia de Comando e Apoio do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9º B Com GE), localizado no município de Campo Grande, MS e Teixeira (2018), que criou uma ferramenta *web* para extrair dados automaticamente, de um modelo BIM, necessários à aplicação do método Prescritivo do RTQ-C, para obtenção de ENCE Geral de projeto. Tais estudos demonstraram a viabilidade técnica e financeira da aplicação de técnicas de EE em edificações militares.

Também em 2016, segundo Rachid (2018), foi lançado o Programa de Sustentabilidade no Sistema de Obras Militares, o qual apresenta diversos subprogramas (“projetos”), que visam:

- a) Projeto 1: atendimento às exigências da ENCE nível “A” pelas edificações militares;
- b) Projeto 2: elaboração de cadernos com orientações arquitetônicas e construtivas para cada Zona Bioclimática do Brasil;
- c) Projeto 3: estabelecimento de diretrizes de EEE no Exército;
- d) Projeto 4: busca de soluções de projeto de melhor custo-benefício para as edificações militares;
- e) Projeto 5: capacitação da equipe técnica e dos gestores do Exército;
- f) Projeto 6: melhor definição dos documentos licitatórios para permitir aquisição de produtos sustentáveis;
- g) Projeto 7: realização de trâmites necessários para tornar o Exército um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) junto ao INMETRO;
- h) Projeto 8: elaboração de projetos-tipo e famílias *Revit* que garantam EEE e sustentabilidade;
- i) Projeto 9: elaboração e difusão no Sistema de Obras Militares de Diretrizes de EEE.

Fruto de todos esses esforços, o Exército já possui três edificações etiquetadas com nível “A” no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica), todas pelo método Prescritivo do RTQ-C, conforme Figura 9, Figura 10 e Figura 11.

Figura 9 – ENCE de projeto obtida para o 11º Centro de Telemática e Centro de Operações da 5ªDE – Curitiba, PR.



Fonte: BRASIL, 2019d.

Figura 10 - ENCE de projeto obtida para o Centro de Comando e Controle Fixo do 34º BIMEC – Foz do Iguaçu, PR.



Fonte: BRASIL, 2019d.

Figura 11 - ENCE de projeto e de edificação construída obtida para o Pavilhão Comando do 5º RCC – Rio Negro, PR.



Fonte: BRASIL, 2019d.

Em abril de 2019, foi publicado em Boletim do Exército a Portaria N° 097 - EME, a qual ordenou a criação de um Grupo de Trabalho (GT) para “propor soluções de racionalização de custos no âmbito do EB, baseadas em eficiência energética, geração de energia renovável e utilização do Mercado Livre de Energia” (BRASIL, 2019e).

Em maio de 2019, foi inaugurado o Programa EB Sustentável, que direcionará as ações do Departamento de Engenharia e Construção do Exército (DEC) voltadas a sustentabilidade das construções, não só no quesito energético, mas também quanto a água, aos resíduos, aos materiais e aos sistemas construtivos e poluição (BRASIL, 2019f).

Ao final de maio de 2019, foram publicadas as Instruções Reguladoras para a Elaboração, a Apresentação e a Aprovação de Projetos de Obras Militares no Comando do Exército por meio da Portaria N° 065 - DEC (BRASIL, 2019g). Dessa forma, passou a ser exigido no desenvolvimento de projetos ou mesmo na fase de anteprojeto uma série de aspectos de eficiência energética, tais como:

- a) obrigação do uso de lâmpadas de baixo consumo no projeto de instalações elétricas;
- b) definição de soluções de EE, que porventura tenham sido adotadas no projeto;
- c) criação de documentações obrigatórias sobre EE, a ser anexadas em todos os projetos (Anexo D – Orientações Gerais sobre EE, Anexo E – Pré-Análise de EE, Anexo F- Análise de EE);
- d) obrigação de que todos projetos de Arquitetura e Urbanismo tenham como premissa o aspecto relacionado à Eficiência Energética e Sustentabilidade, avaliando variáveis da Envoltória da edificação, com aproveitamento de ventilação e iluminação natural, levando em conta posicionado solar, tamanho e orientação de janelas, proteções solares, refletividade dos vidros utilizados, isolamento térmico, propriedades térmicas dos materiais utilizados (como transmitância térmica e absorvância à radiação solar das paredes externas e coberturas), entre outros aspectos, que venham a ser favoráveis;
- e) obrigação de na realização de estudos da região de construção da edificação, para identificação das melhores estratégias bioclimáticas a serem utilizadas;
- f) elaboração de manuais de orientação de projetos por Zonas Bioclimáticas pela Seção de Estudos e Projetos da DOM.

A continuidade dessas medidas certamente transformará a maneira de projetar obras do Exército. Os benefícios surgirão em médio e longo prazo, com economia de recursos tão escassos na operação dos quartéis e no melhoramento do conforto dos usuários das edificações. Além disso, o Exército continuará sendo exemplo para outros órgãos públicos, assim como para

o setor privado, uma vez que há diversos contratos de obras em andamento e futuras, que serão influenciados por essas novas diretrizes.

Os investimentos em EE por parte do Exército têm imenso potencial político-estratégico, indo além dos benefícios citados acima. No campo de batalha, onde os recursos são escassos e dispendiosos devido às dificuldades logísticas, técnicas que visem a economia de energia e seu uso de maneira eficiente podem ser decisivas no desenrolar de um combate.

Exércitos dos principais países do mundo, membros da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN ou, no inglês, NATO), já perceberam esse potencial, criando um grande grupo de pesquisa em Energia Inteligente (*Smart Energy*, como a OTAN denomina as medidas na área de EE e sustentabilidade), que de 2013 a 2015 buscou identificar soluções de EE, fornecendo informações para definição de padronizações e para difusão de boas práticas nessa área, entre os Exércitos.

Salienta-se que os esforços começaram antes disso, desde a cúpula de Chicago, em 2012, quando os líderes de estado concordaram que a OTAN deveria trabalhar no sentido de promover Eficiência Energética nos seus exércitos, estabelecendo parâmetros e normas comuns, reduzindo dependência de combustíveis fósseis, e demonstrando novas soluções na área.

Segundo os especialistas do *Smart Energy Team* (grupo de pesquisa criado em 2013), reduzir consumo energético nas bases militares é imperativo e medidas eficientes não apenas economizam recursos financeiros, mas ajudam a salvar vidas de soldados, contribuindo na mobilidade, na resiliência e na resistência das forças militares (OTAN, 2019).

A OTAN é formada por 29 estados membros, nenhum deles na América Latina. Desde 2018, porém, a Colômbia é o único “parceiro global” da OTAN na América Latina, podendo contribuir em missões e operações da Organização. Há interesse recente em também tornar o Brasil um “parceiro global”, segundo sugeriu o secretário-geral da OTAN, Jens Stoltenberg (WELLE, 2019). Assim, para tornar mais atrativas essas negociações, é importante que o Brasil, por meio de seu Exército, demonstre os seus avanços em diversas áreas, incluindo EE.

#### **2.4 BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) INTEGRADO A SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES MILITARES**

O conceito de *Building Information Modelling* (BIM), que pode ser definido de diversas formas, dependendo do conteúdo do modelo digital utilizado, pode incluir informações sobre: a geometria de um edifício, componentes da envoltória, materiais, custos, sistemas AVAC,

sistemas elétricos, propriedades térmicas dos materiais, entre outras (KAMEL; MEMARI, 2019).

A Norma Nacional de BIM dos EUA (NBIMS-US) define BIM como “o ato de criar um modelo digital para facilitar a visualização, a análise de engenharia, a análise de conflitos, a verificação de critérios de normas, a orçamentação, a produção de projetos *as-built* (como construído), além de outros propósitos” (NBIMS-US, 2013).

Krygiel e Nies (2008) definem BIM como uma base de dados integrada que armazena uma ampla série de documentos de projeto e informações sobre um edifício em sua totalidade. Já Smith e Tardif (2009) definem BIM como um mecanismo de transferência de dados e informações para que se adquira conhecimento que permita ao usuário agir com sabedoria.

#### **2.4.1 Uso conjunto da Ferramenta BIM e simulação termoenergética de edificações**

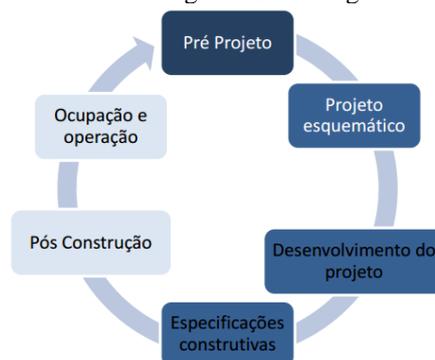
Conforme Eastman *et al.* (2008), algumas vantagens da ferramenta BIM são a possibilidade de caracterizar, em uma construção, os materiais utilizados e de avaliar uma edificação ao longo de todo o seu ciclo de vida, incluindo sua fase de uso e operação. Assim, muitos autores observaram uma excelente oportunidade para integração do BIM com a simulação termoenergética de edificações.

Kamel e Memari (2019), por exemplo, citam que um quarto do uso do BIM no mundo engloba análise energética. Eastman *et al.* (2008) citam o *Green BIM*, que associa o BIM com a análise de projetos do ponto de vista ambiental, contribuindo para o *design* de edificações mais sustentáveis, com redução do consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub> por meio da análise energética, e para o aumento da produtividade a partir de ferramentas de criação e simulação de modelos.

O BIM 6D (para alguns autores BIM 6D refere-se à operação e manutenção) está relacionado com sustentabilidade ambiental, com análise do ciclo de vida e com desempenho energético de edificações, conforme citam Borges *et al.* (2018).

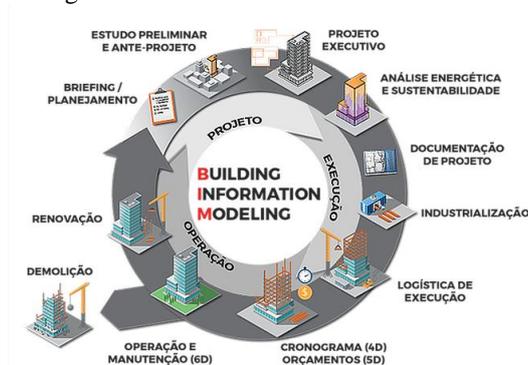
A Figura 12 e a Figura 13 ilustram as fases do ciclo de vida de uma edificação que são contempladas pelo modelo energético e pela ferramenta BIM, respectivamente, demonstrando semelhanças e possibilidades de integração:

Figura 12- Ciclo de Vida de modelagem termoenergética de edificações.



Fonte: LAMBERTS, 2016.

Figura 13- Ciclo de Vida do BIM.



Fonte: MARTINI, 2018.

Segundo afirma Lamberts (2016), a modelagem energética de uma edificação, assim como o BIM, procuram abordar todo o ciclo de vida do edifício. Em casa fase, há potencial de integração entre essas duas ferramentas.

No pré-projeto, a equipe de projeto já define as metas de economia de energia nos primeiros conceitos da estrutura do edifício, com adequação do seu posicionamento em relação ao sol e aos ventos, e *layout*. Nessa fase, o uso da Ferramenta BIM permite uma melhor colaboração entre os membros dessa equipe multidisciplinar, além de uma melhor geração de modelos tridimensionais da edificação em análise, com maximização da capacidade de visualização de soluções.

Alguns *softwares* BIM, como o *Autodesk Revit*, permitem também uma análise da trajetória solar do local onde a edificação será implantada para diferentes horas do dia e diferentes períodos do ano, permitindo mais agilidade na tomada de decisões quanto às aberturas nas fachadas e ao posicionamento da edificação.

Além disso, conforme Borges *et al.* (2018), o uso do BIM na fase preliminar de projeto auxilia na tomada de decisão, principalmente nas escolhas de materiais e tecnologias construtivas. Isso ocorre porque o BIM permite inserção de dados precisos de cada elemento,

legitimando que determinada metodologia promova ou não a redução de esforços, a economia de tempo e de recursos e o aumento do desempenho energético da edificação.

No projeto esquemático, a equipe já pode fazer otimização da área de janelas, para o melhor aproveitamento de luz natural sem, por exemplo, aumentar em demasia a carga térmica devido ao aquecimento solar. Tal fato permite um dimensionamento mais eficiente dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). A equipe também pode avaliar mudanças na forma, na orientação e no posicionamento interno de cada ambiente com simulação das reduções de consumo energético, para cada alternativa.

No desenvolvimento do projeto, os projetistas podem avaliar sistemas alternativos de AVAC (*Splits*, sistemas de volume refrigerante variável- VRF, sigla em inglês- e *chillers*) e utilização de dispositivos de sombreamento, avaliando para cada alternativa o impacto dos custos, verificando viabilidade. Nessa fase, o uso do BIM é vantajoso devido à modelagem BIM ser paramétrica e utilizar objetos “inteligentes”. Assim, quando um elemento paramétrico é modificado, os outros se ajustam automaticamente, aumentando a rapidez e reduzindo a probabilidade de ocorrerem erros no processo de análise de múltiplas alternativas.

Nas especificações de projeto, é importante que a equipe assegure que as estratégias de EE estejam registradas, além das estimativas de desempenho e de economia de energia, que demonstrem a sua real viabilidade. Nessa fase, os materiais a serem utilizados na construção devem ser rigorosamente definidos, para que o edifício construído apresente, de fato, os ganhos energéticos calculados por simulação.

Nesse ponto, uma grande vantagem do uso do BIM, conforme citam Borges *et al.* (2018), é que modelos BIM são representações gráficas 3D de elementos construtivos associados a um banco de dados, com informações referentes a atributos definidos no processo de projeto. Ou seja, os elementos digitais do modelo BIM são constituídos por objetos paramétricos programados para descrever e representar componentes e o seu comportamento real.

Nas fases de pós-construção, de ocupação e de operação, é importante que o uso da edificação esteja de acordo com o projetado para garantir a eficiência. Assim, podem ser utilizados sistemas de monitoramento de iluminação, de temperatura interna e de controle do sistema AVAC, de forma que os equipamentos instalados funcionem de acordo com o previsto em projeto.

A dimensão BIM 6D foi desenvolvida para área de sustentabilidade e eficiência energética e a dimensão BIM 7D, para esse monitoramento pós-uso de edificações, permitindo melhor controle dos sistemas e dos equipamentos instalados (*Facilities Management*).

#### 2.4.2 Simulação termoenergética no *Autodesk Revit*

O *software Autodesk Revit* dispõe de módulos incorporados para simulação termoenergética de projetos em BIM, sem custo adicional para o uso dessas ferramentas para quem já o possui, que é o caso do Exército Brasileiro.

Segundo Araújo (2016), essa ferramenta permite dois modos de simulação termoenergética de edificações: o primeiro modo é análise apenas das cargas internas, para aquecimento e resfriamento dos espaços. O segundo modo, mais adequado à necessidade do EB, é a análise da envoltória dos edifícios, usando em conjunto o *Energy Analysis* e outra ferramenta chamada *Green Building Studio* (GBS), baseada no conceito de computação em nuvem, com simulação realizada em servidor remoto, e que utiliza como algoritmo de simulação o DOE 2.2.

A ferramenta GBS, como dado de entrada, permite a modelagem da edificação no *Revit* com sua representação digital, respeitando rigorosamente a geometria, o posicionamento solar, os materiais de construção utilizados com suas propriedades térmicas, os dados de uso da edificação e os dados climáticos, obtidos automaticamente de estações climáticas, próximas à localização da edificação.

Os dados de saída são apresentados em gráficos e tabelas de fácil visualização, com possibilidade de apresentação dos dados climáticos do local (ventos, temperaturas e umidades), das cargas térmicas anuais de aquecimento e de resfriamento da edificação, especificando por qual componente ocorre o ganho ou perda de calor (paredes, tetos, janelas, iluminação, entre outros) e os dados de consumo energético da edificação.

Entretanto, Queiróz *et al.* (2015) avaliaram essas ferramentas para simulação térmica de uma edificação localizada em Florianópolis, SC, concluindo que devem ser ampliadas algumas possibilidades de saída de dados e potencializados os resultados com o uso de ferramentas complementares, para avaliação completa do desempenho de edificações. Segundo os autores, não é possível analisar os ambientes naturalmente ventilados, o que é obrigatório no Brasil, conforme NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Também, segundo esse artigo, os sistemas de condicionamento de ar não podem ser dimensionados com os dados de saída do programa, gerando dúvidas quanto à confiabilidade dos valores de cargas térmicas fornecidas e contrariando um dos pré-requisitos do RTQ-C para *softwares* de simulação. Outra desvantagem citada é o fato de o programa calcular

automaticamente valores de resistência térmica e transmitância térmica, não havendo indícios que usa o método de cálculo prevista na NBR 15.220- Parte 2 (ABNT, 2005b).

Também não são geradas as temperaturas internas dos ambientes, o que seria necessário para uma avaliação efetiva de desempenho térmico, segundo a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013). Além disso, segundo Borges *et al.* (2018), o *Energy Analysis* e o GBS utilizam durante simulação métodos de cálculo bem distintos do *EnergyPlus*, que é recomendado pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

### **2.4.3 Interoperabilidade do Autodesk Revit com softwares de simulação termoenergética de edificações**

Segundo Kamel e Memari (2019), embora muitos projetistas usem ferramentas de simulação energética e ferramentas BIM, há um vazio de integração entre BIM e BEM (sigla em inglês para *Building Energy Model* - Modelo Energético de Edifício) numa única ferramenta.

A interoperabilidade é o caminho para essa comunicação, eliminando a necessidade de retrabalhos no preenchimento de dados e facilitando, de forma automatizada, o fluxo de trabalho entre diversos aplicativos usados no processo de projeto (ARAÚJO, 2016).

Por definição, interoperabilidade é exatamente essa habilidade de dois sistemas (computadores, meios de comunicação, redes, *softwares*, e outros componentes de tecnologia da informação) interagirem e intercambiarem informações entre si (BRASIL, 2020b).

Assim, devido a limitações do uso do *Revit* e de *plug-ins* (*Energy Analysis* e GBS) para simulação energética, concluiu-se que é melhor modelar apenas digitalmente a edificação nesse *software*, fazendo uma interoperabilidade deste modelo BIM com um BEM, a ser simulado em outro programa apropriado.

#### **2.4.3.1 Formas e formatos para Interoperabilidade**

Basicamente existem duas formas de fazer interoperabilidade, segundo Araújo (2016). A primeira é utilizando os *softwares* chamados de *Application Programming Interface* (API). Os API são *plug-ins* que fazem extração de dados de um programa e incorporação desses em um outro programa. Normalmente, permitem interoperabilidade com menor perda de informações e menor incidência de erros, uma vez que são especificamente desenvolvidas para este fim.

A segunda forma citada são os formatos *Open Source*, desenvolvidos para serem domínio público e universais. Alguns formatos *Open Source* utilizam esquemas de dados e linguagem de programação públicas, como o *Extensible Markup Language* (XML). Outros, utilizam ficheiros de texto, como o *Industry Foundation Classes* (IFC), o *CIMSteel Integration Standards* (CIS/2), e o *Green Building Extensible Markup Language* (gbXML). De acordo com Borges *et al.* (2018), nos projetos voltados para sustentabilidade e EE, os formatos IFC e gbXML são os mais utilizados.

Segundo Kumar (2008), *AutoCad Drawing Exchange Format* (DXF) é uma extensão desenvolvida pela *Autodesk* para interoperabilidade de arquivos entre o *AutoCad* e outros programas. Quando foi introduzida, segundo este autor, havia o objetivo de ser uma representação para o formato nativo do *AutoCad* DWG. Porém, com o tempo, o próprio DWG se tornou comum e amplamente utilizado até mesmo como extensão de interoperabilidade.

Como um dos objetivos deste trabalho é exportar modelos BIM e importá-los em programas de simulação energética, essa extensão não é ideal, uma vez que essa não armazena propriedades térmicas dos materiais, localização da obra e posicionamento em relação ao sol, divisões de zonas térmicas e outras informações necessárias, mas tão somente informações geométricas. Ainda assim, pode-se ser usada, desde que se queira apenas utilizar uma planta (em 2D, salva em DXF) como base de uma modelagem (em 3D) para simulação termoenergética num *software* apropriado.

O formato IFC foi desenvolvido pela Aliança Internacional para Interoperabilidade (AIA, sigla em inglês) sendo um modelo internacional de tradução de dados, que armazena informações de um edifício no seu banco de dados, com capacidade de representação de diversos elementos, permitindo que esses dados sejam lidos e processados por outros programas. O IFC está registrado pela *International Organization for Standardization* (ISO) como ISO16739-1:2018 (ISO, 2018).

Kumar (2008) afirma que o modelo IFC pode armazenar informações sobre componentes construtivos, como paredes, portas, janelas, mobiliários, assim como também sobre conceitos mais abstratos, como informações sobre geometria, volumetria, atividades e padrões de uso de edificação. Porém, apesar de ser um padrão amplamente conhecido internacionalmente, a empresa idealizadora do *software* de simulação termoenergética *DesignBuilder*, por exemplo, indica que seja usado o gbXML e não o IFC para fins de importação de modelos BIM (DESIGNBUILDER, 2014).

Tal fato provavelmente se dá devido a alguns estudos nessa área, como o de Kumar (2008), terem demonstrado que o formato IFC não é eficiente quanto às informações de

localização (dados climáticos), dados térmicos e propriedades dos elementos construtivos, informações sobre cargas de iluminação, de equipamentos e de ocupantes, o que gerou grandes diferenças nos cálculos de carga térmica na simulação.

O gbXML, por sua vez, segundo Kumar (2008), é amplamente utilizado pela *Autodesk*, pela *Graphisoft* e pela *Bentley* para interoperabilidade entre BIM e programas de simulação e análise energética. A sua estrutura de dados consegue armazenar informações de um único ou de um conjunto de edifícios, como localização, geometria, volumetria, divisão em zonas térmicas e espaços, fluxos de calor de cada zona térmica (oriundos das cargas térmicas internas e externas), e informações sobre os elementos de envoltória (propriedades térmicas, espessura, geometria e percentual de abertura, absorvância, entre outros) e sobre os elementos de sombreamento.

Assim, o gbXML se apresenta como a linguagem mais indicada para o objetivo desse trabalho, estando entre as diversas opções disponíveis para exportação de modelos digitais de construção elaborados em *Revit*.

#### **2.4.3.2 Softwares de simulação termoenergética que possibilitam Interoperabilidade com o Revit**

Kamel e Memari (2019) fizeram uma ampla revisão de diversos *softwares* que atuam na conversão de modelos BIM (extensão IFC, gbXML) para BEM (GBS, *DesignBuilder*, IES-VE e *OpenStudio*), afirmando que há dificuldades inerentes ao processo de interoperabilidade.

Che *et al.* (2010) analisaram outras possibilidades de modelagem energética utilizando o *software Integrated Environmental Solutions* (IES) que utiliza arquivo de extensão gbXML para fazer uma simulação termoenergética, em conjunto com o *Revit*. Porém, conforme citam os autores, o uso do programa é complexo e pode ser considerado dispendioso, sendo grandes obstáculos ao uso do IES em projetos do Exército Brasileiro (EB).

Araújo (2016) também analisou o uso de alguns programas de modelagem energética, tais como: GBS, *Energy 10*, HEED, *Energy Analysis*, *Ecotect*, aQuest, IES VE, e *EnergyPlus*. Segundo o autor, apenas o GBS, o *Energy Analysis* e o IES VE apresentam diretamente a interface BIM, permitindo ao mesmo tempo simulação termoenergética. Entretanto, o GBS e o *Energy Analysis* apresentam limitações de aplicações à realidade brasileira, conforme Queiróz *et al.* (2015), e o IES VE é de uso complexo e pode ser considerado de alto custo, segundo Che *et al.* (2010).

Assim, uma vez que o *DesignBuilder* utiliza o *EnergyPlus* como algoritmo de simulação, o qual é amplamente utilizado em diversas pesquisas científicas e atende aos requisitos das normas brasileiras, a interoperabilidade entre *Revit* e *softwares DesignBuilder e/ou EnergyPlus* se apresenta como estratégia viável às necessidades do EB.

#### **2.4.3.3 Interoperabilidade do Autodesk Revit com o EnergyPlus**

O *software EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e é um dos mais utilizados para simulação termoenergética de edificações no mundo, por ser gratuito e já bem difundido no meio acadêmico. Esse *software* atende aos requisitos dos regulamentos brasileiros, sendo inclusive recomendado pelo PROCEL Edifica e pela norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Esse *software*, porém, não possui interface de uso amigável e a inserção de dados da edificação a ser simulada é complexa. No decorrer de trabalhos, como o de Silva (2010), foram observadas dificuldades na interpretação do seu manual e no entendimento dos termos técnicos específicos.

A introdução da geometria do edifício, por exemplo, deve ser feita elemento por elemento, definindo as coordenadas (x,y,z) de cada vértice constituinte. Tal fato, além de ser uma fonte de possíveis erros, dificultaria bastante o uso do *software* para modelagem computacional de diversos projetos desenvolvidos nas Comissões Regionais de Obras (CRO) do EB.

Alguns trabalhos, como o de Gouveia *et al.* (2014), avaliaram a possibilidade de se exportar uma geometria modelada no *Revit* para o *EnergyPlus*. Assim, as coordenadas do modelo poderiam ser obtidas automaticamente, diminuindo o tempo de modelagem para simulação e evitando trabalho desnecessário. Entretanto, conforme citam esses autores e Kamel e Memari (2019), não há possibilidade de exportação direta de arquivos em extensão do *Revit* (RVT e outros, como IFC e gbXML) para a extensão do *EnergyPlus* (IDF).

Assim, outros programas podem ser utilizados para permitir essa interoperabilidade: Bloco de Notas (formato de entrada gbXML e de saída UTF-8), *Autodesk Ecotect Analysis* (formato de entrada UTF-8 e de saída IDF) e a validação do modelo, com algumas correções necessárias, nos *softwares SketchUp e OpenStudio*. A aquisição desses programas (alguns sem licença gratuita), apenas para uso de interoperabilidade, e a contratação de cursos dos *softwares* para treinamento de seus profissionais projetistas são onerosas para o Exército. Assim, devido às restrições orçamentárias, essa estratégia pode se tornar inviável.

#### 2.4.3.4 Interoperabilidade do Autodesk Revit com DesignBuilder

Para facilitar a difusão do uso de simulação pelo corpo técnico do Exército, buscou-se como alternativa o uso do *DesignBuilder*, com todas as possibilidades de entradas e saídas do *EnergyPlus*, mas com interface amigável ao usuário. O programa apresenta opções de simulação energética, de análises de conforto térmico por *Computer Fluid Dynamics* (CFD) e de iluminação natural, pois combina além do *EnergyPlus*, o *Radiance* como algoritmo de simulação (DESIGNBUILDER, 2020).

O programa apresenta também um modelador em 3D de fácil uso, caso o usuário queira modelar a edificação a ser simulada no próprio *software*. Outra vantagem é a opção de importar modelos de edificações elaborados no *Revit*, para simulação no *DesignBuilder*. Assim, conforme lembram Borges *et al.* (2018), pode-se aproveitar o potencial do *Revit* como ferramenta BIM (integração e cooperação entre os diversos atores de projeto, parametrização de projeto, entre outras) e o potencial do *DesignBuilder* para simulação termoenergética ao mesmo tempo.

A inserção de todos os dados no programa é facilitada por fornecimento de tabelas em diversas bibliotecas pré-cadastradas de materiais de construção, de sistemas AVAC e de iluminação, além da possibilidade de importação direta de dados climáticos, da estação mais próxima da edificação avaliada.

Ao contrário do *EnergyPlus*, os dados de saída são apresentados em gráficos e tabelas de fácil visualização, permitindo aos técnicos tomadas de decisão mais rápidas. O programa calcula as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, o consumo energético da edificação, além de fornecer informações sobre conforto térmico dos usuários e o cálculo dos créditos para a obtenção da certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).

Uma desvantagem do uso desse *software* pelo EB é o custo de aquisição, o qual varia com a cotação do dólar, mas, em abril de 2019, custava R\$ 11.196,00 para licença perpétua, conforme orçamento solicitado por esse autor.

Há uma possibilidade de utilização de uma versão de avaliação gratuita por 30 dias e possibilidade de aquisição de uma licença para fins estudantis por um ano, por R\$ 390,00. Para utilização neste estudo, foi utilizada a versão estudantil do *software*.

No quesito de instruções de uso, há um manual interativo do *software* disponibilizado no sítio eletrônico da empresa criadora do programa (DESIGNBUILDER, 2019a) e um manual básico que contém os principais comandos do *software* (DESIGNBUILDER, 2019b). Além

disso, a empresa Quali-A, a qual já foi contratada para ministrar cursos ao corpo técnico do EB na área de EEE, fornece curso básico de simulação do *software DesignBuilder* na modalidade Ensino a Distância. O curso completo custou R\$ 997,00 em 2019, e foi realizado por esse autor.

#### **2.4.4 Uso da Ferramenta BIM no Exército Brasileiro**

Em 2018, foi estipulado que todo o poder público deve passar a utilizar o BIM nas contratações de obras, pelo Decreto n° 9.377 (BRASIL, 2018b). Para o Ministério da Defesa e da Infraestrutura, as condições são ainda mais rigorosas, conforme Decreto n° 10.306 (BRASIL, 2020a). O objetivo dessa diretriz é garantir maior produtividade, transparência e economicidade nas obras públicas, reduzindo desperdícios e retrabalhos. Os prazos para implementação foram divididos em três etapas expressas no Livroto BIM BR- Construção Inteligente (BRASIL, 2018c).

A primeira etapa se iniciará a partir de janeiro de 2021, quando se exigirá BIM na “elaboração de modelos para a arquitetura e engenharia nas disciplinas de estrutura, hidráulica, AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) e elétrica na detecção de interferências, na extração de quantitativos e na geração de documentação gráfica, a partir desses modelos” (BRASIL, 2018c).

A segunda etapa se iniciará a partir de janeiro de 2024, quando “os modelos deverão contemplar algumas etapas que envolvam a obra, como o planejamento da execução da obra, na orçamentação” (BRASIL, 2018c).

A última etapa se iniciará a partir de janeiro de 2028, quando o BIM “passará a abranger todo o ciclo de vida da obra, ao considerar atividades do pós-obra. Será aplicado, no mínimo, nas construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância, nos usos previstos na primeira e na segunda fases e, além disso, nos serviços de gerenciamento e de manutenção do empreendimento, após sua conclusão” (BRASIL, 2018c).

O EB, como órgão público, é referência nacional na adoção da ferramenta BIM nos seus projetos. Em 2018, o Caderno de Especificações Técnicas para contratação de projetos de edificações em BIM do estado do Paraná citou que “na esfera pública brasileira, a adoção do BIM é incipiente, excetuando-se a Engenharia do Exército, que aderiu à metodologia em 2006.” (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA, 2018).

O relatório “*Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia*” do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e do Ministério do

Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) cita como exemplo de instituição pública o EB, fornecendo um estudo de caso de como essa instituição já utiliza a ferramenta BIM extensivamente (KASSEM; AMORIM, 2015).

Em 2007, o Exército iniciou a criação de sua ferramenta BIM própria, chamada Sistema Unificado do Processo de Obras (OPUS), a qual aborda as fases de planejamento, programação, acompanhamento, fiscalização, controle, gerência e execução de obras e serviços de Engenharia de todas as atividades dos macroprocessos analíticos do seu Sistema de Obras Militares (SOM), tanto no nível executivo quanto gerencial e estratégico. Até então, a Diretoria de Obras Militares (DOM) não dispunha de um Sistema Informatizado de Gestão, que permitisse tanto a solicitação de obras, como o acompanhamento da solicitação por diferentes atores do processo, em tempo real (BRASIL, 2019h).

De início, todas as edificações militares foram georreferenciadas alimentando um banco de dados geográfico do Exército. Foi também criada uma Infraestrutura de Dados Espaciais, permitindo que a plataforma OPUS fosse alimentada com dados de edificações, passando por gestão financeira e contratual de obras e projetos de engenharia (BRASIL, 2019h).

Em 2014, foi elaborado um estudo denominado *Experiences Exchange in Building Information Modeling* (BIM), onde se comparou a implementação do BIM no Brasil e em alguns países da União Europeia.

Segundo essa pesquisa, o nível de maturidade da implementação do BIM no Brasil está bem desenvolvido, o que foi possível graças ao Sistema OPUS utilizado pelo EB. Tal resultado é expresso no relatório *Building Information Modeling* no Brasil e na União Europeia, o qual também cita: “Finalmente, a disponibilidade de uma estrutura de TI no Brasil, representada pelo Sistema OPUS, que é usado para aquisição e gerenciamento de projetos BIM para o Exército Brasileiro por todo o país, é considerada um progresso significativo no Brasil se comparado com outros países.” (KASSEM; AMORIM, 2015).

O OPUS está sendo usado extensivamente no Exército. Quando há uma necessidade de obra para reforma ou mesmo construção de uma edificação em quartel, por mais inóspito que seja seu local de instalação, uma equipe faz a solicitação por meio da plataforma descrevendo a necessidade do serviço de engenharia. Por meio do sistema, o corpo técnico de engenheiros, arquitetos e outros profissionais lotados na Comissão Regional de Obras (CRO) mais próxima desse quartel é acionado e faz uma visita técnica, auxiliando na programação da prioridade do projeto (BRASIL, 2019h).

Elaboram-se, então, os projetos e orçamentos utilizando *softwares* como o *Autodesk Revit*. O projeto e orçamento da obra são cadastrados no Sistema OPUS e o Exército estabelece

prioridades de execução conforme seu orçamento disponível. Todos os documentos dessa fase de projeto e licitação, assim como documentos pertinentes da fase de fiscalização da obra são carregados em tempo real, no sistema OPUS (BRASIL, 2019h).

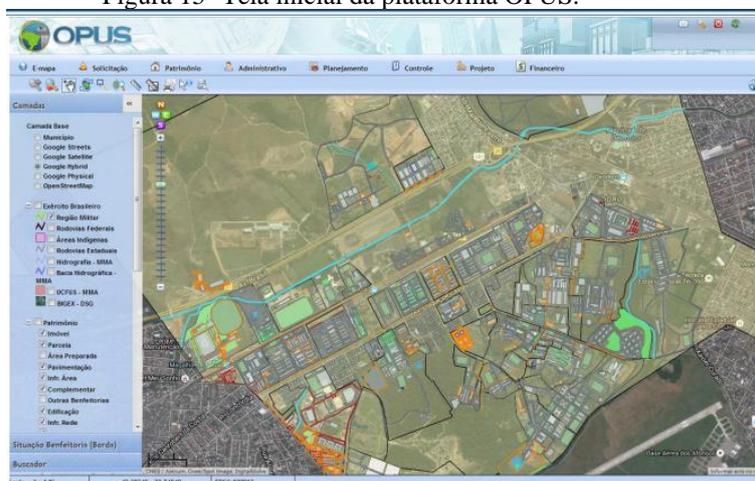
Após a entrega da obra, o sistema engloba também informações sobre a fase de operação da edificação, contendo informações sobre a manutenção da obra ao longo de sua vida útil (BRASIL, 2019h). Assim, todo o ciclo de vida da edificação é analisado no Sistema OPUS, conforme pode ser visto na Figura 14 e na Figura 15:

Figura 14- Ciclo de Vida contemplado na plataforma OPUS.



Fonte: BRASIL, 2019h.

Figura 15- Tela inicial da plataforma OPUS.



Fonte: BRASIL, 2019h.

Dentre diversas ferramentas possíveis, o Exército padronizou o uso de *Autodesk Revit Architecture* (para projetos arquitetônicos) e *Revit MEP* (para projetos de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos) como *softwares* baseados na tecnologia BIM para elaboração de todos os seus projetos, e já houve treinamento de parte do corpo técnico para o uso desses (CASTRO, 2016).

## 2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Silva (2010) avaliou o uso do *EnergyPlus* como ferramenta de análise do comportamento térmico de um edifício residencial de Portugal, concluindo que esse *software* é satisfatório e que os resultados de suas simulações são compatíveis com resultados medidos na edificação construída. Porém, esse estudo não integrou o BIM com a simulação termoenergética, além de ter como estudo de caso uma edificação residencial, com base em regulamentos portugueses.

Araújo (2016) procurou integrar a ferramenta BIM com a simulação termoenergética do Edifício Utopia, um prédio de escritórios, sede de uma empresa de desenvolvimento de *softwares* em Portugal. O autor cita que a quantidade de informação relativa a esse tema ainda não é significativa, faltando inclusive interação entre BIM e simulação termoenergética nos regulamentos e nas normas europeias de certificação energética.

Apesar de Araújo (2016) ter discorrido sobre alguns programas de simulação termoenergética de edificações, tais como *Green Building Studio*, *Energy 10*, *HEED*, *Energy Analysis*, *Ecotect*, *aQuest*, *IES VE*, *Energy Plus*, apenas o *Green Building Studio*, *Energy Analysis* e o *IES VE* apresentam interface BIM diretamente. Como o objetivo principal do trabalho era verificar se a metodologia BIM é indicada para análise termoenergética, o autor optou por utilizar o *Autodesk Revit 2016* e *2017*, como ferramenta BIM, e os *plug-ins* da *Autodesk Energy Analysis* e *Green Building Studio (GBS)*, como ferramentas de simulação termoenergética.

Entretanto, Queiróz *et al.* (2015) avaliaram essas ferramentas para simulação térmica de uma edificação brasileira. Segundo os autores, há diversas limitações que desaconselham o seu uso para avaliação de edificações no Brasil, as quais já foram citadas nesse trabalho.

Gomes (2017) analisou oportunidades e desafios para implementação de EE em edificações do Poder Público Federal, no contexto do Programa Brasileiro de Etiquetagem, de forma quantitativa e qualitativa. Para isso, foi realizada uma pesquisa de Licitações Públicas Sustentáveis e um estudo de caso em edifício da Advocacia Geral da União (AGU), para aprofundar alguns aspectos relativos ao processo de contratação de projetos e obras através de licitações. Porém, não foram aplicados os métodos dos regulamentos brasileiros (RTQ-C ou INI-C) para obtenção de ENCE para alguma edificação pública, restringindo-se à parte administrativa (licitações e contratos) para aquisições de produtos e serviços sustentáveis pela União.

Rodrigues (2015) avaliou EE de projetos-tipo de uma edificação residencial multifamiliar do EB, localizada no Rio de Janeiro, RJ, pelo método Prescritivo e pelo método de Simulação do RTQ-R. A simulação computacional foi realizada com o *software EnergyPlus* para análise do desempenho térmico da edificação. O autor também procurou: avaliar impactos de mudanças climáticas globais na simulação computacional da edificação, utilizando arquivos climáticos modificados para prever clima futuro (estimadas); propor soluções para o aprimoramento do projeto-tipo da edificação residencial multifamiliar do EB; definir estratégias de projeto de arquitetura bioclimática para o aperfeiçoamento da eficiência termoenergética de edificações públicas; elaborar um Guia Técnico de Eficiência Energética em Projetos de Arquitetura para o EB; e estabelecer bases para procedimento de avaliação termoenergética de edificações, integrando-a com a metodologia BIM.

Porém, como Rodrigues (2015) focou na aplicação do RTQ-R (edificações residenciais do EB), há necessidade de um novo estudo, que aborde edificações públicas do EB não residenciais, mais especificamente em quartéis. Ou seja, um estudo que utilize o RTQ-C ou a INI-C aplicado às obras militares, atendendo a exigência da Instrução Normativa N° 02 (SLTI-MPOG, 2014).

Rachid (2018), diante dessa necessidade, aplicou o RTQ-C para avaliação do projeto do Pavilhão Companhia de Comando e Apoio (Pav CCAp) do 9° Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9° B Com GE), localizado no município de Campo Grande, MS. Inicialmente, havia um projeto-tipo para este tipo de edificação que, quando avaliado pelo autor, obteve ENCE Geral de Projeto Nível “D” pelo método Prescritivo do RTQ-C. Uma série de melhorias foram propostas para atender todos os requisitos para obtenção de ENCE Geral de Projeto Nível “A”, pela aplicação do método Prescritivo do RTQ-C.

Há, entretanto, várias limitações e imprecisões encontradas na aplicação do método Prescritivo do RTQ (BAVARESCO *et al.*, 2017; MELO *et al.*, 2012, 2013; YAMAKAWA; WESTPHAL, 2011), as quais já foram citadas nesse trabalho, o que motivou atualização do RTQ-C, dando origem à INI-C. Nenhum trabalho acadêmico, voltado às edificações militares, foi realizado com base no novo regulamento, aumentando a importância desta pesquisa, que utiliza não só o método Simplificado da INI-C, como também o método de Simulação.

Teixeira (2018) estudou um processo de etiquetagem energética de projetos de obras militares utilizando BIM, o que se assemelha a um dos objetivos desse trabalho. Porém, o autor focou no desenvolvimento de uma ferramenta computacional que possibilita extração de dados de um modelo BIM, para utilização do *WebPrescritivo* (calculadora *Web* elaborada pelo

LabEEE/UFSC para obtenção do nível de EE), avaliando a EE de uma edificação pelo método Prescritivo do RTQ-C.

Assim, inicialmente foi criado um modelo BIM no *Autodesk Revit* para o Pavilhão de Comando do 5º Regimento de Carros de Combate, localizado em Rio Negro, no Paraná, que tem ENCE de Projeto Nível “A” pelo método Prescritivo do RTQ-C.

Posteriormente, adaptou-se esse modelo BIM, inserindo todas as informações exigidas para uma análise energética pelo método Prescritivo do RTQ-C. Em seguida, criou-se uma ferramenta (projetada em linguagem PHP) que extrai automaticamente esses dados do modelo BIM e os insere na plataforma *WebPrescritivo* para obtenção de ENCE. Como limitação, Teixeira (2018) cita que o estudo é restrito a obras militares, ou seja, a edificações com concepções arquitetônicas simples e materiais utilizados convencionais. O método utilizado também se restringiu ao Prescritivo, sendo necessário um novo estudo que aplique métodos de Simulação, os quais fornecem consumo energético para classificação energética e obtenção de ENCE, sendo mais completos.

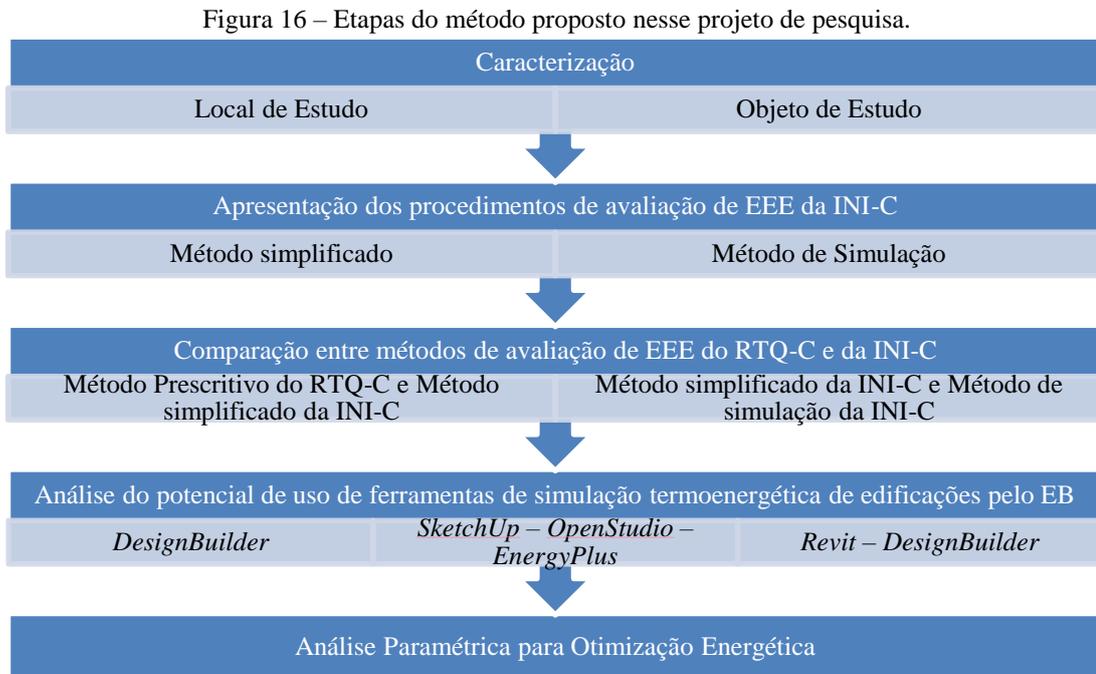
### 3 MÉTODO

Para melhor compreensão, esta seção divide-se em:

- a) caracterização do objeto de pesquisa: foi apresentado o projeto do Pavilhão do EB utilizado como estudo de caso e suas especificações técnicas e características de uso e de ocupação;
- b) caracterização do local de pesquisa: foram apresentadas informações pertinentes sobre o clima da cidade de Campo Grande, MS, onde está sendo construída a edificação avaliada;
- c) apresentação do procedimento de avaliação de EEE da INI-C: primeiramente, foram apresentados os procedimentos que devem ser aplicados independente se utilizar o método Simplificado ou método de Simulação da INI-C (procedimentos comuns aos dois métodos);
- d) apresentação do método Simplificado da INI-C: foram apresentados os procedimentos implementados quando utilizado o método Simplificado da INI-C, após a aplicação dos procedimentos comuns expostos no item c);
- e) apresentação do método de Simulação da INI-C: foram apresentados os procedimentos implementados quando utilizado o método de Simulação da INI-C, após a aplicação dos procedimentos comuns expostos no item c);
- f) comparação do RTQ-C com a INI-C: foi explicado brevemente como foram comparados o método Prescritivo do RTQ-C e o método Simplificado da INI-C, e os respectivos resultados de avaliação;
- g) análise do potencial de uso de ferramentas de simulação termoenergética de edificações pelo EB: foram comparados os resultados obtidos pelos métodos Simplificado e de Simulação da INI-C (ENCE e consumo energético anual). Sendo avaliados dois programas de simulação (*DesignBuilder* e *EnergyPlus*), três tipos de modelagem de cobertura, dois tipos de arquivos climáticos e dois tipos de objetos para modelagem do sistema de condicionamento de ar da edificação, perfazendo 52 cenários;
- h) integração entre BIM e simulação termoenergética de edificações: foi apresentado o processo de interoperabilidade entre o *Revit* e o *DesignBuilder* para simulação termoenergética e obtenção de ENCE;

- i) otimização energética por análise paramétrica: foi apresentado o processo que visa determinar a melhor orientação solar da edificação para redução do consumo energético.

O resumo do método encontra-se delineado na Figura 16.

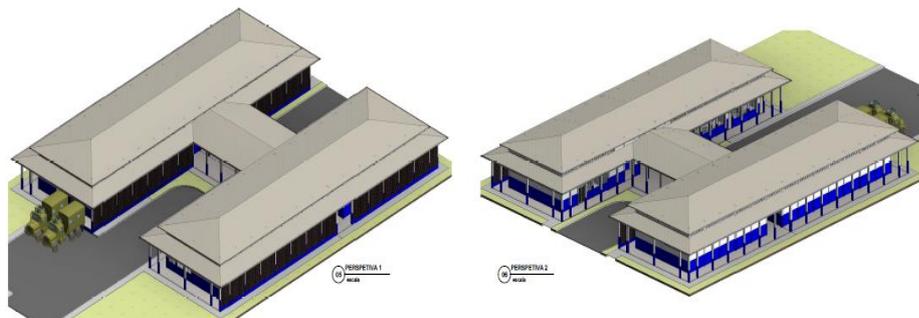


Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA

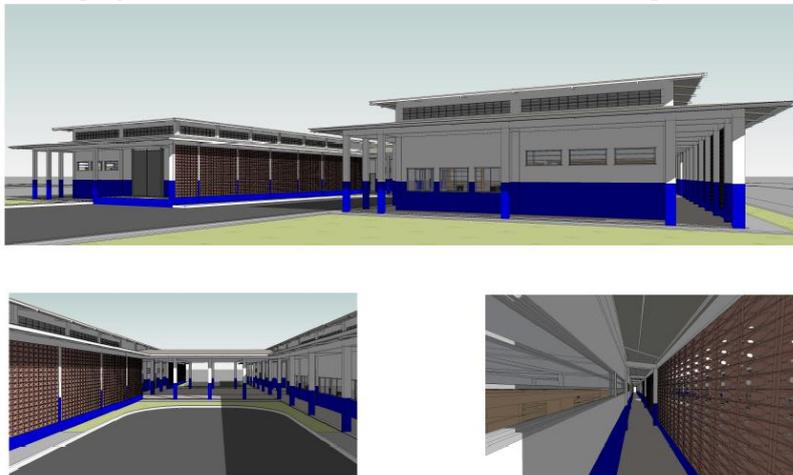
Como estudo de caso foi escolhido o projeto do Pavilhão Companhia de Comando e Apoio (Pav CCAP) do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9º B COM GE), que está sendo construído desde 2019, com conclusão prevista para 2021. A Figura 17, a Figura 18 a Figura 19, e a Figura 20 ilustram o Pav CCAP.

Figura 17 - Vistas em perspectiva do Pav CCAP.



Fonte: CO/ 3º GPT E, 2017.

Figura 18 - Vistas da fachada Norte do Pav CCAp com detalhes dos cobogós (elementos de sombreamento empregados em toda a fachada Oeste, dos dois lados do pavilhão).



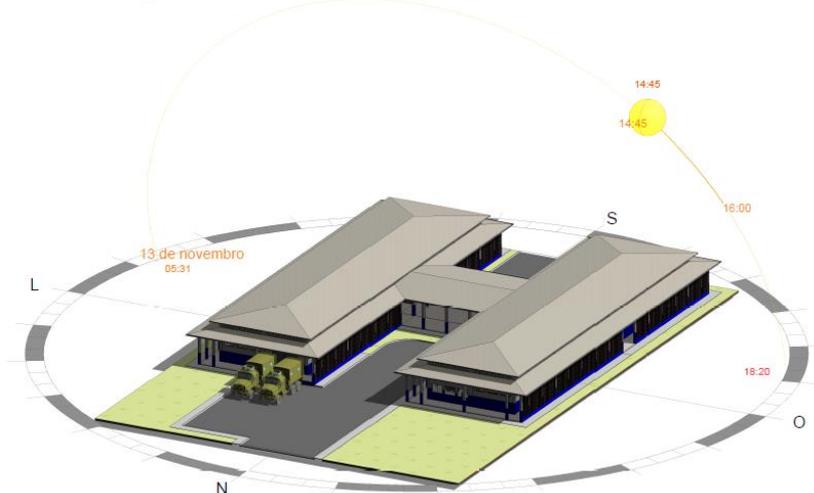
Fonte: CO/ 3° GPT E, 2017b.

Figura 19 - Vista em perspectiva do pavilhão militar (planta baixa humanizada).



Fonte: CO/ 3° GPT E, 2017b.

Figura 20 - Vista em perspectiva do movimento do Sol em relação ao pavilhão militar.



Fonte: CO/ 3° GPT E, 2017b.

O Pav CCAp do 9º B COM GE apresenta as seguintes características construtivas:

- a) formato “H” típico de pavilhões do EB de mesma finalidade, sendo composto por um bloco do lado Leste e um bloco do lado Oeste, ligados por uma circulação aberta nas laterais e com cobertura do mesmo material dos blocos;
- b) área total construída do bloco Leste de 487,70 m<sup>2</sup>, com áreas de depósitos, vestiários, banheiros e circulação. A maioria dos ambientes do bloco Leste são de permanência transitória, não-condicionados artificialmente;
- c) área total construída do bloco Oeste de 467,80 m<sup>2</sup>, com áreas de escritório, sala de aula e circulação. Desse lado, a maioria dos ambientes é de permanência prolongada, condicionados artificialmente;
- d) o pé-direito dos blocos de ambos os lados é de 3,75m;
- e) todas as coberturas utilizam telhas termoacústicas TB-30, com pintura branca, compostas por placas metálicas com isolante entre elas (poliuretano com espessura de 4 cm). A cobertura dos ambientes (fechados) é formada por laje pré-moldada de 12 cm (concreto com espessura de 4 cm, EPS com espessura de 7 cm, e argamassa com espessura de 1 cm) e telhas TB-30. Esse tipo de cobertura é a nº 19, do Anexo V, da Portaria INMETRO nº 50/2013, com transmitância térmica de 0,53 W/m<sup>2</sup>K e capacidade térmica de 176 kJ/m<sup>2</sup>K (INMETRO, 2013c). Foi considerado absorvância solar  $\alpha = 0,20$  para a cobertura (média entre chapa de alumínio oxidado e chapa de aço galvanizada nova e brilhante);
- f) os fechamentos externos são todos em alvenaria de bloco cerâmico (9 cm x 19 cm x 19 cm), com argamassa interna e externa de 2,5 cm. Essas paredes externas seguem o modelo nº 41, do Anexo V, da Portaria INMETRO nº 50/2013, com transmitância térmica de 2,39 W/m<sup>2</sup>K e capacidade térmica de 151 kJ/m<sup>2</sup>K (INMETRO, 2013c). A cor interna das paredes é branco gelo, e a externa é formada por cor azul escuro até 90 cm e branco acima disso. Foi considerado absorvância solar  $\alpha = 0,20$  para as paredes externas (pintura na cor branca), conforme Tabela 1.3 do Manual para Aplicação do RTQ-C (INMETRO, 2016);
- g) as aberturas são compostas por vidro simples, não refletivo, com 6 mm de espessura com fator solar de 0,82;
- h) foram utilizados elementos de sombreamentos do tipo cobogós, com inclinação tal que anule a projeção ortogonal de luz nas aberturas, unindo a cobertura de toda a varanda externa ao solo, em toda a fachada Oeste, dos dois lados do Pavilhão “H”.

Assim, o percentual de abertura da fachada Oeste, em ambos os lados do pavilhão, é nulo;

- i) não foi utilizada abertura do tipo zenital;
- j) o piso do pavilhão é do tipo Piso Industrial de Alta Resistência (granilite), exceto nas áreas molhadas, onde o piso é de cerâmica de base clara, 45 cm x 45 cm;
- k) o sistema de Iluminação é composto de luminárias com 02 lâmpadas de LED com 20W e 2.600 lúmens cada;
- l) o sistema de condicionamento de ar, apenas dos ambientes condicionados artificialmente, é composto por aparelhos do tipo *Split Hi-Wall*, Marca MIDEA ou equivalente técnico, de 9.000, 12.000 e 18.000 BTU/h, etiquetados pelo INMETRO com ENCE Geral nível “A” e COP médio de 3,24;
- m) o sistema de aquecimento solar de água é composto por 16 módulos de 1 m<sup>2</sup>, cada um com capacidade de aquecer 100 litros de água, e 4 reservatórios, sendo 2 de 600 litros e 2 de 200 litros de capacidade.

Todos os ambientes de permanência transitória são não condicionados, e os de permanência prolongada são todos condicionadas artificialmente. Por isso, pode-se considerar o edifício como parcialmente condicionado artificialmente, desconsiderando ventilação natural. A atividade fim desse tipo de pavilhão, pelo EB, é funcionar como escritório, sendo as demais atividades consideradas acessórias a essa principal.

A edificação apresentada foi projetada para atender a Instrução Normativa nº 02 (SLTI-MPOG, 2014), uma vez que Rachid (2018) avaliou o seu projeto pelo método Prescritivo do RTQ-C obtendo ENCE Nível “A”, porém sem encaminhar à análise do OIA. Há necessidade desse novo estudo pela INI-C, regulamento que substituirá o RTQ-C, para que quando a edificação estiver concluída, sejam obtidas as respectivas ENCE de Projeto e de Edificação Concluída já pelo novo método, que provavelmente já estará homologado.

### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA**

A edificação em estudo está sendo construída na cidade de Campo Grande, capital do estado brasileiro de Mato Grosso do Sul. A obra está localizada na Av. Presidente Vargas, S/N, no bairro Vila Sobrinho, no interior do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9º B COM GE), conforme Figura 21, com as seguintes coordenadas: 20.4389° S, 54.6463° W.

Figura 21 – Localização da obra.

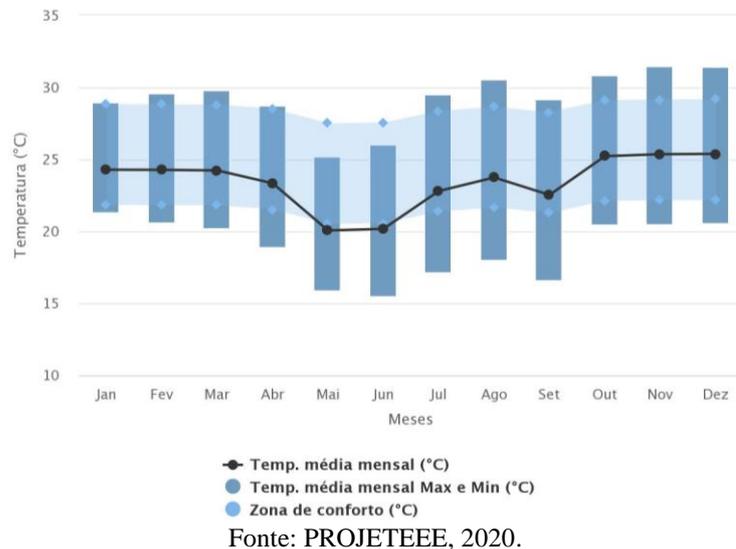


Fonte: GOOGLE MAPS, 2020.

O clima em Campo Grande, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, é “Aw”, ou seja, tropical com inverno seco e verão chuvoso (Aw; A: equatorial, w: inverno seco). A temperatura média na cidade é de 23,4°C e a pluviosidade média anual é de 1449 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

A Figura 22 mostra as temperaturas médias: mensais, mensais máximas e mensais mínimas; além da zona de conforto térmico obtidas utilizando conceitos estudados por Givoni (1992), para Campo Grande, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) tratados pela plataforma pública ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (PROJETEEE, 2020).

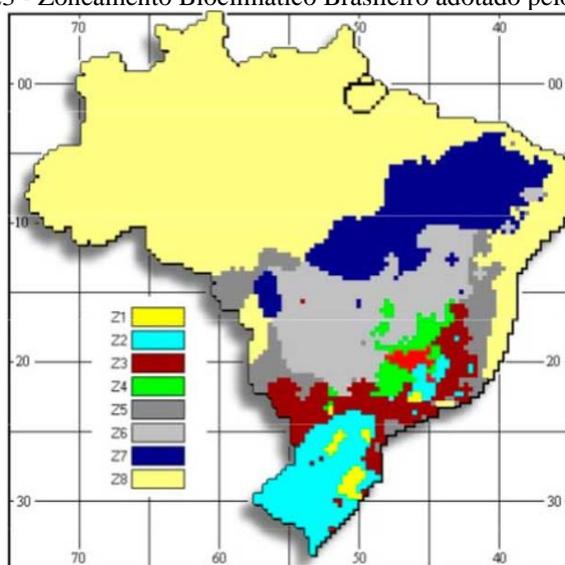
Figura 22 - Histórico das temperaturas mensais de Campo Grande, MS, elaborados com arquivos climáticos “INMET 2016”.



O território brasileiro foi dividido em oito Zonas Bioclimáticas, o que está expresso na NBR 15.220 - Parte 3 (ABNT, 2005a) e pode ser visto na Figura 23. No RTQ-C, adota-se essa classificação climática, na qual a cidade de Campo Grande, MS, localiza-se na Zona Bioclimática 6.

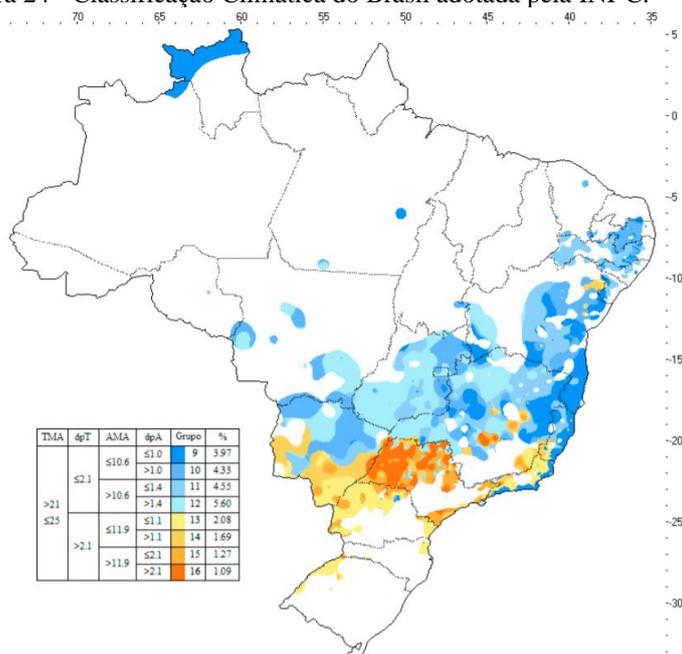
Na INI-C é adotada a classificação climática de 24 grupos, propostos por Roriz (2014), para o Brasil. Nessa classificação, a cidade de Campo Grande pertence ao Grupo Climático 10. A nova classificação Bioclimática é ilustrada na Figura 24.

Figura 23 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro adotado pelo RTQ-C.



Fonte: BIOCLIMATISMO, 2020.

Figura 24 - Classificação Climática do Brasil adotada pela INI-C.



Fonte: RORIZ, 2014.

A norma NBR 15.220 - Parte 3 (ABNT, 2005a) oferece algumas diretrizes construtivas (para habitações residenciais unifamiliares de interesse social) e algumas estratégias para as Zonas Bioclimáticas, que podem ser adotadas para melhorar o conforto térmico e para aumentar a EE de uma edificação.

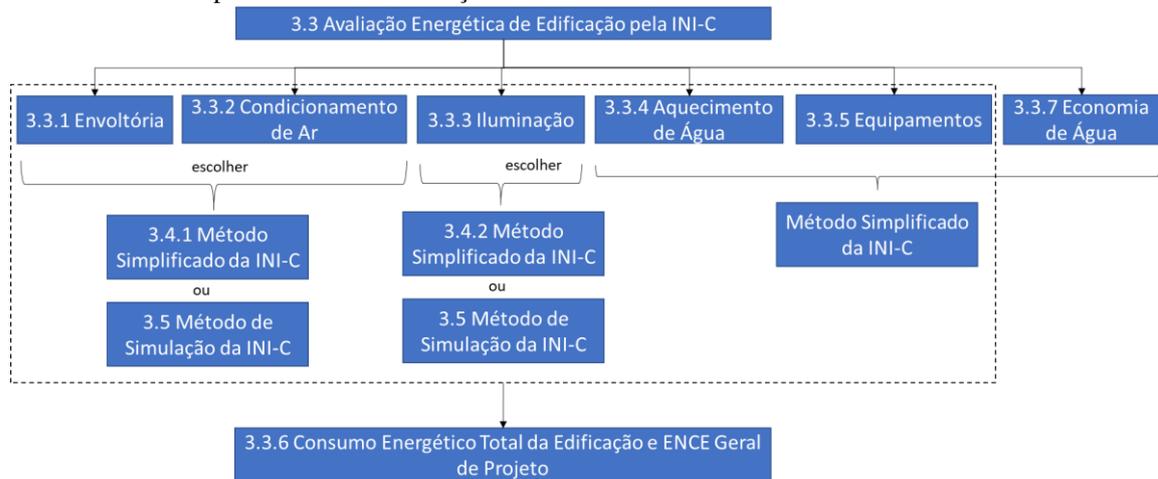
Para a cidade de Campo Grande, MS, recomenda-se o uso de aberturas médias, com sombreamento, para evitar ganhos solares excessivos por radiação direta; o uso de paredes internas de elevada inércia térmica, para redução da amplitude térmica interna à edificação e para aumento do atraso térmico do fluxo de calor, com redução do pico de temperatura interna em relação à externa; o uso de cobertura leve com isolamento térmico; o uso de ventilação natural seletiva, ou seja, apenas nos períodos quentes, em que a temperatura interna da edificação esteja superior à temperatura externa (ABNT, 2005a; BIOCLIMATISMO, 2020; PROJETEER, 2020).

Parte dessas recomendações foi adotada no projeto em estudo de caso desse trabalho, apesar de ser um edifício de escritório, e não residencial. A ausência de uma Norma específica definindo estratégias bioclimáticas mais adequadas à realidade das edificações públicas, comerciais e de serviços é desvantajosa, pois faz com que os projetistas tenham que adaptar as recomendações, sem garantias que de fato haverá melhora no desempenho da edificação.

### ***3.3 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO PROJETO EM ESTUDO PELA INI-C***

Para cálculo de carga térmica e de consumo energético anual pela INI-C, foram utilizados dois métodos: método Simplificado e método de Simulação. Nesta seção 3.3, serão apresentados os procedimentos para avaliação de uma edificação pela INI-C, comuns aos dois métodos utilizados. Em seguida (seção 3.4 e seção 3.5), serão apresentadas as especificidades do método Simplificado e do método de Simulação, respectivamente. A Figura 25 ilustra a estrutura dessa seção.

Figura 25 - Fluxograma do método de avaliação energética de uma edificação pela INI-C, independentemente se será aplicado o método Simplificado ou de Simulação.

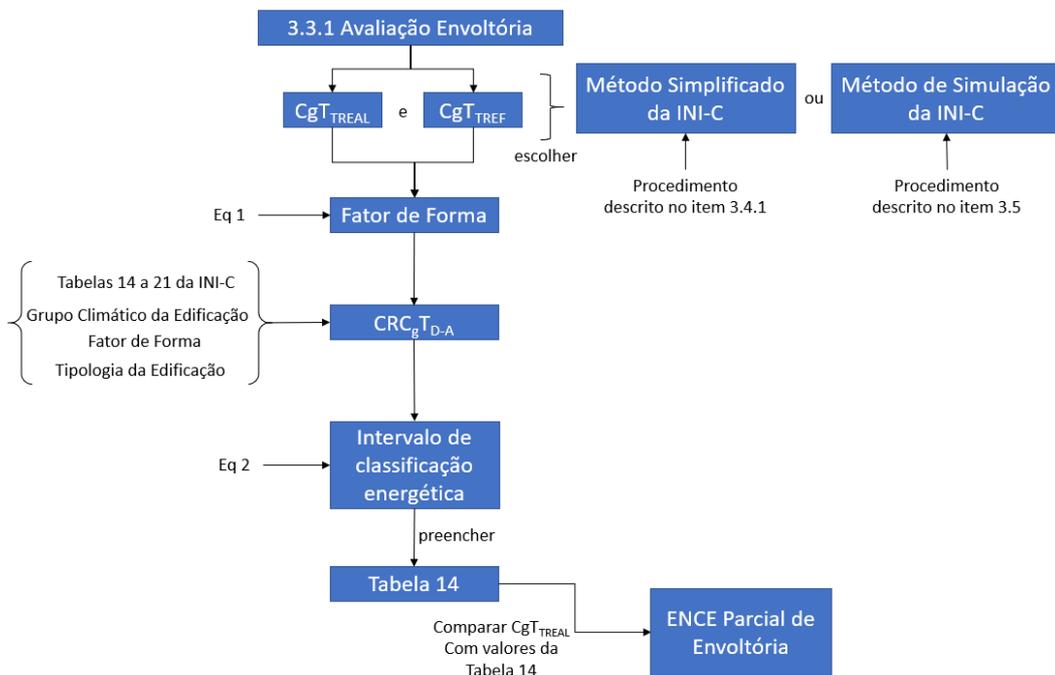


Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3.1 Determinação da Carga Térmica Total e da ENCE Parcial da Envoltória

O valor da carga térmica total anual de resfriamento foi utilizado para obtenção da ENCE Parcial da Envoltória da edificação estudada e para o cálculo do consumo energético do seu sistema de condicionamento de ar, conforme procedimento apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Fluxograma do método de determinação da Carga Térmica Total e da ENCE Parcial de Envoltória, sendo  $C_{gT_{TREAL}}$  e  $C_{gT_{TREF}}$  as Cargas Térmicas na condição Real e de Referência, respectivamente.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para obtenção da ENCE Parcial de Envoltória, foram comparados o valor da Carga Térmica da condição Real ( $C_{gT_{TREAL}}$ ) e da condição de Referência ( $C_{gT_{TREF}}$ ), sendo esses

equivalentes ao valor da Carga Térmica de refrigeração ( $CgT_{TREFRIG}$ ), em cada condição. Para avaliação da edificação na condição Real, foram utilizadas as características construtivas conforme projeto e especificações técnicas, e na condição de Referência, as características da condição de classe “D” de EE, de acordo com a Tabela 13 (INMETRO, 2018).

Tabela 13 – Valores para avaliação energética de edificações de escritórios pela INI-C.

| CARACTERÍSTICA CONSTRUTIVA                                    | CONDIÇÃO REAL  | CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA   |
|---|--|--|
| <b>Geometria</b>  |  |  |
| Forma   | Condição Real  |  |
| Orientação Solar (°)  | Condição Real  |  |
| Pé-direito (m)  | Condição Real  |  |
| <b>Aberturas</b>  |  |  |
| PAF - Percentual de Abertura da Fachada (%)                   | Condição Real  | 50   |
| <b>Aberturas</b>  |  |  |
| PAZ - Percentual de Abertura Zenital (%)                      | Condição Real  | 0  |
| <b>Componentes Construtivos</b>                               |  |  |
| <i>Paredes externas</i>                                       | Condição Real  | Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)             |
| $U_{par}$ - transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)        | Condição Real  | 2,39   |
| $\alpha_{par}$ - absorvância térmica (adimensional)           | Condição Real  | 0,5  |
| $CT_{par}$ - capacidade térmica (kJ/m <sup>2</sup> K)         | Condição Real  | 150  |
| <i>Cobertura</i>  | Condição Real  | Telha de fibrocimento, câmara de ar (> 5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)                   |
| $U_{cob}$ - transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)        | Condição Real  | 2,06   |
| $\alpha_{cob}$ - absorvância térmica (adimensional)           | Condição Real  | 0,8  |
| $CT_{cob}$ - capacidade térmica (kJ/m <sup>2</sup> K)         | Condição Real  | 233  |
| <i>Vidros</i>   | Condição Real  | Vidro simples incolor 6 mm   |
| FS - Fator solar (adimensional)                               | Condição Real  | 0,82   |
| $U_{vid}$ - transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)        | Condição Real  | 5,7  |
| AHS - Ângulo Horizontal de Sombreamento (°)                   | Condição Real  | 0  |
| AVS - Ângulo Vertical de Sombreamento (°)                     | Condição Real  | 0  |
| AOV - Ângulo de Obstrução Vertical (°)                        | Condição Real, mas de consideração opcional.   |  |
| <b>Iluminação e ganhos</b>                                    |  |  |
| DPI - Densidade de Potência de Iluminação (W/m <sup>2</sup> ) | Condição Real. Quando avaliação é apenas para Envoltória, adotar 14,1 W/m <sup>2</sup> . | 14,1. Adotar esse valor para avaliação parcial da Envoltória e para método do edifício completo. |
| Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)                             |  | 10,0   |

| CARACTERÍSTICA CONSTRUTIVA                                      | CONDIÇÃO REAL  | CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA |
|---|--|------------------------|
| DPE - Densidade de Potência de Equipamentos (W/m <sup>2</sup> ) |  | 9,7                    |
| Horas de ocupação (horas)                                       |  | 10                     |
| Dias de ocupação (Nano)   |  | 260                    |
| Condição do piso  |  | Condição Real          |
| Condição da cobertura   |  | Condição Real          |
| Isolamento do piso  | Condição Real  | Sem isolamento         |
| <b>Condicionamento de Ar (refrigeração)</b>                     |  |                        |
| COP - Coeficiente de Performance (W/W)                          | Condição Real  | 2,60                   |
| Temperatura <i>setpoint</i> (°C)                                |  | 24                     |
| Aquecimento de Água   | Tipologia com consumo de água quente não significativo para avaliação. |                        |

Fonte: INMETRO, 2018.

Esses valores de carga térmica foram obtidos utilizando um metamodelo (método Simplificado da INI-C) e utilizando programas de simulação termoenergética de edificações (método de Simulação da INI-C), conforme seção 3.4 e seção 3.5 desse estudo, respectivamente. Uma vez determinado o valor de carga térmica anual, o primeiro passo foi determinar o Fator de Forma da edificação, o que se fez pela Equação (1) do Anexo (INMETRO, 2018).

De posse do FF e do Grupo Climático onde a edificação se localiza, o segundo passo foi obter o valor do Coeficiente de Redução da Carga Térmica Anual da Classe “D” para a classe “A” ( $C_{gT_{D-A}}$ ). Esse fator foi obtido nas Tabelas 14 a 21 da INI-C, conforme tipologia da edificação, que é de “Escritório” (INMETRO, 2018).

No terceiro passo, calculou-se o intervalo de classificação energética para a edificação avaliada, pela Equação (2) do Anexo. O quarto passo foi preencher a Tabela 14, com o valor calculado do intervalo. Por fim, o quinto passo foi comparar a Carga Térmica Total da edificação, em sua condição Real ( $C_{gT_{REAL}}$ ), obtendo-se a ENCE Parcial da Envoltória (INMETRO, 2018).

Tabela 14 – Limites para classificação de EE da Envoltória de uma edificação, onde  $C_{gT_{TREF}}$  é a Carga Térmica anual na condição de Referência.

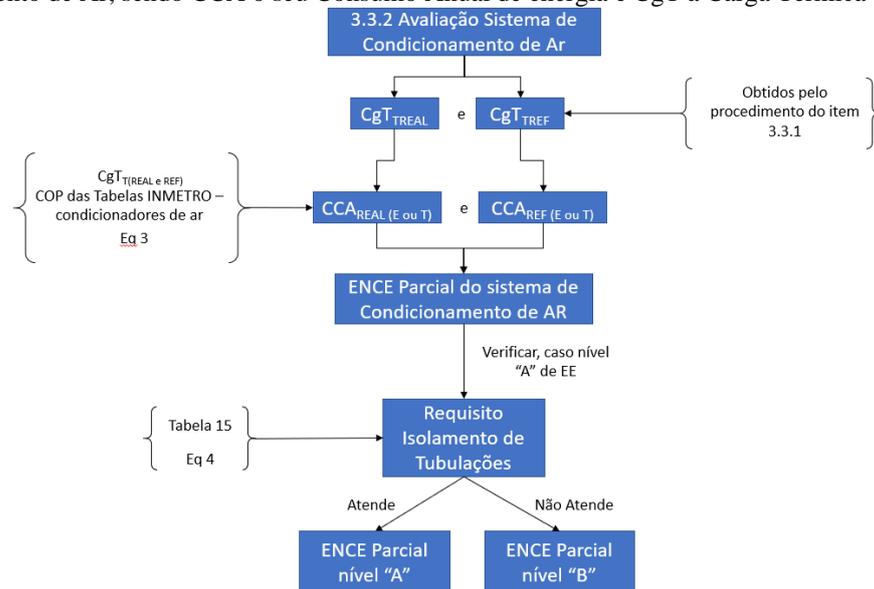
| CLASSE DE EFICIÊNCIA | A                      | B                         | C                        | D                     | E                 |
|----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| Limite Superior      | -                      | $> C_{gT_{TREF}} - 3i$    | $> C_{gT_{TREF}} - 2i$   | $> C_{gT_{TREF}} - i$ | $> C_{gT_{TREF}}$ |
| Limite Inferior      | $< C_{gT_{TREF}} - 3i$ | $\leq C_{gT_{TREF}} - 2i$ | $\leq C_{gT_{TREF}} - i$ | $\leq C_{gT_{TREF}}$  | -                 |

Fonte: INMETRO, 2018.

### 3.3.2 Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar

A avaliação do sistema de Condicionamento de Ar pela INI-C está dividida em equipamentos etiquetados pelo INMETRO, e em equipamentos não etiquetados. Como o EB é órgão público, pela IN n° 02 (SLTI-MPOG, 2014), é obrigatória a utilização de equipamentos com ENCE nível “A”. Assim, nesse trabalho, foi abordada apenas a avaliação energética de sistemas etiquetados pelo INMETRO. O procedimento descrito nesta seção é ilustrado na Figura 27.

Figura 27 - Fluxograma com etapas para obtenção do consumo energético e da ENCE Parcial do sistema de Condicionamento de Ar, sendo CCA o seu Consumo Anual de energia e CgT a Carga Térmica anual.



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de Condicionamento de Ar foi avaliado sob duas condições: condição Real (utilizando características reais do sistema projetado) e condição de Referência (características da classe “D” de EE, com valor de Coeficiente de Performance- COP- obtido das tabelas de classificação de INMETRO (2020), para esta classe). Para cada condição, calculou-se o Consumo Anual de Energia do sistema (CCA), por meio dos valores de Carga Térmica anual (CgT), já determinados. Esse consumo é dado pela Equação (3) do Anexo (INMETRO, 2018).

Quando o sistema obtém ENCE Parcial classe “A”, verifica-se o atendimento do requisito específico de isolamento de tubulações para condução de fluídos. Caso o requisito não seja atendido, a ENCE Parcial do Condicionamento de Ar passa a ser Classe “B”. A Tabela 15 apresenta as espessuras mínimas do isolamento térmico das tubulações para condução de fluídos, para sistemas etiquetados pelo INMETRO. Caso a condutividade térmica do isolamento

esteja fora da faixa estipulada nessa tabela, utiliza-se a Equação (4) do Anexo, para determinação da espessura mínima (INMETRO, 2018).

Tabela 15 – Espessura mínima (cm) de isolamento térmico de tubulações para sistemas de refrigeração do tipo expansão direta (*splits* convencionais e *inverter*).

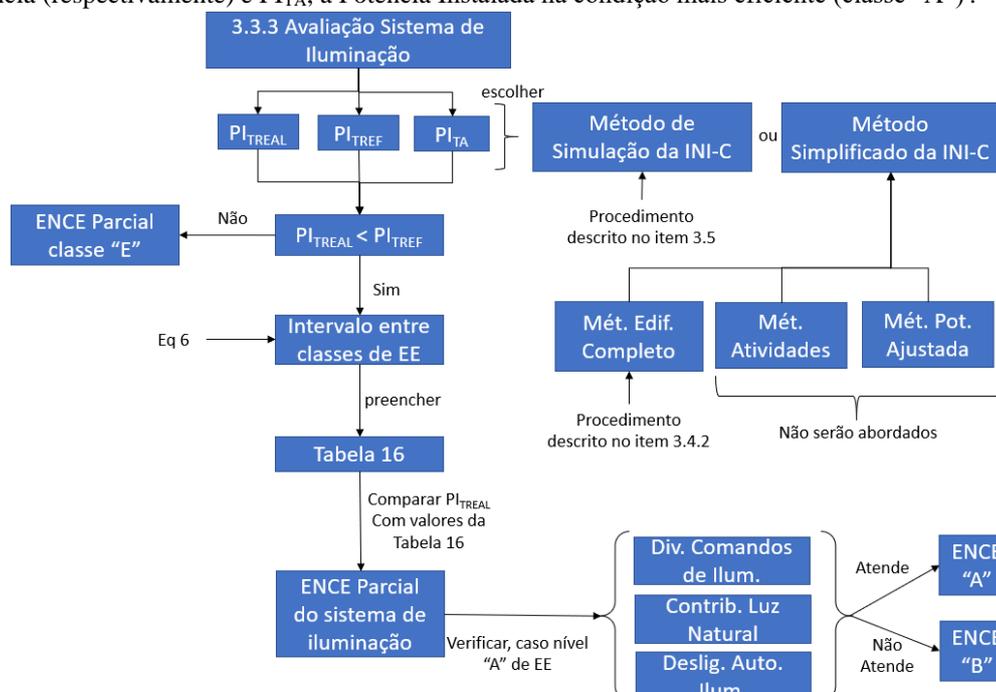
| FAIXA DE TEMPERATURA (T) DO FLUIDO (°C) | CONDUTIVIDADE DO ISOLAMENTO TÉRMICO |                            | DIÂMETRO NOMINAL DA TUBULAÇÃO (mm) |             |      |
|---|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------|------|
|   | CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)        | TEMPERATURA DO ENSAIO (°C) | ≤ 10                               | > 10 e ≤ 30 | > 30 |
| 0 < T < 16                              | 0,032 a 0,040                       | 20                         | 0,9                                | 1,3         | 1,9  |

Fonte: INMETRO, 2018.

### 3.3.3 Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Iluminação

O consumo energético (eletricidade) do sistema de Iluminação foi obtido pela Equação (5) do Anexo. Para cálculo da Potência Instalada do sistema de Iluminação ( $PI_T$ ), foram utilizados tanto o método Simplificado quanto o método de Simulação da INI-C. A Figura 28 ilustra o procedimento para avaliação desse sistema.

Figura 28 - Fluxograma com etapas para determinação do consumo energético e da ENCE Parcial do sistema de Iluminação, sendo  $PI_T$  a Potência Instalada Total,  $PI_{TREAL}$  e  $PI_{TREF}$  a Potência Instalada na condição Real e de Referência (respectivamente) e  $PI_{TA}$ , a Potência Instalada na condição mais eficiente (classe “A”).



Fonte: elaborado pelo autor.

Para o método Simplificado da INI-C, há ainda três formas para esse cálculo: método do Edifício Completo, método das Atividades do Edifício, e método da Potência Ajustada. Na

seção 3.4.2 deste trabalho, foi descrito em detalhes o método do Edifício Completo, que foi utilizado na avaliação do estudo de caso (INMETRO, 2018).

No método de Simulação da INI-C, definiu-se a potência instalada para cada zona térmica nos *softwares* de simulação termoenergética utilizados, e estes calcularam automaticamente a potência instalada de todo o sistema de Iluminação.

Para obtenção de ENCE Parcial do Sistema de Iluminação, foram calculadas a Potência Instalada Total na condição Real ( $PI_T$ ), na condição de Referência ( $PI_{TREF}$ , na classe “D” de EE), e na condição mais eficiente ( $PI_{TA}$ , na classe “A” de EE), pelos métodos Simplificado e de Simulação da INI-C. Se a  $PI_T$  fosse maior que  $PI_{TREF}$ , a classificação final do sistema de Iluminação teria sido classe “E”. Como isso não ocorreu, calculou-se o intervalo entre classes de EE de acordo com a Equação (6) do Anexo (INMETRO, 2018).

A próxima etapa foi preencher a Tabela 16, com o valor calculado do intervalo. Por fim, comparou-se a Potência Instalada Total da edificação, em sua condição Real, com os valores limites das classes na Tabela 16, obtendo-se a ENCE Parcial do Sistema de Iluminação (INMETRO, 2018).

Tabela 16 – Limites para classificação de EE do sistema de Iluminação de uma edificação, onde  $PI_{TREF}$  é a Potência Instalada de Iluminação na condição de Referência.

| CLASSE DE EFICIÊNCIA | A                  | B                     | C                    | D                 | E             |
|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Limite Superior      | -                  | $> PI_{TREF} - 3i$    | $> PI_{TREF} - 2i$   | $> PI_{TREF} - i$ | $> PI_{TREF}$ |
| Limite Inferior      | $< PI_{TREF} - 3i$ | $\leq PI_{TREF} - 2i$ | $\leq PI_{TREF} - i$ | $\leq PI_{TREF}$  | -             |

Fonte: INMETRO, 2018.

Quando se obtém ENCE classe “A” para o sistema de Iluminação, requisitos adicionais devem ser cumpridos em pelo menos 80% dos ambientes da edificação: a) divisão dos comandos de iluminação, b) contribuição da luz natural, c) desligamento automático do sistema de Iluminação (INMETRO, 2018).

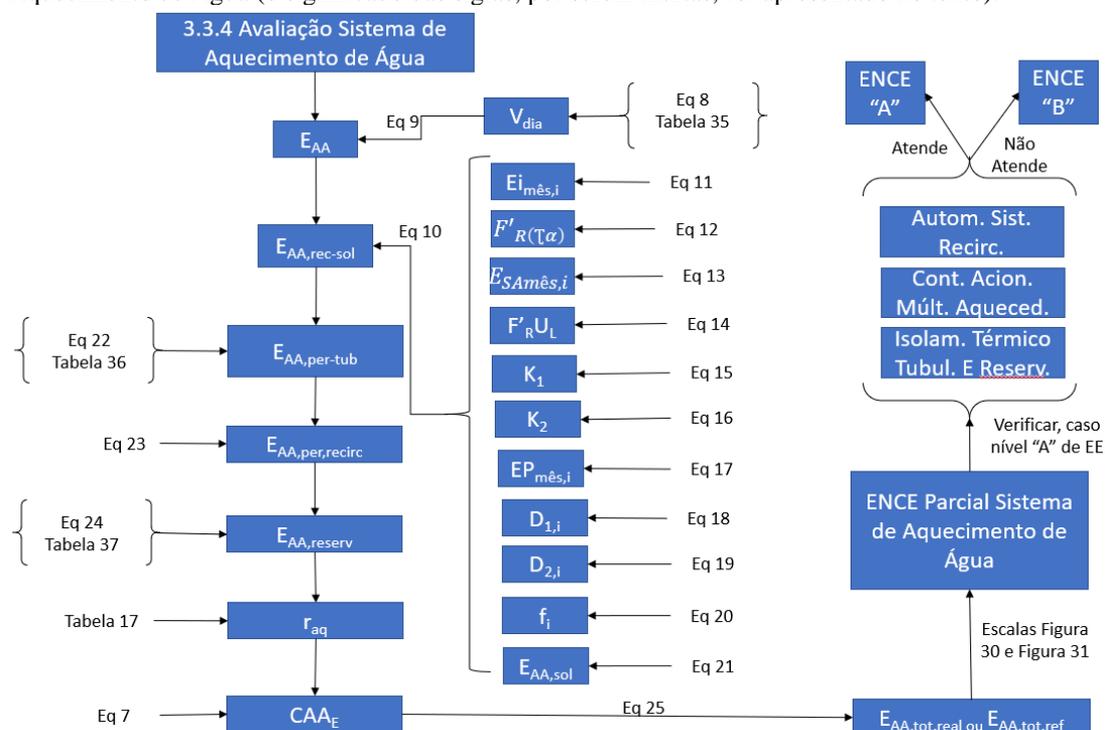
- a) Para cada ambiente fechado com divisórias do chão até o teto, foi previsto pelo menos um dispositivo de controle manual, com acionamento independente das lâmpadas. Cada controle manual teve seu posicionamento acessível e a localização possível de se ver todas as lâmpadas controladas. Foi instalado um dispositivo para cada zona térmica, todas menores que 250 m<sup>2</sup> (INMETRO, 2018);
- b) Para ambientes com aberturas voltadas ao exterior, com mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas, foi previsto controle manual para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima às aberturas, de forma a possibilitar o aproveitamento da luz natural disponível (INMETRO, 2018);

- c) Como a edificação estudada, por características inerentes às atividades militares, pode funcionar 24 horas por dia e como o desligamento do sistema pode oferecer algum risco à integridade dos usuários, é dispensado o requisito do controle automático para o desligamento da iluminação em um horário pré-determinado, ou com sensor de presença que desligue o sistema 30 minutos após desocupação, ou com controle ou alarme que indique que a área está desocupada (INMETRO, 2018).

### 3.3.4 Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Aquecimento de Água

Para cálculo do consumo energético e para obtenção da ENCE Parcial do sistema de Aquecimento de Água de uma edificação, só há um procedimento descrito na INI-C, dentro do método Simplificado. Ou seja, não há possibilidade, pela INI-C, de utilizar simulação energética de edificações para se obter o consumo energético desse sistema. A Figura 29 ilustra as etapas que serão apresentadas nessa seção para avaliação do sistema de Aquecimento de Água.

Figura 29 - Fluxograma com etapas para determinação do consumo energético e da ENCE Parcial do sistema de Aquecimento de Água (o significado das siglas, por serem muitas, foi apresentado no texto).



Fonte: elaborado pelo autor.

Deve-se calcular separadamente o consumo desse sistema, referente à Energia Elétrica ( $CAA_E$ ) e à Energia Térmica ( $CAA_T$ ) (INMETRO, 2018). Esses consumos dependem dos equipamentos utilizados para aquecer água e da fonte de energia utilizada. Como no pavilhão estudado há apenas fontes elétricas (sistema de aquecimento solar, complementado por chuveiros com resistência elétrica, que só operam como reserva ao aquecimento solar), apenas será apresentado, nesse trabalho, o método de cálculo de consumo de energia elétrica para o sistema de Aquecimento de Água da INI-C. O consumo de eletricidade para Aquecimento de Água é expresso pela Equação (7) do Anexo.

#### **3.3.4.1 Energia Requerida para Atendimento da Demanda de Água Quente ( $E_{AA}$ )**

Primeiramente, calculou-se o volume diário de água quente necessário ao tipo de edificação em análise ( $V_{dia}$ ). Para isso, foram utilizados a Equação (8) e a Tabela 35 (ambos no Anexo).

Em seguida, determinou-se a temperatura de uso ou armazenamento da água quente, que é de  $60^\circ\text{C}$ , em todo o país, quando há sistema de armazenamento de água quente (INMETRO, 2018), que é o caso do pavilhão estudado.

Determinou-se, posteriormente, a temperatura de água fria. Para isso, adotou-se a média anual da temperatura ambiente da cidade, onde a edificação em estudo se localiza, menos o valor de  $2^\circ\text{C}$  (INMETRO, 2018). Para média anual da temperatura ambiente, a INI-C fornece uma tabela para diferentes cidades brasileiras (CB3E, 2019e).

De posse dessas informações, calcula-se a energia requerida para o atendimento da demanda de água quente ( $E_{AA}$ ), pela Equação (9) do Anexo.

#### **3.3.4.2 Energia para Aquecimento de Água Proveniente de Sistemas que Recuperam Calor ou Energia Solar Térmica ( $E_{AA,rec-sol}$ )**

Do consumo de energia para atender a demanda de água quente, descontou-se a energia para aquecimento, oriunda do sistema de energia solar térmica que foi previsto para o pavilhão (INMETRO, 2018). A Equação (10) do Anexo expressa esse termo.

No pavilhão estudado não há sistema que recupera calor, zerando a parcela de energia oriunda desse tipo de sistema ( $E_{AA,rec}$ ). Para cálculo da energia oriunda de sistema de aquecimento solar térmico ( $E_{AA,sol}$ ), primeiramente, calculou-se a radiação solar mensal

incidente sobre a superfície inclinada dos coletores ( $E_{I_{mês,i}}$ ) pela Equação (11) do Anexo (INMETRO, 2018).

O segundo passo foi calcular a energia solar mensal absorvida pelos coletores ( $E_{SA_{mês,i}}$ ), pela Equação (12) e pela Equação (13). O terceiro passo foi calcular a energia solar não aproveitada pelos coletores ( $EP_{mês,i}$ ), pela Equação (14), pela Equação (15), pela Equação (16), e pela Equação (17). O quarto passo foi calcular a fração solar mensal ( $f_i$ ), pela Equação (18), pela Equação (19), pela Equação (20). Por fim, o quinto passo foi calcular a energia para aquecimento solar de água ( $E_{AA,sol}$ ), pela Equação (21) (INMETRO, 2018). Todas essas equações foram colocadas no Anexo deste trabalho.

#### **3.3.4.3 Perdas térmicas na Tubulação provenientes do sistema de Distribuição ( $E_{A,per-tub}$ )**

No caso de sistemas de aquecimento que servem a vários pontos de utilização, devem ser computadas as perdas térmicas que ocorrem nas tubulações de distribuição de água quente ( $E_{A,per-tub}$ ), o que pode ser calculado pela Equação (22) do Anexo (INMETRO, 2018). No pavilhão estudado, os coletores (e reservatórios) encontram-se imediatamente acima dos pontos de utilização, pelo que se optou por desprezar essas perdas.

#### **3.3.4.4 Perdas térmicas no sistema de Recirculação ( $E_{A,per-recirc}$ )**

Quando há sistema de recirculação de água quente não automatizado, devem ser computadas as perdas térmicas que ocorrem nesse ( $E_{A,per-recirc}$ ), o que pode ser calculado pela Equação (23) do Anexo (INMETRO, 2018). Para o pavilhão estudado, não foi previsto esse tipo de sistema, zerando esse fator.

#### **3.3.4.5 Perdas térmicas no Reservatório de Água Quente ( $E_{A,reserv}$ )**

Como há quatro reservatórios de água quente, foram computadas as perdas térmicas associadas às características de cada um e de seus respectivos isolamentos térmicos ( $E_{A,reserv}$ ), pela Equação (24) do Anexo (INMETRO, 2018).

### 3.3.4.6 Eficiência dos Equipamentos Aquecedores de Água ( $r_{aq}$ )

Quando o sistema de aquecimento conta apenas com um aquecedor, a EE do sistema coincide com a eficiência desse (INMETRO, 2018). O rendimento do aparelho de aquecimento de água ( $r_{aq}$ ) foi obtido na Tabela 17, que para o caso do pavilhão estudado foi de 0,85 (85%), uma vez que se utiliza *boiler*.

Tabela 17 – Tipo de sistemas de Aquecimento de Água e suas eficiências ( $r_{aq}$ ).

| TIPO DO SISTEMA DE ÁGUA QUENTE  | EFICIÊNCIA (%)            |
|---|---------------------------|
| Resistência elétrica imersa ( <i>boiler</i> )                         | 85                        |
| Aquecedor de passagem de um único ponto de consumo                    | 70                        |
| Aquecedor de passagem de múltiplos pontos de consumo                  | 65                        |
| Aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico) | 95                        |
| Aquecedor de acumulação a gás   | 65                        |
| Aquecedor de acumulação a combustível sólido (lenha)                  | 55                        |
| Bomba de calor elétrica   | Informado pelo fabricante |

Fonte: INMETRO, 2018.

### 3.3.4.7 Obtenção de ENCE Parcial do Sistema de Aquecimento de Água

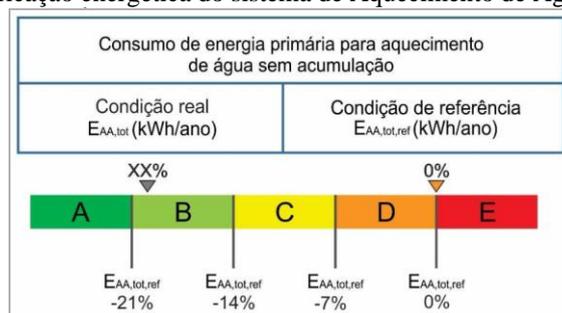
Uma vez calculado o consumo total de energia para Aquecimento de Água, provenientes de fontes de energia elétrica ( $CAA_E$ ) e de energia térmica ( $CAA_T$ ), calculou-se o Consumo Total de Energia Primária do Sistema de Aquecimento de Água ( $E_{AA,tot}$ ), pela Equação (25) do Anexo (INMETRO, 2018).

Comparou-se, posteriormente, o consumo de energia primária necessária para atender a demanda de água quente da edificação, na condição Real ( $E_{AA,tot,real}$ ) e na condição de Referência ( $E_{AA,tot,ref}$ ), obtendo-se a redução percentual do primeiro valor em relação ao segundo. Por meio das escalas da Figura 30 e da Figura 31, classificou-se o sistema de Aquecimento de Água (INMETRO, 2018).

Figura 30 - Escala para classificação energética do sistema de Aquecimento de Água (com acumulação).



Figura 31- Escala para classificação energética do sistema de Aquecimento de Água (sem acumulação).



Fonte: INMETRO, 2018.

Na Seção 3.3 da INI-C (INMETRO, 2018), a Equação (4) -  $CAA_E$  e a Equação (5) -  $CAA_T$  se referem apenas ao consumo de energia na condição Real, o que não é citado pelo regulamento, erroneamente dando a entender que as equações deveriam ser utilizadas também para a condição de Referência, o que sempre geraria ENCE Parcial do sistema de Aquecimento de Água classe “D”.

Em contato deste autor com profissional do CB3E, foi informado que tal erro foi identificado durante processo de Consulta Pública, e que será corrigido no regulamento a ser publicado em versão definitiva. É importante, portanto, na Equação (4) e na Equação (6) da INI-C (INMETRO, 2018), para a condição de Referência, considerar apenas a multiplicação dos termos do número de dias por ano ( $N_{ano}$ ) e da energia requerida para atender a demanda de água quente ( $E_{AA}$ ) para cálculo nessa condição.

Após a avaliação, para que o sistema de Aquecimento de Água fosse elegível a obter ENCE Parcial Classe “A”, verificou-se o cumprimento dos requisitos, quando aplicáveis: a) automação do sistema de recirculação; b) controle no acionamento de múltiplos aquecedores; c) presença de isolamento térmico de tubulações e reservatórios. O descumprimento de algum dos requisitos implicaria em ENCE Parcial Classe “B”, no máximo (INMETRO, 2018).

No caso do pavilhão estudado, não existe sistema de recirculação de água quente, nem múltiplos aquecedores trabalhando em conjunto. Assim, apenas o requisito “c” teve que ser avaliado, e foi atendido: as tubulações do sistema de recirculação de água possuem isolamento térmico, com espessura mínima de 13 mm e condutividade térmica máxima de 0,040 W/(m.K). Os reservatórios de água quente obedecem aos limites de perda específica mensal máxima, expressos na Tabela 37 (Anexo) (INMETRO, 2018).

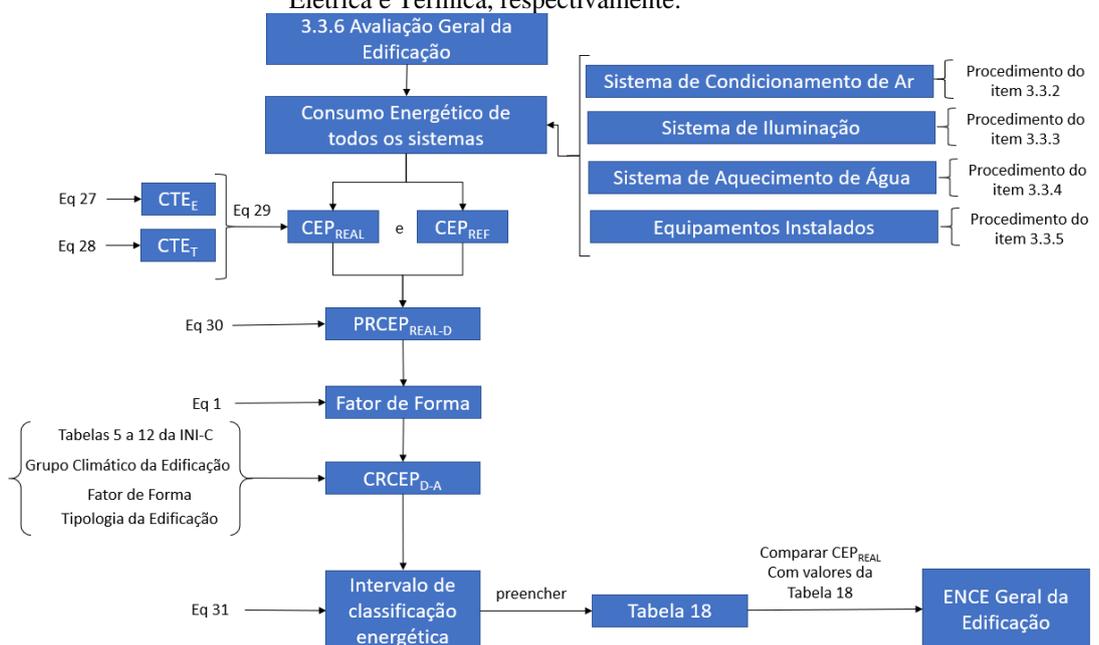
### 3.3.5 Determinação do Consumo Energético dos Equipamentos Instalados na Edificação

Para cálculo do consumo energético dos Equipamentos elétricos Instalados em uma edificação, utiliza-se a Equação (26) do Anexo, com as densidades de potência instaladas fixadas para cada tipologia de edificações no Anexo A da INI-C (INMETRO, 2018).

### 3.3.6 Determinação do Consumo Energético Total da Edificação e da ENCE Geral de Projeto

Uma vez determinado os consumos de energia de cada sistema (Iluminação, Condicionamento de Ar, Aquecimento de Água e Equipamentos), obteve-se o consumo total anual da edificação. A Figura 32 ilustra o procedimento para obtenção do consumo energético total e da ENCE Geral de Projeto.

Figura 32 - Fluxograma com método para determinação do consumo energético total da edificação e da ENCE Geral de Projeto, onde CEP é o Consumo de Energia Primária,  $CTE_E$  e  $CTE_T$  os Consumos Totais de Energia Elétrica e Térmica, respectivamente.



Fonte: elaborado pelo autor.

Pela INI-C, a EEE deve ser avaliada pela determinação do consumo anual de energia primária estimado, resultante da combinação de Energia Elétrica ( $CTE_E$ ) e Térmica ( $CTE_T$ ), transformadas pelos devidos fatores de conversão. Então, foram comparados o Consumo de Energia Primária da edificação avaliada na condição Real ( $CEP_{REAL}$ ) e na condição de Referência ( $CEP_{REF}$ ) (INMETRO, 2018). A Equação (27), a Equação (28) e a Equação (29), todas no Anexo, foram utilizadas nesse processo.

A classe de EEE foi definida pelo Percentual de Economia da Edificação Real em relação à de Referência ( $PRCEP_{REAL-D}$ ), de acordo com a Equação (30) do Anexo. Em seguida, calculou-se o Fator de Forma da Edificação pela Equação (1) do Anexo. De posse do Fator de Forma e do Grupo Climático (Campo Grande, MS, está no grupo 10), o terceiro passo foi obter o valor do Coeficiente de Redução de Consumo de Energia Primária da Classe “D” para a classe “A” ( $CRCEP_{D-A}$ ), que pôde ser obtido nas Tabelas 5 a 12 da INI-C, dependendo da tipologia da edificação (o pavilhão estudado tem tipologia de escritório) (INMETRO, 2018).

No quarto passo, calculou-se o intervalo de classificação energética para a edificação avaliada pela Equação (31) do Anexo. O quinto passo foi preencher a Tabela 18 com o valor desse intervalo. Por fim, comparou-se o Consumo de Energia Primária da edificação, em sua condição Real ( $CEP_{REAL}$ ), com os limites tabelados, obtendo-se a ENCE Geral da Edificação (INMETRO, 2018).

Tabela 18 – Limites para classificação de EE Geral de uma edificação, sendo  $CEP_{REF}$  o Consumo de Energia Primária na condição de Referência.

| CLASSE DE EFICIÊNCIA | A                  | B                     | C                    | D                 | E             |
|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Limite Superior      | -                  | $> CEP_{REF} - 3i$    | $> CEP_{REF} - 2i$   | $> CEP_{REF} - i$ | $> CEP_{REF}$ |
| Limite Inferior      | $< CEP_{REF} - 3i$ | $\leq CEP_{REF} - 2i$ | $\leq CEP_{REF} - i$ | $\leq CEP_{REF}$  | -             |

Fonte: INMETRO, 2018.

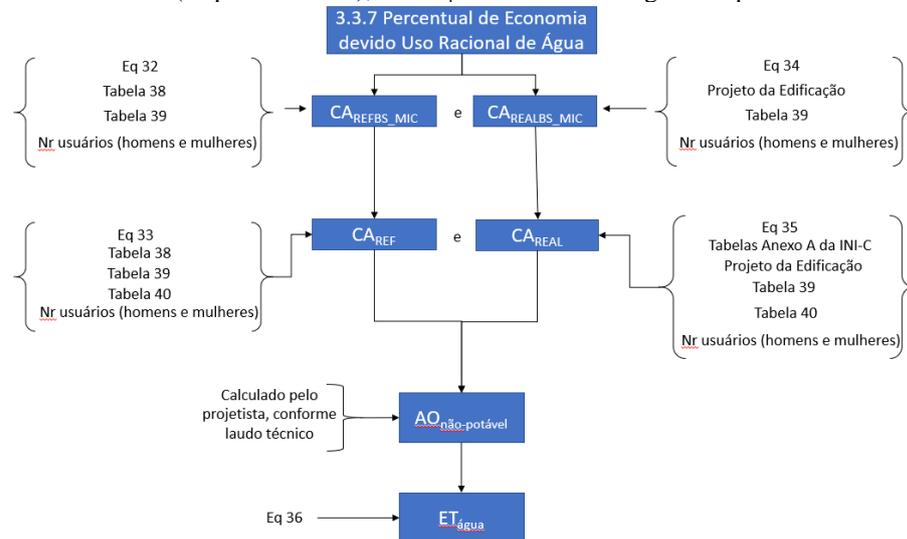
### 3.3.7 Determinação do Percentual de Economia devido Uso Racional de Água

A economia de água gerada pela utilização de dispositivos que visam redução de consumo de água pode ser calculada apenas por método Simplificado, disponibilizado na INI-C, especificamente em seu Anexo “E”. Essa economia tem caráter informativo, não influenciando na classificação energética da edificação avaliada (INMETRO, 2018).

Podem ser avaliados por esse método equipamentos economizadores e sistemas de uso racional de água (aproveitamento de água pluvial e reaproveitamento de água de condensação). O uso de água subterrânea (poços) não deve ser considerado estratégia de economia de água (INMETRO, 2018).

Para cálculo do potencial de economia de água potável, calculou-se o Consumo de Água anual estimado, na condição de Referência ( $CA_{REF}$ ) e na condição Real ( $CA_{REAL}$ ), ambos com mesmo padrão de uso e de ocupação do pavilhão. Em seguida, calculou-se a Oferta Anual de água não potável ( $AO_{\text{não-potável}}$ ), oriunda de sistemas de uso racional de água. A Figura 33 ilustra o procedimento para obtenção do percentual de economia devido uso racional de água em uma edificação.

Figura 33 - Fluxograma com etapas para obtenção do Percentual de Economia devido Uso Racional de Água ( $ET_{\text{água}}$ ), sendo  $CA_{\text{REAL}}$  e  $CA_{\text{REF}}$  os Consumos de Água na condição Real e de Referência (respectivamente),  $CA_{\text{REFBS\_MIC}}$  e  $CA_{\text{REALBS\_MIC}}$  os Consumos diários de Água das Bacias Sanitárias e Mictórios na condição Real e de Referência (respectivamente),  $AO_{\text{não-potável}}$  a Oferta de água não potável.



Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3.7.1 Consumo de Água da Edificação na Condição de Referência ( $CA_{\text{REF}}$ )

O Consumo Anual de água da edificação na condição de Referência foi calculado pela Equação (32), e pela Equação (33), ambas no Anexo. Primeiramente, calculou-se o Consumo diário de Água em Bacias Sanitárias e Mictórios ( $CA_{\text{REFBS-MIC}}$ ), na condição de Referência. Em seguida, para essa condição, calculou-se o Consumo Anual de água propriamente dito ( $CA_{\text{REF}}$ ). Nessa condição, foram tomados os dados de vazões dos dispositivos hidráulicos previstos nas tabelas da INI-C (INMETRO, 2018), todas explicitadas (com adaptações para realidade desta pesquisa) no Anexo deste trabalho.

### 3.3.7.2 Consumo de Água da Edificação na Condição Real ( $CA_{\text{REAL}}$ )

O Consumo Anual de água da edificação na condição Real foi calculado pela Equação (34), e pela Equação (35), ambas no Anexo. Primeiramente, calculou-se o Consumo diário de Água em Bacias Sanitárias e Mictórios ( $CA_{\text{REALBS-MIC}}$ ), na condição Real. Em seguida, para essa condição, calculou-se o Consumo anual de Água propriamente dito ( $CA_{\text{REAL}}$ ). Nessa condição, foram considerados bacias sanitárias de 6 litros/descarga, mictórios de 2,5 litros/descarga, chuveiros híbridos de vazão 3 litros/minuto e lavatórios arejados de vazão 1,5 litros/minuto.

### 3.3.7.3 Determinação do Potencial de Economia de Água Potável ( $ET_{\text{água}}$ )

O potencial de Economia de água da edificação ( $ET_{\text{água}}$ ) foi calculado pela Equação (36) do Anexo.

## 3.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C NO PROJETO EM ESTUDO

No item 3.3 deste trabalho, já foram abordados os procedimentos de avaliação de EEE, que devem ser aplicados sempre, independente de se utilizar o método Simplificado ou o método de Simulação da INI-C. Nesta seção 3.4, serão apresentados procedimentos de avaliação que devem ser utilizados, especificamente, quando estiver sendo aplicado o método Simplificado da INI-C.

O método Simplificado da INI-C abrange edificações com arquiteturas comuns, que é o caso das edificações militares. Para utilização deste método, a edificação avaliada deve respeitar limites expressos na Tabela 19.

Tabela 19 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método Simplificado da INI-C.

| PARÂMETROS   | VALOR MÍNIMO                                  | VALOR MÁXIMO                |
|--|---|-----------------------------|
| Absortância solar da cobertura ( $\alpha$ )                  | 0,2   | 0,8                         |
| Absortância solar da parede ( $\alpha$ )                     | 0,2   | 0,8                         |
| Ângulo de Obstrução Vizinha (AOV)                            | 0°  | 80°                         |
| Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)                      | 0°  | 80°                         |
| Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)                        | 0°  | 90°                         |
| Capacidade Térmica da cobertura ( $CT_{\text{cob}}$ )        | 0,22 kJ/ (m <sup>2</sup> .K)                  | 450 kJ/ (m <sup>2</sup> .K) |
| Capacidade Térmica da parede ( $CT_{\text{par}}$ )           | 0,22 kJ/ (m <sup>2</sup> .K)                  | 450 kJ/ (m <sup>2</sup> .K) |
| Contato com o Solo   | Sem contato (Ex: sobre pilotis ou em balanço) | Em contato                  |
| Densidade de Potência de Equipamentos (DPE)                  | 4 W/ m <sup>2</sup>                           | 40 W/ m <sup>2</sup>        |
| Densidade de Potência de Iluminação (DPI)                    | 4 W/ m <sup>2</sup>                           | 40 W/ m <sup>2</sup>        |
| Fator Solar do vidro (FS)                                    | 0,21  | 0,87                        |
| Pé-direito (PD)  | 2,6 m   | 6,6 m                       |
| Percentual de Abertura da Fachada (PAF)                      | 0%  | 80%                         |
| Piso com isolamento  | Não, se isolamento < 5mm                      | Sim, se isolamento > 5mm    |
| Transmitância térmica da cobertura ( $U_{\text{cob}}$ )      | 0,51 W/ (m <sup>2</sup> .K)                   | 5,07 W/ (m <sup>2</sup> .K) |
| Transmitância térmica da parede externa ( $U_{\text{par}}$ ) | 0,50 W/ (m <sup>2</sup> .K)                   | 4,40 W/ (m <sup>2</sup> .K) |
| Transmitância térmica do vidro ( $U_{\text{vid}}$ )          | 1,9 W/ m <sup>2</sup>                         | 5,7 W/ m <sup>2</sup>       |

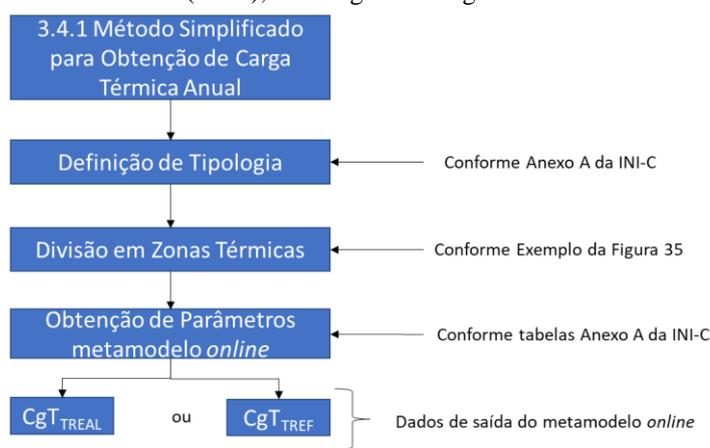
Fonte: INMETRO, 2018.

Pelo método Simplificado, podem ser avaliadas edificações condicionadas artificialmente (total ou parcialmente) e edificações ventiladas naturalmente ou com sistemas de condicionamento híbrido (INMETRO, 2018). Nesse trabalho, uma vez que a edificação em estudo é condicionada artificialmente (parcialmente), foi abordado apenas a avaliação desse tipo de edificação, desconsiderando ventilação natural ou condicionamento híbrido.

### 3.4.1 Método Simplificado para obtenção de Carga Térmica Anual de Refrigeração da Edificação

O desempenho térmico da Envoltória foi avaliado por meio da comparação das Cargas Térmicas Totais anuais da Edificação, para as condições Real ( $CgT_{TREAL}$ ) e de Referência ( $CgT_{TREF}$ ). No método Simplificado, esses termos foram calculados utilizando um metamodelo, aprimorado e finalizado por Versage (2015) e disponibilizado por CB3E (2019e). A Figura 34 ilustra o procedimento a ser seguido para utilização desse metamodelo.

Figura 34 - Fluxograma para cálculo de carga térmica anual por meio de metamodelo *online* baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA), onde  $CgT$  é a Carga Térmica anual.



Fonte: elaborado pelo autor.

O primeiro passo para uso desse metamodelo foi a definição da tipologia da edificação que está sendo analisada, conforme Anexo A da INI-C. Se houvesse mais de uma tipologia para uma mesma edificação, a avaliação deveria ter sido feita separadamente, para cada uma (INMETRO, 2018). Porém, como a tipologia do pavilhão analisado é de escritório, essa separação não foi necessária.

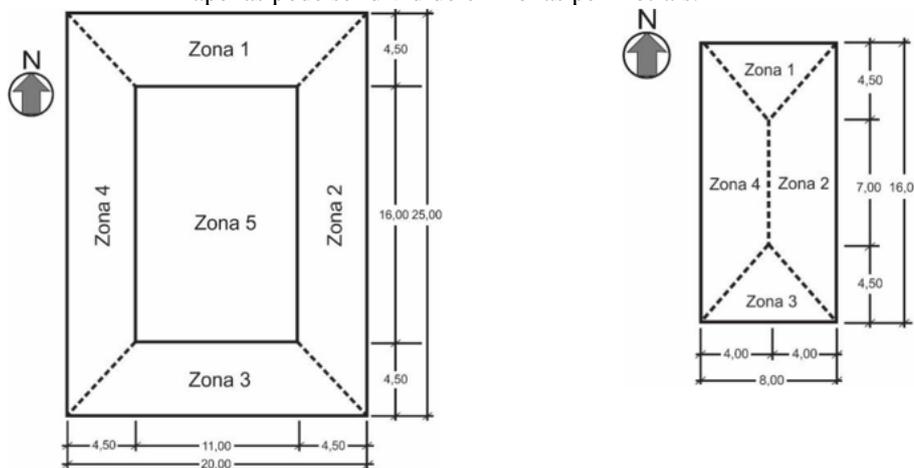
O segundo passo foi a divisão da edificação analisada em zonas térmicas, com o cálculo das áreas de cada zona. Esse procedimento foi feito apenas para as áreas condicionadas

artificialmente, uma vez que as áreas não condicionadas de permanência transitória não devem ser avaliadas pela INI-C (INMETRO, 2018).

As zonas térmicas foram caracterizadas em zonas perimetrais e zonas internas, conforme a Figura 35. As zonas perimetrais são limitadas à espaços de 4,50 m a 5,50 m de profundidade em relação à parede externa, para cada orientação solar do espaço. As zonas internas são localizadas nos espaços com profundidade maior que 4,50 m a 5,50 m em relação às paredes externas, e apenas existem em ambientes com largura ou comprimento superior a 9 m. As zonas térmicas foram ainda divididas considerando as mudanças (INMETRO, 2018):

- no padrão de ocupação do ambiente;
- no tipo e/ou especificação técnica do sistema de Condicionamento de Ar;
- na densidade de Potência de Iluminação e Equipamentos (DPI e DPE);
- no contato com o piso (contato com o solo ou com o exterior);
- no contato com a cobertura (contato com outro cômodo ou com o exterior);
- no contato com a parede (contato com ambientes não condicionados artificialmente).

Figura 35- Exemplo de Divisão de ambientes em zonas térmicas. O primeiro ambiente (esquerda) pôde ser dividido em zonas perimetrais e interna, por ter comprimento e largura superiores a 9 m. O segundo ambiente apenas pôde ser dividido em zonas perimetrais.



Fonte: INMETRO, 2018.

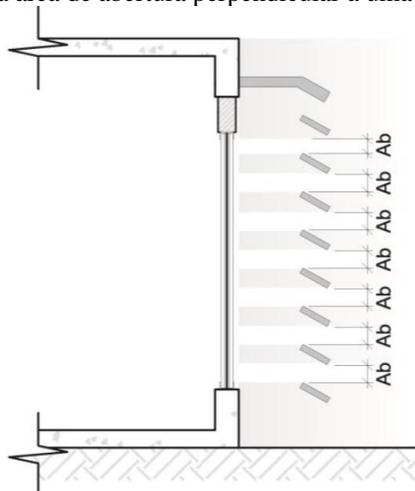
O terceiro passo foi definir os outros parâmetros de entrada do metamodelo, para obtenção, como dado de saída, da carga térmica interna de refrigeração, para as condições Real e de Referência, conforme diretrizes do Anexo A da INI-C para tipologia de escritório (INMETRO, 2018). Os parâmetros levantados, para cada zona térmica, foram:

- a área da zona térmica ( $m^2$ );
- o tipo da zona térmica (perimetral ou interna);
- se existe contato com o solo;
- se a cobertura é voltada para o exterior;

- e) se existe isolamento térmico do piso;
- f) a orientação solar;
- g) as horas de ocupação por dia (h);
- h) a Densidade de Potência de Equipamentos (DPE) – que varia conforme a tipologia e deve-se utilizar o valor tabelado no Anexo A, da INI-C;
- i) densidade de Potência de Iluminação (DPI) – na avaliação geral da edificação, este valor deve ser o real. Na avaliação parcial da Envoltória da edificação, este valor varia conforme a tipologia e deve-se utilizar o valor tabelado no Anexo A, da INI-C;
- j) o Percentual de Abertura de Fachada (PAF);
- k) o Fator Solar (FS) dos vidros utilizados;
- l) a transmitância térmica dos vidros, paredes e coberturas utilizadas ( $W/(m^2K)$ );
- m) a Absortância Solar da cobertura e das paredes externas;
- n) o pé-direito (m);
- o) o Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS);
- p) o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS);
- q) o Ângulo de Obstrução Vertical (AOV), devido a construções vizinhas;
- r) a capacidade térmica da cobertura e das paredes externas ( $kJ/(m^2.K)$ ).

No caso de edificações com proteções solares paralelas à fachada, que é o caso da edificação militar avaliada nesse trabalho, o valor de PAF deve considerar como área de abertura, apenas àquela que permite a entrada de raios solares, conforme Figura 36 (INMETRO, 2018).

Figura 36- Representação de uma abertura em corte com um elemento de proteção solar paralelo à fachada, onde Ab refere-se à área de abertura perpendicular a uma janela.



Fonte: INMETRO, 2018.

O quarto passo foi calcular a carga térmica total anual para refrigeração (dado de saída do metamodelo), para as condições Real e de Referência. Uma vez obtidos esses valores, prosseguiu-se com a classificação energética, conforme já explicado no item 3.3 deste trabalho. A Figura 37 ilustra a interface *web* para preenchimento do metamodelo utilizado.

Figura 37- Detalhes da tela do metamodelo para cálculo da carga térmica.

Fonte: CB3E, 2019d.

### 3.4.2 Método Simplificado para obtenção de Potência Instalada do Sistema de Iluminação da Edificação

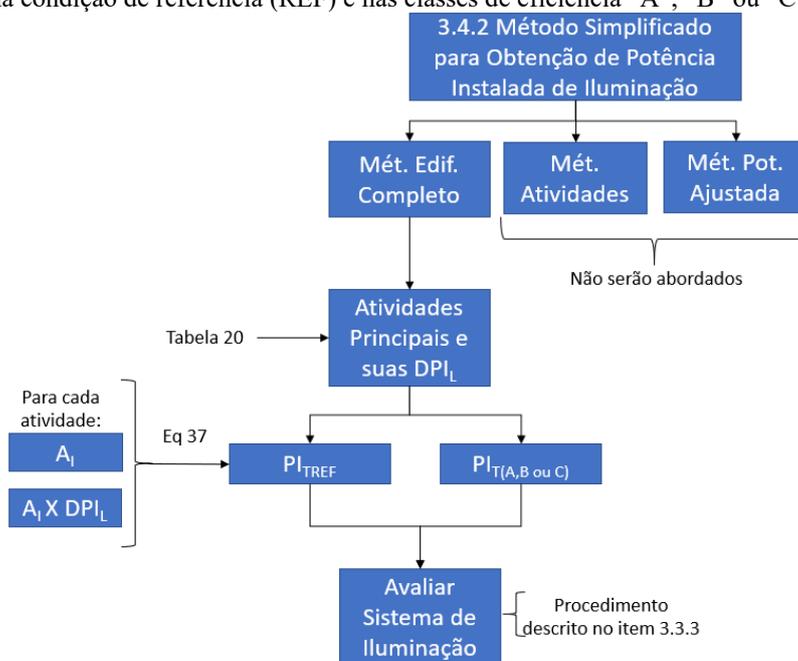
No caso de utilização do método Simplificado da INI-C, há três métodos para cálculo da potência instalada de iluminação. O primeiro, chama-se método do Edifício Completo, que se aplica a edifícios com, no máximo, três atividades principais, ou com atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício (INMETRO, 2018).

O segundo método se chama método das Atividades, e é aplicável em qualquer caso, sendo mais complexo. O terceiro, chama-se método da Potência Ajustada, e aplica-se em conjunto com o método das Atividades, possibilitando uma adaptação na densidade de potência limite de iluminação para ambientes de dimensões reduzidas ou que apresentem necessidades específicas de iluminação. Os dois últimos métodos permitem avaliação apenas parcial da edificação, por exemplo, no caso de edificações com múltiplos proprietários em que apenas um deles quer obter a ENCE do sistema de Iluminação (INMETRO, 2018).

No caso da edificação militar, estudo de caso deste trabalho, objetiva-se uma avaliação total. A edificação também tem uma única atividade principal de escritório, com atividades

secundárias complementares a essa (banheiros, vestiários, depósitos e sala de aula). Por esse motivo, optou-se pelo método do Edifício Completo, e dos três métodos existentes, apenas esse foi descrito nessa pesquisa, conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 38 - Fluxograma com etapas de obtenção de Potência Instalada de Iluminação para posterior avaliação do sistema de Iluminação, onde  $DPI_L$  é a Densidade de Potência de Iluminação na condição limite e  $PI$  a Potência Instalada na condição de referência (REF) e nas classes de eficiência “A”, “B” ou “C”.



Fonte: elaborado pelo autor.

Foram avaliadas as áreas internas e externas (com cobertura) da edificação, iluminadas artificialmente. Excetuaram-se da avaliação sistemas complementares à iluminação geral e com controle independente. No caso de blocos de edificações conectados por uma cobertura (como no estudo de caso deste trabalho), a iluminação dessa cobertura foi contabilizada como área de circulação (INMETRO, 2018).

O primeiro passo do método do Edifício Completo foi identificar as atividades principais da edificação e a DPI limite para a condição de Referência (Classe “D” de EE) e para a condição mais eficiente (Classe “A” de EE). Esses dados foram obtidos na Tabela B.III.35 da INI-C (a Tabela 20 é um extrato dessa tabela apenas com as atividades da edificação militar analisada nesse trabalho). As atividades secundárias à principal, foram agrupadas à principal, para fins de avaliação do sistema de Iluminação (INMETRO, 2018).

Tabela 20 – Valores de Densidade de Potência de Iluminação Limite ( $DPI_L$ ) para classe de EE pretendida – método do Edifício Completo da INI-C. Abaixo estão expressas apenas as atividades do Pavilhão Militar avaliado, sendo as demais disponíveis na INI-C ocultadas nessa tabela.

| FUNÇÃO DO EDIFÍCIO  | $DPI_L$<br>CLASSE “A”<br>(W/m <sup>2</sup> ) | $DPI_L$<br>CLASSE<br>“B”<br>(W/m <sup>2</sup> ) | $DPI_L$<br>CLASSE<br>“C”<br>(W/m <sup>2</sup> ) | $DPI_L$<br>CLASSE “D”<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--|---|---|--|
| Academia            | 7,0  | 9,3   | 11,5  | 13,8   |
| Escola/universidade | 8,7  | 11,0  | 13,2  | 15,5   |
| Escritório          | 8,5  | 10,4  | 12,2  | 14,1   |

Fonte: adaptado de INMETRO, 2018.

O segundo passo foi determinar a Área Iluminada ( $A_I$ ) para cada uma das atividades da edificação separadamente. Para cada atividade, multiplicou-se a respectiva área iluminada pela  $DPI$  Limite de Referência ( $DPI_{LREF}$ , ou seja, Classe “D” de EE), para encontrar a potência limite de cada atividade, na condição de Referência. Em seguida, as potências limites de todas as atividades foram somadas para obtenção da Potência Total Instalada na condição de Referência ( $PI_{TREF}$ ). O mesmo procedimento foi aplicado para condição mais eficiente (classe “A” de EE), obtendo-se a  $PI_{TA}$  (INMETRO, 2018). A Equação (37) do Anexo expressa esse cálculo.

O terceiro passo foi determinar a classe de EE do sistema de Iluminação, que é obtida pela comparação do valor da Potência Instalada Total da Edificação com o valor da Potência Instalada Total Limite na classe “A”, “B”, “C” ou “D”. Se o valor for menor que o valor limite de determinada classe, dá-se a classificação, conforme foi apresentado no item 3.3.3 deste trabalho.

### **3.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C NO PROJETO EM ESTUDO**

No item 3.3 deste trabalho, foram abordadas as etapas de avaliação de EEE, independente se está sendo aplicado o método Simplificado ou o método de Simulação da INI-C. Nesta seção 3.5, serão apresentados os procedimentos de avaliação, especificamente, na aplicação do método de Simulação.

Recomenda-se o uso do método de Simulação para edificações com formas complexas, que possuam aberturas zenitais, dispositivos de sombreamento móveis, elevada carga interna, vidros com comportamento dinâmico. Ou ainda para edificações cujos parâmetros construtivos não atenderam à Tabela 19 e à Tabela 1 da INI-C (INMETRO, 2018).

A edificação militar em estudo não apresenta essas características complexas e atende todos os limites da Tabela 19. Optou-se, porém, por utilizar simulação termoenergética para uma análise mais detalhada de desempenho energético da edificação.

Por meio de alguns *softwares* de simulação, foram obtidos o consumo final de energia elétrica dos sistemas individuais (Condicionamento de Ar, Iluminação e Equipamentos Instalados), nas condições Real e de Referência (INMETRO, 2018).

Comparando o consumo primário (simulado) do edifício Real (modelo com características da edificação real), com o edifício de Referência (modelo com características de referência, obtidas no Anexo A, da INI-C), foi obtida a classificação energética da edificação, conforme item 3.3 deste trabalho.

### **3.5.1 Softwares de simulação termoenergética de edificações utilizados**

Segundo a INI-C, podem ser utilizadas diversas ferramentas de simulação, desde que atendam os seguintes requisitos (INMETRO, 2018):

- a) ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- b) ser validado pela ASHRAE *Standard* 140;
- c) modelar 8.760 horas por ano;
- d) modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- e) modelar efeitos de inércia térmica;
- f) permitir a modelagem de multizonas térmicas;
- g) ter capacidade de simular os efeitos das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- h) permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar utilizados na edificação;
- i) determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- j) calcular as horas não atendidas pelo sistema de condicionamento de ar;
- k) calcular as curvas de desempenho de carga parcial para o sistema de condicionamento de ar;
- l) calcular as curvas de correção de capacidade e eficiência para o sistema de aquecimento e resfriamento;
- m) permitir modelar todos os dados de entrada referente ao funcionamento da ventilação natural na edificação, caso a edificação proposta utilize ventilação natural;
- n) produzir relatórios horários do uso final de energia.

Para aplicação em larga escala pelo EB, além de atender esses requisitos, uma ferramenta deve ser de fácil aplicação e de menor custo possível. Também é importante que haja possibilidade de interoperabilidade com os *softwares* já utilizados em projetos militares.

Uma vez que os projetos do EB são elaborados em *Autodesk Revit*, inclusive o projeto do Pav CCAp em estudo, e que há limitações para utilização do *Revit* para simulação termoenergética de edificações (QUEIRÓZ *et al.*, 2015), foram analisadas opções de ferramentas de simulação que permitam interoperabilidade com o *Revit*.

O *software* de simulação *DesignBuilder* apresentou, além de boa capacidade de interoperabilidade com o *Revit*, excelente interface gráfica e facilidade de aprendizado pelo usuário. No *software*, também foi possível modelar a edificação estudada, para posterior simulação termoenergética, que facilita o processo quando o projeto não é previamente elaborado em outros *softwares*.

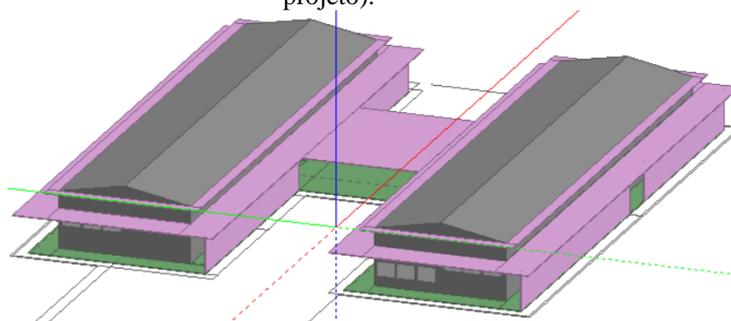
Uma vez que o *DesignBuilder* é pago, como mencionado na Revisão Bibliográfica, foi buscado como alternativa o uso da ferramenta de simulação *EnergyPlus*, que é gratuita, mas apresenta interoperabilidade com o *Revit* bastante complicada, conforme já expresso no item 2.4.3.3 deste trabalho.

Nessa pesquisa, portanto, não se estudou a interoperabilidade entre *Revit* e *EnergyPlus*. Mas uma vez que o *EnergyPlus* é gratuito, visando economicidade à Administração Pública, foi avaliado seu uso junto a outros programas, que facilitem a modelagem e caracterização do modelo: *SketchUp* e *OpenStudio*.

Em síntese, com o intuito de identificar um conjunto de ferramentas e metodologias mais adequadas à simulação termoenergética de edificações militares, foram analisadas três combinações:

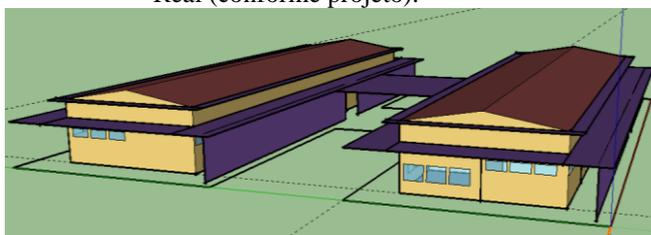
- a) modelagem, caracterização e simulação termoenergética no *software DesignBuilder* versão 6.1.0.006, que utiliza como algoritmo o *EnergyPlus* versão 8.9.0.001 (Figura 39);
- b) modelagem no *software SketchUp* versão *Pro 2017* e no *software OpenStudio* versão 2.8.0, e caracterização e simulação termoenergética no *software EnergyPlus* versão 9.1.0 (Figura 40);
- c) modelagem no *software Revit 2019*, caracterização e simulação termoenergética no *software DesignBuilder* versão 6.1.0.006 (Figura 41).

Figura 39 - Modelagem na ferramenta de desenho do *software DesignBuilder*, na condição Real (conforme projeto).



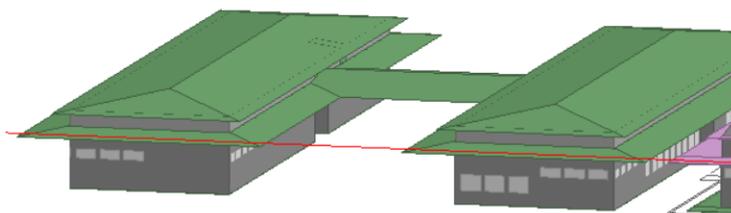
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 40 - Modelagem no *software SketchUp* para posterior simulação no *software EnergyPlus*, na condição Real (conforme projeto).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 41 - Modelagem no *software Revit* após exportação para simulação no *software DesignBuilder*, na condição Real (conforme projeto).



Fonte: elaborado pelo autor.

Primeiramente, foi realizada uma análise utilizando as duas primeiras combinações para definição de qual arquivo climático, de qual tipo de modelagem de cobertura e de qual tipo de objeto de modelagem do sistema de condicionamento melhor se adequa à edificação em estudo. Tendo definido todos esses parâmetros, processou-se a terceira combinação (já com os parâmetros mais adequados ao estudo), que integra BIM e simulação termoenergética de edificações.

### 3.5.2 Arquivos Climáticos utilizados

Segundo a INI-C, podem ser utilizadas diferentes arquivos climáticos, desde que atendam as seguintes características (INMETRO, 2018):

- a) fornecer dados horários de parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação adotado, como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento, e radiação solar;
- b) representar os dados climáticos, dos grupos climáticos onde o projeto analisado será construído. Caso o local não possua arquivo climático, deve-se utilizar dado climático de região próxima com características semelhantes;
- c) utilizar, de preferência, arquivos climáticos no formato INMET publicados em LabEEE/UFSC (2019). Caso contrário, o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

Inicialmente, foi utilizado o arquivo climático sugerido pela INI-C, que é o “INMET 2016” (LABEEE/UFSC, 2019a). Porém, percebeu-se que os valores anuais de carga térmica de resfriamento obtidos por simulação foram menores que aqueles obtidos utilizando o metamodelo do método Simplificado. Suspeitou-se, portanto, que o arquivo climático utilizado para treinamento do metamodelo no caso da cidade de Campo Grande, MS, poderia não ser o “INMET 2016”.

Se o objetivo fosse apenas comparar o consumo energético do edifício Real com o de Referência, dentro de um mesmo método (Simplificado ou de Simulação), poder-se-ia adotar os arquivos INMET, uma vez que o que importa para obtenção de ENCE é a diferença percentual entre esses consumos. Entretanto, nesse trabalho, procura-se comparar os resultados obtidos pelo método Simplificado e de Simulação, o que exigiu uma investigação mais aprofundada.

No treinamento do metamodelo do método Simplificado da INI-C, Versage (2015) utilizou arquivo climático do tipo *Test Reference Year* (TRY) para a cidade de Florianópolis, SC. Entretanto, o autor não menciona qual arquivo climático foi utilizado para realizar o treinamento, para cada uma das cidades que são permitidas como dado de entrada do metamodelo. A cidade de Campo Grande, MS, por exemplo, nem dispõe de arquivos TRY.

Em pesquisa bibliográfica sobre o uso do metamodelo para outras cidades, também não foram encontrados resultados sobre qual tipo de arquivo climático foi utilizado para treinamento da RNA. Foi realizado contato com o CB3E por correio eletrônico. Responderam que, para casos em que se quer comparar o método Simplificado com o de Simulação da INI-C, deve se utilizar o arquivo climático que ofereça resultados de consumo energético anual mais próximos pelos dois métodos.

Para Campo Grande, MS, além do “INMET 2016”, é disponibilizado o arquivo “SWERA” (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), no mesmo formato EPW

(*EnergyPlus weather format*) do TRY e no mesmo endereço eletrônico utilizado por Versage (2015), ou seja, LABEEE/UFSC (2019b).

Comparando-se os dois arquivos climáticos, foram observadas variações nos valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e irradiação solar, conforme Figura 42 e Figura 43, para “SWERA” e “INMET 2016”, respectivamente.

As médias horárias anuais de Temperatura de Bulbo Seco, de Umidade Relativa, de Radiação Solar Global Horizontal e de Radiação Solar Direta Normal são, respectivamente, 2,53%; 4,06%; 6,34%; e 138,54% maiores no arquivo climático “SWERA” que no “INMET 2016”.

Diante do impasse na escolha do arquivo climático a ser utilizado para cidade estudada, decidiu-se, portanto, avaliar o uso de ambos nesse trabalho.

Figura 42 – Médias diárias de Temperatura de Bulbo Seco, Radiação Solar Direta e Global, e Umidade Relativa de Campo Grande, MS (“SWERA”). O eixo “x” representa os meses e as horas do dia.

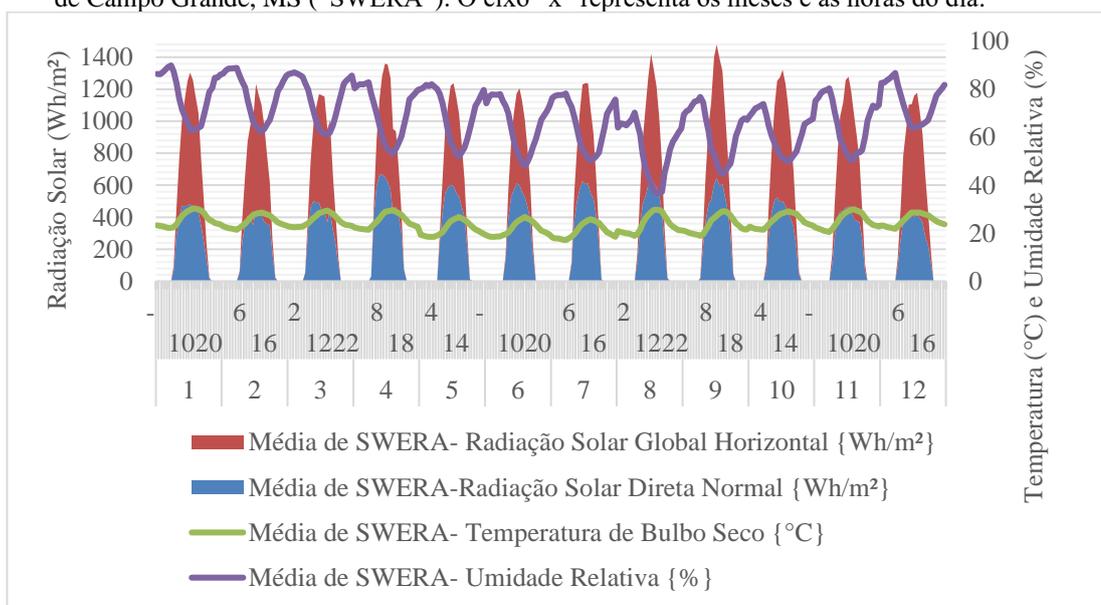
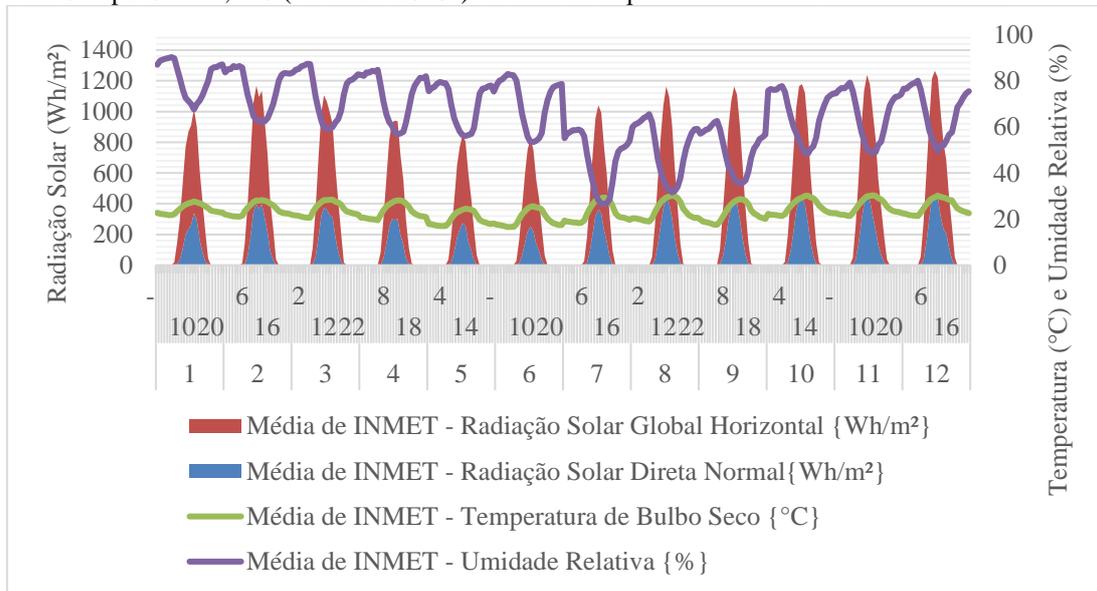


Figura 43 – Médias diárias de Temperatura de Bulbo Seco, Radiação Solar Direta e Global, e Umidade Relativa de Campo Grande, MS (“INMET 2016”). O eixo “x” representa os meses e as horas do dia.



Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.5.3 Características de uso e ocupação da edificação estudada

O Pav CCAp do 9º B COM GE foi planejado para ocupação de um efetivo de 108 militares, 103 do sexo masculino e 05 do sexo feminino. Adotou-se a densidade de ocupação da edificação típica de um escritório de baixa ocupação, que é de 0,1 pessoa/m<sup>2</sup> ou 10 m<sup>2</sup>/pessoa, conforme Anexo A da INI-C, tanto na condição Real como na de Referência (INMETRO, 2018).

Como os ocupantes desempenham atividades de escritório, considerou-se o total de ganho de calor por pessoa de 120 W, condizente com essa atividade. Fixou-se a fração radiante dos ganhos de calor sensível pelas pessoas em 30% (fração de energia emitida pelos ocupantes por radiação de ondas longas), sendo o restante de 70% assumido como carga térmica por convecção (VERSAGE, 2015).

Foi considerada a ocupação nos horários de 08h00min às 18h00min, de segunda a sexta, nos quais funcionam o sistema de Iluminação e os Equipamentos, com 100% de carga de cada ganho térmico interno em todas as horas de uso (VERSAGE, 2015). Os fins de semana foram considerados sem ocupação. Este tipo de utilização está de acordo com o padronizado no Anexo A da INI-C (INMETRO, 2018) para edificações de escritório (10 horas por dia e 260 dias por ano), tanto na condição Real quanto na condição de Referência.

### 3.5.4 Características da Envoltória, dos Equipamentos Instalados, do sistema de Iluminação e do sistema de Condicionamento de Ar da edificação estudada

Esta seção 3.5.4 explicita os dados da edificação que foram levantados especificamente para o processamento das simulações deste trabalho. Os dados foram apresentados tanto para a modelagem na condição Real, quanto para modelagem na condição de Referência.

Em resumo, a modelagem na condição Real seguiu as características conforme projeto e especificação técnica da edificação estudada. Já a modelagem na condição de Referência seguiu o previsto no Anexo A da INI-C para edificações de escritório, conforme Tabela 21.

Tabela 21 – Valores para avaliação energética de edificações de escritórios pela INI-C.

| CLASSE  | VARIÁVEIS   | REFERÊNCIA               |
|---|---|--------------------------|
| <b>Geometria</b>  | Forma   | Condição Real            |
|   | Orientação Solar (°)  | Condição Real            |
|   | Pé-direito (m)  | Condição Real            |
|   | AHS - Ângulo Horizontal de Sombreamento (°)                             | 0                        |
|   | AVS - Ângulo Vertical de Sombreamento (°)                               | 0                        |
|   | AOV - Ângulo de Obstrução Vertical (°)                                  | Condição Real (opcional) |
| <b>Aberturas</b>  | PAF - Percentual de Abertura da Fachada (%)                             | 50,00                    |
|   | PAZ - Percentual de Abertura Zenital (%)                                | 0,00                     |
| <b>Componentes Construtivos</b>                               | $U_{par}$ - transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K) paredes externas | 2,39                     |
|   | $\alpha_{par}$ - absorvância térmica (adimensional) paredes externas    | 0,50                     |
|   | $CT_{par}$ - Capacidade Térmica (kJ/m <sup>2</sup> K) paredes externas  | 150,00                   |
|   | $U_{cob}$ - transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K) cobertura        | 2,06                     |
|   | $\alpha_{cob}$ - absorvância térmica (adimensional) cobertura           | 0,80                     |
|   | $CT_{cob}$ - Capacidade Térmica (kJ/m <sup>2</sup> K) cobertura         | 233,00                   |
|   | FS - Fator Solar (adimensional) vidros                                  | 0,82                     |
| $U_{vid}$ - transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K) vidros | 5,70  |                          |
| <b>Iluminação e ganhos</b>                                    | DPI - Densidade de Potência de Iluminação (W/m <sup>2</sup> )           | 14,10                    |
|   | Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)                                       | 10,00                    |
|   | DPE - Densidade de Potência de Equipamentos (W/m <sup>2</sup> )         | 9,70                     |
|   | Horas de ocupação (horas)   | 10,00                    |
|   | Dias de ocupação ( $N_{ano}$ )  | 260,00                   |
|   | Condição do piso  | Condição Real            |
|   | Condição da cobertura   | Condição Real            |
|   | Isolamento do piso  | Sem isolamento           |
| <b>Condicionamento de Ar</b>                                  | COP - Coeficiente de Performance (W/W)                                  | 2,60                     |
|   | Temperatura <i>setpoint</i> (°C)  | 24,00                    |

Fonte: INMETRO (2018).

A modelagem geométrica da edificação na condição Real foi feita conforme projeto do pavilhão estudado. Ou seja, a volumetria da edificação, o tamanho e posicionamento de janelas,

elementos de sombreamento, os materiais utilizados na cobertura e nos fechamentos externos seguiram rigorosamente o previsto nas Plantas e nas Especificações Técnicas da edificação militar avaliada.

Na modelagem na condição de Referência, as mudanças nesse aspectos geométricos se resumiram à eliminação de todos os elementos de sombreamento, à fixação de um percentual de abertura de fachada de 50% e à substituição de materiais de cobertura e de fechamentos externos, conforme Tabela 21.

No caso das paredes externas da modelagem da edificação de Referência, foi considerada uma estrutura composta por argamassa externa de espessura 2,50 cm, bloco cerâmico de espessura 1,34 cm, câmara de ar de espessura 6,32 cm e resistência térmica de 0,175 m<sup>2</sup>K/W, bloco cerâmico de espessura 1,34 cm e argamassa interna de espessura 2,50 cm, respectivamente, da camada mais externa para mais interna. A argamassa interna e externa foi modelada com condutividade térmica de 1,15 W/(m.K), massa específica aparente de 2000 kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1000 J/(kg.K). O bloco cerâmico foi modelado com condutividade térmica de 0,90 W/(m.K), massa específica aparente de 1600 kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 920 J/(kg.K). A adoção desses valores de referência é fixada no Anexo A da INI-C (INMETRO, 2018).

No caso da cobertura da modelagem na condição de Referência, foi considerado o uso de um sistema formado por telha de fibrocimento com espessura de 0,80 cm, câmara de ar com espessura maior que 5,00 cm e com resistência térmica de 0,210 m<sup>2</sup>K/W, e laje de concreto com espessura de 10,00 cm, da camada mais externa para mais interna. A telha de fibrocimento foi modelada com condutividade térmica de 0,95 W/(m.K), peso específico aparente de 1900 kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 840 J/(kg.K). A laje de concreto foi modelada com condutividade térmica de 1,75 W/(m.K), peso específico aparente de 2200 kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1000 J/(kg.K), conforme Anexo A da INI-C (INMETRO, 2018).

Para obtenção do consumo energético simulado dos Equipamentos Instalados e do sistema de Iluminação (na condição Real e de Referência), fixou-se a fração radiante das cargas internas do sistema de Iluminação e dos Equipamentos em 72% e a fração convectiva em 10%, sendo o restante de 18% a fração visível das lâmpadas ou a fração de trabalho dos Equipamentos, o que está de acordo com Versage (2015).

Para cálculo do consumo energético oriundo dos Equipamentos Instalados, utilizou-se o valor de densidade previsto no Anexo A da INI-C para edificações de escritório, que é de 9,7 W/m<sup>2</sup> em cada ambiente de permanência prolongada, para as condições Real e de Referência. Para Iluminação, na condição Real, utilizou-se a potência prevista no projeto elétrico e, na

condição de Referência, o valor previsto no Anexo A da INI-C para edificações de escritório, que é de 14,1 W/m<sup>2</sup>. No caso do sistema de Iluminação, foram considerados todos os ambientes, de permanência transitória e prolongada, como previsto (INMETRO, 2018).

Como esse trabalho prevê a avaliação de três combinações de modelagem e simulação (com diferentes *softwares*), há diferenças na área de piso em cada uma que podem influenciar no consumo final dos sistemas. Para minimizar divergências, em todas as modelagens, optou-se por utilizar valores de ocupação, de equipamentos e de iluminação em números absolutos, não em densidade. Os valores absolutos foram obtidos pela multiplicação das densidades pela área de piso de cada ambiente de permanência prolongada, sendo inseridos em cada *software* de simulação utilizado.

Para modelagem e cálculo do consumo energético simulado do sistema de Condicionamento de Ar, desconsiderou-se infiltração de ar, em todas as zonas térmicas. Apenas para as lajes técnicas, uma vez que dispõem de telas que permite trocas de ar, considerou-se 5 trocas térmicas por hora. Os aparelhos de condicionamento de ar utilizados no projeto (condição Real) são do tipo *Split* e coincidem também com o previsto na INI-C para a condição de Referência em edifícios de área útil menor que 11.000 m<sup>2</sup> (INMETRO, 2018).

O *setpoint* para funcionamento do sistema de Condicionamento de Ar é de 24°C, conforme Anexo A da INI-C. Considerou-se temperatura de insuflamento de 13°C, ou seja, com 11°C de diferença para a temperatura de controle do ar (*setpoint*). A taxa de renovação do ar foi fixada em 3 trocas de ar por hora, próximo ao sugerido na NBR 16401-Parte 3 (ABNT, 2008) para escritórios de baixa densidade, com nível intermediário da vazão de ar exterior para ventilação (nível 2). Tais definições estão de acordo com a Tabela 22 (INMETRO, 2018).

Tabela 22 – Características gerais do sistema de Condicionamento de Ar para o modelo de simulação do edifício Real e de Referência.

| CARACTERÍSTICAS             | DESCRIÇÃO   |
|-----------------------------|---|
| Capacidade                  | A capacidade do sistema deve ser superdimensionada para que, no máximo, 10% das horas não sejam atendidas. Adotar 15% para resfriamento e 25% para aquecimento.   |
| Temperatura de insuflamento | Considerar com 11°C de diferença para a temperatura de controle do ar ( <i>setpoint</i> ) da zona térmica.  |
| Vazão de ar externo         | Adotar as taxas de renovação de ar indicadas na NBR 16.401-3, conforme o tipo de atividade de cada zona térmica. Considerar ar externo admitido diretamente da casa de máquinas do sistema de insuflamento, ou seja, desconsiderar potência elétrica para ventilação de ar externo e para exaustão de ar interno. |
| Eficiência                  | Adotar classe “A” de EE para todos os equipamentos do sistema.  |

Fonte: INMETRO (2018).

Desconsiderou-se a potência elétrica para ventilação de ar externo e exaustão de ar interno. A capacidade do sistema de condicionamento de ar foi superdimensionada com 15% para resfriamento e 25% para aquecimento, conforme Tabela 22. Foram considerados ventiladores com pressão estática total de 250 Pa e eficiência de 65%, com vazão de ar constante, conforme Tabela 23 (INMETRO, 2018).

Tabela 23 – Características específicas do sistema de Condicionamento de Ar para o modelo de simulação do edifício Real e de Referência.

| <b>SISTEMA DE<br/>CONDICIONAMENTO<br/>DE AR</b>           | <b>CARACTERÍSTICAS</b>                             | <b>DESCRIÇÃO</b>  |
|---|--|---|
| Expansão direta,<br><i>split</i> , ou condensação<br>a ar | Quantidade de sistemas de<br>Condicionamento de Ar | Definir um sistema para cada zona térmica.  |
|   | Potência de ventilação                             | Modelar ventilação independente do COP.<br>Considerar ventiladores com pressão estática<br>total de 250 Pa e eficiência de 65%, com vazão<br>de ar constante. |

Fonte: modificado de INMETRO, 2018.

Para avaliação do sistema de Condicionamento de Ar, a única diferença da modelagem na condição Real para modelagem na condição de Referência foi o valor do coeficiente de eficiência energética do sistema. Na condição Real, foi utilizado o COP dos sistemas adotados no projeto (3,24). Na condição de Referência, foi utilizado o COP referente à ENCE classe “D” (2,60), conforme prevê o Anexo A da INI-C para edificação de escritório, explicitado na Tabela 21 (INMETRO, 2018).

### **3.6 COMPARAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C E DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C PARA O ESTUDO DE CASO**

Conforme mencionado, o pavilhão em estudo foi avaliado pelo método Prescritivo do RTQ-C, com obtenção de ENCE Geral de Projeto e ENCE Parcial para Envoltória, para o sistema de Condicionamento de Ar e para o sistema de Iluminação (RACHID, 2018).

Neste novo trabalho, foi aplicado o método Simplificado da INI-C, para obtenção de ENCE Geral de Projeto e para obtenção de ENCE Parcial de Envoltória, do sistema de Condicionamento de Ar, do sistema de Iluminação, e do sistema de Aquecimento de Água.

Foi possível, portanto, comparar os procedimentos de avaliação e as ENCE obtidas pelo método novo (INI-C) e antigo (RTQ-C), no estudo de caso específico do Pav CCAp. Foram também pontuadas as vantagens e melhorias observadas na nova metodologia em relação à

anterior, e as dificuldades que foram encontradas na aplicação da INI-C (erros no seu método e omissões que dificultam a avaliação).

Essa análise comparativa, que ainda não foi realizada em massa no meio acadêmico devido a INI-C ainda estar em elaboração, representou uma contribuição científica desta etapa do estudo (PIMENTEL; BARBOSA, 2020).

### **3.7 COMPARAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C E DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C PARA O ESTUDO DE CASO**

Foi realizada a avaliação de EEE do Pav CCAp, tanto pelo método Simplificado, quanto pelo método de Simulação da INI-C. Foram obtidos os seguintes parâmetros, para cada um dos métodos:

- a) carga térmica anual de refrigeração;
- b) consumo energético anual do sistema de Condicionamento de Ar;
- c) consumo energético anual do sistema de Iluminação;
- d) consumo energético anual dos Equipamentos Instalados;
- e) consumo energético do sistema de Aquecimento de Água;
- f) ENCE Geral de Projeto.

Foram observadas diferenças entre esses parâmetros, quando aplicados cada um dos métodos. Para explicar as diferenças e para procurar condições que as reduzam (aproximem os resultados obtidos pelo método Simplificado e pelo método de Simulação), alguns cenários de avaliação foram definidos. O objetivo disso é determinar se os métodos são compatíveis.

Para aplicação do método Simplificado, foi utilizado o metamodelo baseado em RNA (CB3E, 2019d). Para aplicação do método de Simulação, foram utilizados inicialmente os *softwares EnergyPlus* e *DesignBuilder*, com algumas diferenças de modelagem.

Para modelagem do sistema de Condicionamento de Ar por simulação, foram testados os objetos “*IdealLoads*” e “*Packaged Terminal Air Conditioner (PTAC)*”. Esses são objetos disponibilizado pelo *EnergyPlus* (e pelo *DesignBuilder*) que permitem simulação energética do sistema de condicionamento de ar.

O “PTAC” considera uma modelagem conjunta (para uma simulação automaticamente coordenada) de um dispositivo misturador de ar externo, de dispositivos de resfriamento de expansão direita e de um ventilador, permitindo a obtenção como dado de saída, por exemplo, do consumo energético anual do sistema (com COP real variável em função da operação do sistema) e da carga térmica anual (DOE, 2019).

Já o “*IdealLoads*” considera a modelagem de um sistema ideal de condicionamento de ar que seria capaz de atender todos os parâmetros definidos (e.g. *setpoint* e umidade do ar) sem consumir energia, sendo utilizado frequentemente para obtenção de carga térmica em situações nas quais se quer prever o desempenho energético de uma edificação sem se modelar um sistema de condicionamento de ar específico (DOE, 2019). Pelo uso do “*IdealLoads*”, conforme prevê a INI-C (INMETRO, 2018), pode-se obter indiretamente uma previsão de consumo energético, pela divisão da carga térmica obtida (por simulação) pelo valor médio do COP (fixo), divisão essa feita pelo próprio usuário.

A modelagem por cada um desses objetos exige alguns parâmetros de entrada específicos, dentre os quais os principais estão expressos na Tabela 24.

Tabela 24 – Dados de entrada do objeto “PTAC” e do “*IdealLoads*” para modelagem de sistema de Condicionamento de Ar.

| PARÂMETRO  | IDEALLOADS   | PTAC   |
|--|--|--|
| Mesma condição   | Modelagem de um sistema para cada Zona Térmica                                   |  |
|  | <i>Setpoint</i> (24°C)   |  |
|  | Disponibilidade do sistema de aquecimento (sempre desligado)                     |  |
|  | Disponibilidade do sistema de resfriamento (8h00min-18h00min de segunda a sexta) |  |
|  | Temperatura mínima de insuflamento de ar para resfriamento (13°C)                |  |
|  | Método de cálculo de vazão externa de ar (Vazão por área)                        |  |
|  | Vazão externa de ar por área (0,0004 m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup> )          |  |
|  | Controle de insuflamento de ar constante   |  |
| Umidade mínima de insuflamento de ar para resfriamento           | 0,0077 kg água/kg ar Seco  | Não se aplica                                    |
| Fator de dimensionamento de resfriamento                         | Sem limite   | 1,15   |
| Auto dimensionamento   | Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /s)  | Capacidade (W) e fluxo de ar (m <sup>3</sup> /s) |
| Posicionamento dos ventiladores para insuflamento                | Não se aplica  | <i>Drawthrough</i>                               |
| Eficiência total dos ventiladores para insuflamento de ar        | Não se aplica  | 65%  |
| Pressão de ar dos ventiladores para insuflamento                 | Não se aplica  | 250 Pa   |
| Eficiência do motor dos ventiladores para insuflamento           | Não se aplica  | 90%  |
| COP médio do sistema bruto de refrigeração                       | Não se aplica  | 3,24   |
| Tipo do sistema bruto de refrigeração                            | Não se aplica  | Elétrico   |
| Diferença de temperatura de insuflamento de ar para resfriamento | Não se aplica  | 11°C   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Devido a diferenças de resultados entre os arquivos climáticos (seção 3.5.2), foram realizadas simulações com arquivo climático “SWERA” e “INMET 2016”.

A edificação em estudo apresenta uma laje técnica de 1,6 m de altura, acima da laje e abaixo do telhado, com aberturas que permitem circulação de ar. Uma vez que o efeito de tal elemento não pode ser avaliado pelo método Simplificado (no metamodelo deve-se preencher apenas um valor de transmitância térmica e capacidade térmica da cobertura), há possibilidade de ele ser um causador de diferenças observadas entre o método de Simulação e o método Simplificado. Assim, optou-se por modelar (nas simulações) a cobertura de três formas:

- a) modelando tal como no projeto (laje técnica atuando como Zona Térmica- ZT);
- b) eliminando a laje técnica e considerando o teto de todas as zonas térmicas como um Componente Equivalente (Comp Equiv) de mesmas propriedades térmicas da cobertura de projeto. Esse componente foi formado por camadas uniformes, sobrepostas da seguinte forma: laje de espessura 12 cm com EPS (argamassa com espessura 1 cm + camada de EPS espessura 7 cm + concreto com espessura 4 cm) + Camada de Ar (espessura de 1,6 m) + Telha termoacústica TB-30 (lâmina de alumínio de 1 cm de espessura + camada de poliuretano de 4 cm de espessura + lâmina de alumínio de 1 cm de espessura), da camada mais interna para a mais externa, nessa ordem;
- c) considerando o teto de todas as zonas térmicas como um elemento adiabático formado por uma laje de espessura 12cm com EPS (argamassa com espessura 1 cm + camada de EPS espessura 7 cm + concreto com espessura 4 cm, da camada mais interna para a mais externa, nessa ordem). Esta maneira visa emular um pavimento intermediário que não tenha a cobertura em contato com o exterior, a qual seria uma das interpretações possíveis para a consideração do pavimento nas análises energéticas.

No método Simplificado, a modelagem adotada para os casos “a” e “b” foi de um material equivalente à cobertura nº 19, do Anexo V da Portaria INMETRO nº 50/2013, com transmitância térmica de 0,53 W/m<sup>2</sup>K e capacidade térmica de 176 kJ/m<sup>2</sup>K (INMETRO, 2013b). A modelagem adotada para o caso “c” foi de uma cobertura caracterizada como sem contato com o exterior (adiabática) e, ao selecionar essa opção no metamodelo, não é possível preencher dados de transmitância, capacidade térmica e absorvância da cobertura (CB3E, 2019d).

A modelagem das paredes no metamodelo também deve ser realizada com preenchimento dos valores de transmitância térmica e capacidade térmica. Por isso, foi adotado em todos os casos as paredes externas equivalentes ao modelo nº 41, do Anexo V da Portaria

INMETRO n° 50/2013, com transmitância térmica de 2,39 W/m<sup>2</sup>K e capacidade térmica de 151 kJ/m<sup>2</sup>K (INMETRO, 2013b).

No total, foram avaliados 52 cenários, conforme a Tabela 25, comparando o resultado de carga térmica de resfriamento, de consumo energético simulado e de ENCE obtida por cada um. Assim, pode ser verificada a diferença entre os resultados obtidos pela aplicação do método Simplificado e de simulação da INI-C, nessa mesma edificação, determinando se os métodos são compatíveis. Ainda, pode-se apontar as configurações (objetos de modelagem de sistema de Condicionamento de Ar, arquivos climáticos e modelos de cobertura) que aproximam os resultados. Na Tabela 25, estão destacados com mesma cor os cenários para os quais se esperam resultados mais próximos.

Tabela 25 - Cenários avaliados, onde RNA refere-se ao método Simplificado, E+ ao *software EnergyPlus*, e DB, ao *software DesignBuilder*.

| ID | MODELO     | FERRAMENTA | COBERTURA  | ARQUIVO CLIMÁTICO | HVAC       |
|----|------------|------------|------------|-------------------|------------|
| 1  | REAL       | RNA        | Comp Equiv |                   |            |
| 2  | REAL       | RNA        | Adiabática |                   |            |
| 3  | REAL       | E+         | ZT         | SWERA             | IdealLoads |
| 4  | REAL       | E+         | Comp Equiv | SWERA             | IdealLoads |
| 5  | REAL       | E+         | Adiabática | SWERA             | IdealLoads |
| 6  | REAL       | E+         | ZT         | INMET             | IdealLoads |
| 7  | REAL       | E+         | Comp Equiv | INMET             | IdealLoads |
| 8  | REAL       | E+         | Adiabática | INMET             | IdealLoads |
| 9  | REAL       | E+         | ZT         | SWERA             | PTAC       |
| 10 | REAL       | E+         | Comp Equiv | SWERA             | PTAC       |
| 11 | REAL       | E+         | Adiabática | SWERA             | PTAC       |
| 12 | REAL       | E+         | ZT         | INMET             | PTAC       |
| 13 | REAL       | E+         | Comp Equiv | INMET             | PTAC       |
| 14 | REAL       | E+         | Adiabática | INMET             | PTAC       |
| 15 | REAL       | DB         | ZT         | SWERA             | IdealLoads |
| 16 | REAL       | DB         | Comp Equiv | SWERA             | IdealLoads |
| 17 | REAL       | DB         | Adiabática | SWERA             | IdealLoads |
| 18 | REAL       | DB         | ZT         | INMET             | IdealLoads |
| 19 | REAL       | DB         | Comp Equiv | INMET             | IdealLoads |
| 20 | REAL       | DB         | Adiabática | INMET             | IdealLoads |
| 21 | REAL       | DB         | ZT         | SWERA             | PTAC       |
| 22 | REAL       | DB         | Comp Equiv | SWERA             | PTAC       |
| 23 | REAL       | DB         | Adiabática | SWERA             | PTAC       |
| 24 | REAL       | DB         | ZT         | INMET             | PTAC       |
| 25 | REAL       | DB         | Comp Equiv | INMET             | PTAC       |
| 26 | REAL       | DB         | Adiabática | INMET             | PTAC       |
| 27 | REFERÊNCIA | RNA        | Comp Equiv |                   |            |
| 28 | REFERÊNCIA | RNA        | Adiabática |                   |            |
| 29 | REFERÊNCIA | E+         | ZT         | SWERA             | IdealLoads |
| 30 | REFERÊNCIA | E+         | Comp Equiv | SWERA             | IdealLoads |

| ID | MODELO     | FERRAMENTA | COBERTURA  | ARQUIVO CLIMÁTICO | HVAC       |
|----|------------|------------|------------|-------------------|------------|
| 31 | REFERÊNCIA | E+         | Adiabática | SWERA             | IdealLoads |
| 32 | REFERÊNCIA | E+         | ZT         | INMET             | IdealLoads |
| 33 | REFERÊNCIA | E+         | Comp Equiv | INMET             | IdealLoads |
| 34 | REFERÊNCIA | E+         | Adiabática | INMET             | IdealLoads |
| 35 | REFERÊNCIA | E+         | ZT         | SWERA             | PTAC       |
| 36 | REFERÊNCIA | E+         | Comp Equiv | SWERA             | PTAC       |
| 37 | REFERÊNCIA | E+         | Adiabática | SWERA             | PTAC       |
| 38 | REFERÊNCIA | E+         | ZT         | INMET             | PTAC       |
| 39 | REFERÊNCIA | E+         | Comp Equiv | INMET             | PTAC       |
| 40 | REFERÊNCIA | E+         | Adiabática | INMET             | PTAC       |
| 41 | REFERÊNCIA | DB         | ZT         | SWERA             | IdealLoads |
| 42 | REFERÊNCIA | DB         | Comp Equiv | SWERA             | IdealLoads |
| 43 | REFERÊNCIA | DB         | Adiabática | SWERA             | IdealLoads |
| 44 | REFERÊNCIA | DB         | ZT         | INMET             | IdealLoads |
| 45 | REFERÊNCIA | DB         | Comp Equiv | INMET             | IdealLoads |
| 46 | REFERÊNCIA | DB         | Adiabática | INMET             | IdealLoads |
| 47 | REFERÊNCIA | DB         | ZT         | SWERA             | PTAC       |
| 48 | REFERÊNCIA | DB         | Comp Equiv | SWERA             | PTAC       |
| 49 | REFERÊNCIA | DB         | Adiabática | SWERA             | PTAC       |
| 50 | REFERÊNCIA | DB         | ZT         | INMET             | PTAC       |
| 51 | REFERÊNCIA | DB         | Comp Equiv | INMET             | PTAC       |
| 52 | REFERÊNCIA | DB         | Adiabática | INMET             | PTAC       |

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.8 INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES MILITARES

Após definido o arquivo climático, o tipo de modelagem de cobertura, e o objeto de modelagem do sistema de Condicionamento de Ar que melhor aproximam os resultados do método Simplificado e de Simulação, esses foram tomados como base para as próximas simulações desse trabalho.

Assim, para analisar a aplicação da ferramenta BIM em conjunto com a simulação termoenergética, comparando com as outras possibilidades avaliadas neste trabalho, foram estudados três cenários, após os parâmetros supracitados já terem sido definidos pela aplicação do procedimento descrito na Seção 3.7.

Em resumo, foram comparadas, com modelagem do sistema de Condicionamento de Ar com o objeto “PTAC”, com cobertura tal qual no projeto (como zona térmica), e com arquivo climático “SWERA”, as combinações:

a) modelagem, caracterização e simulação termoenergética no *software DesignBuilder* versão 6.1.0.006, que utiliza como algoritmo o *EnergyPlus* versão 8.9.0.001;

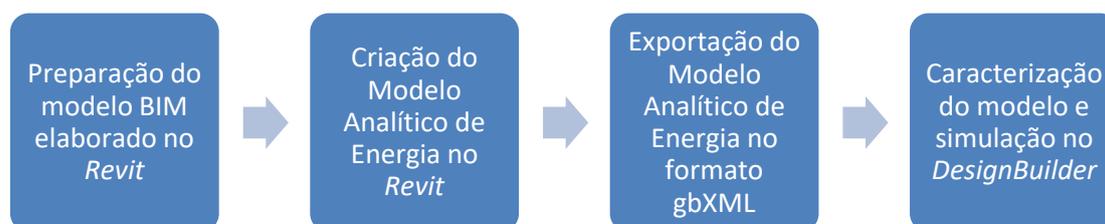
b) modelagem no *software Revit* 2019, caracterização e simulação termoenergética no *software DesignBuilder* versão 6.1.0.006;

c) modelagem nos *softwares SketchUp* versão Pro 2017 e *OpenStudio* versão 2.8.0, caracterização e simulação termoenergética no *software EnergyPlus* versão 9.1.0.

As simulações foram realizadas seguindo as mesmas diretrizes já explicitadas na seção 3.5. Cabe, porém, ressaltar algumas observações sobre a interoperabilidade entre o *Revit* e o *DesignBuilder* realizada nessa nova etapa.

O Exército utiliza o *software Autodesk Revit* para elaboração dos seus projetos. Apesar do modelo BIM conter informações sobre a volumetria e sobre alguns componentes construtivos de uma edificação, não é possível uma transição direta do *Revit* para o *DesignBuilder*. Portanto, seguiu-se a sequência a seguir (Figura 44).

Figura 44- Etapas de interoperabilidade entre o *Revit* e o *DesignBuilder*.

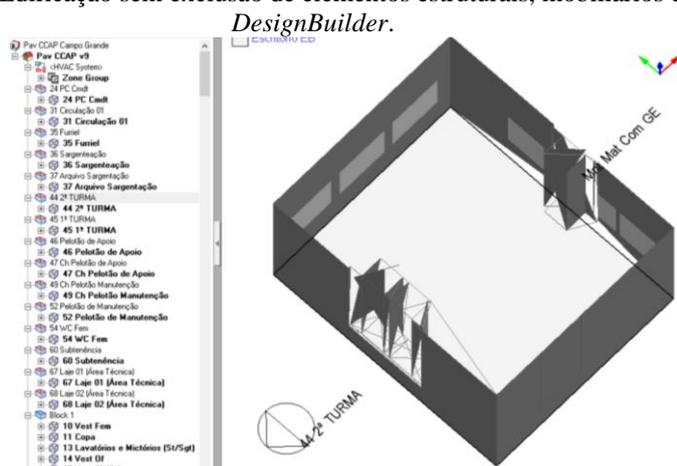


Fonte: elaborado pelo autor.

Um modelo de simulação deve ter complexidade apenas suficiente para atender o objetivo pelo qual é proposto, que é representar uma realidade em “experimentos virtuais”, revelando o comportamento resultante de cada diretriz adotada e quantificando os resultados (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

Por isso, de todas as informações contidas no modelo Revit, foram mantidas apenas as necessárias para simulação termoenergética: divisão em zonas térmicas (chamadas de ambientes no Revit), janelas, telhados, envoltória (paredes, pisos e lajes). Elementos como pilares, vigas, lajes, mobiliários e peças hidráulicas foram excluídos, por terem gerados erros de interoperabilidade, conforme ilustrado na Figura 45. Essa exclusão deve ser feita antes da criação do Modelo Analítico de Energia, ainda na preparação do modelo BIM.

Figura 45 - Importação da Edificação sem exclusão de elementos estruturais, mobiliários e peças hidráulicas, no

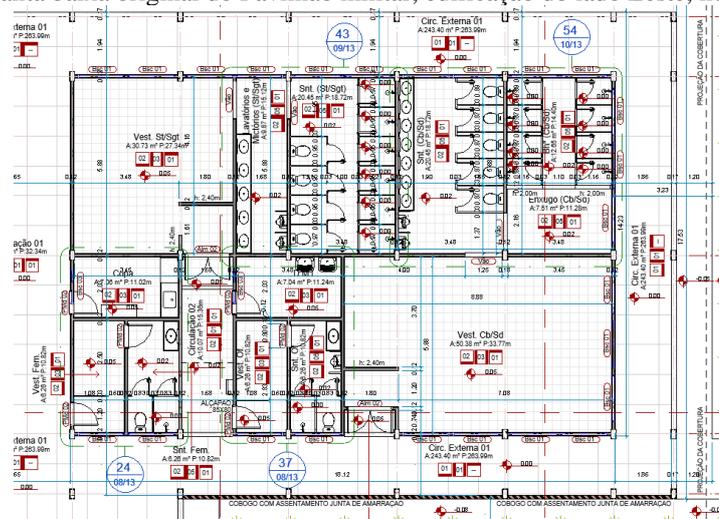


Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme INI-C (INMETRO, 2018), não foram avaliados os ambientes de permanência transitória não condicionados artificialmente (que na edificação em análise são corredores, depósitos, sanitários e outras áreas não ocupadas). Para essas áreas, foram computados apenas o consumo de eletricidade do sistema de Iluminação, desconsiderando consumo de Equipamentos e de Condicionamento de Ar.

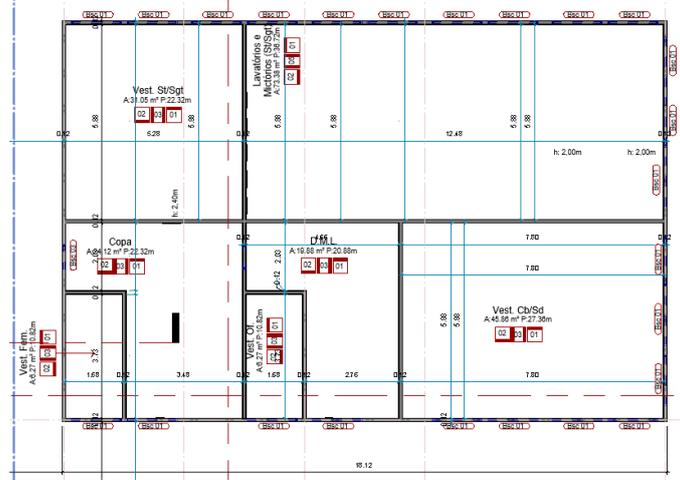
Por esse motivo, e para eliminação de possíveis fontes de erros pela simplificação do processo de simulação, tais áreas foram agrupadas no modelo *Revit* antes da criação do Modelo Analítico de Energia. Assim, foram excluídas as paredes que separavam esses ambientes, agrupando-os, conforme a Figura 46 e a Figura 47, que representam um dos dois blocos que foram o lado Leste da edificação (o mesmo procedimento foi repetido para toda a edificação).

Figura 46- Planta baixa original do Pavilhão militar, edificação do lado Leste, no *Revit*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 47 - Planta baixa do Pavilhão militar, edificação do lado Leste, no Revit, após exclusão de elementos e agrupamento de ambientes de permanência transitória.



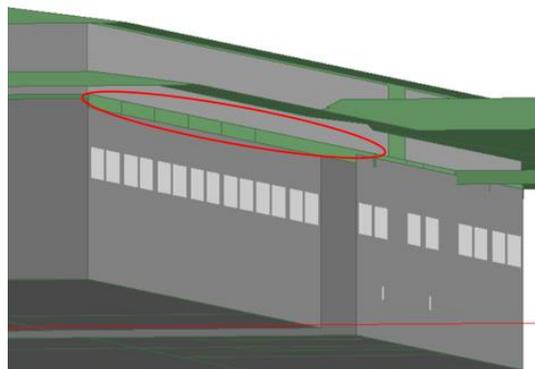
Fonte: elaborado pelo autor.

Após todas essas simplificações do projeto original elaborado no *Revit*, no próprio *software* optou-se por exportar o modelo no formato gbXML, o qual é compatível com o *DesignBuilder*.

Para isso, foi criado no *Revit* um Modelo Analítico de Energia, que é uma representação das zonas térmicas formadas pelos cômodos fechados do projeto (no *Revit* chamam-se ambientes). Esse modelo, e não o projeto em si, é de fato exportado.

Portanto, antes de se proceder com a exportação, foram corrigidas as zonas térmicas que apresentaram erros. Esses erros ocorreram quando não foram totalmente excluídos elementos estruturais (como vigas), que impediram o total fechamento de algumas zonas térmicas (havia espaços entre as paredes e os tetos), conforme Figura 48. Também ocorreram irregularidades na envoltória (reentrâncias) que puderam ser observadas e corrigidas antes da exportação para o *DesignBuilder*, a exemplo da Figura 45.

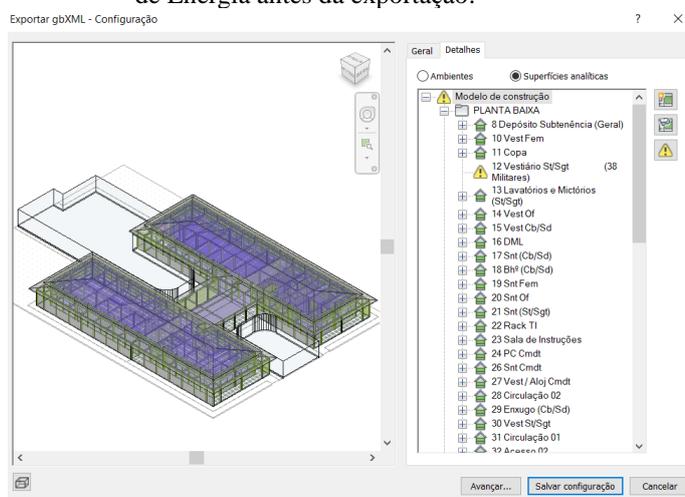
Figura 48 - Problemas decorrentes da falta de ligação entre paredes e lajes causados por erro de interoperabilidade (destaque na cor vermelha).



Fonte: elaborado pelo autor.

Foi muito importante a utilização da própria ferramenta de visualização de zonas do Modelo Analítico de Energia (Figura 49), que permitiu a análise de cada superfície do modelo para detecção de possíveis erros antes da efetiva exportação. Na Figura 49, destaca-se, na aba detalhes, o símbolo de advertência em amarelo com um sinal de exclamação, o qual indica que uma zona térmica não está totalmente fechada, exigido correções no projeto para criação posterior de um novo Modelo Analítico de Energia. É essencial que sejam corrigidos todos os erros nessa fase, antes de se proceder a exportação para o *DesignBuilder*.

Figura 49 - Ferramenta do Revit que permite conferência das superfícies e zonas térmicas do Modelo Analítico de Energia antes da exportação.



Fonte: elaborado pelo autor.

Após total conferência do Modelo Analítico de Energia, exportou-se o modelo na extensão gbXML para leitura no *DesignBuilder* (Figura 41). Na última fase, caracterizou-se o modelo no *DesignBuilder* seguindo as diretrizes para simulação estabelecidas pela INI-C, já apresentadas nesse trabalho, e processou-se a simulação propriamente dita.

### 3.9 ANÁLISE PARAMÉTRICA DA ORIENTAÇÃO SOLAR DA EDIFICAÇÃO

Também utilizando o tipo de modelagem de cobertura (tal como no projeto, como zona térmica), o arquivo climático (“SWERA”) e o objeto de modelagem do sistema de Condicionamento de Ar (“PTAC”) que melhor aproximam os resultados do método Simplificado e de Simulação, definidos pela aplicação do procedimento descrito na Seção 3.7, foi realizado um estudo paramétrico da orientação solar do pavilhão militar objeto deste trabalho.

A análise paramétrica foi processada apenas no *software DesignBuilder* e teve por objetivo quantificar a redução de consumo que poderia ser obtida caso tivesse sido realizada

uma avaliação prévia da orientação solar da edificação por meio de simulação. Isso porque como a edificação já está em construção, não há mais possibilidade de mudança de projeto. Com os resultados dessa fase, mostrou-se os benefícios de um projeto baseado em desempenho energético avaliado previamente por simulação.

A orientação da fachada principal na condição de projeto é Oeste (ou seja, 90° em relação ao Norte). Utilizando o *DesignBuilder*, variou-se a orientação da fachada principal da edificação de 0° a 350° em relação ao Norte, com incremento de 10°. O próprio *software* ofereceu como dado de saída um gráfico de consumo energético anual da edificação em cada posicionamento solar. Assim, verificou-se qual orientação apresenta menor consumo energético.

Para essa análise específica, os cobogós da fachada Oeste foram excluídos na modelagem, mantendo os elementos de sombreamento iguais em todas as direções. Na orientação de menor consumo energético, os cobogós foram adicionados à modelagem novamente, em posição favorável a redução da carga térmica de resfriamento da edificação. Essa análise primária sem cobogós em uma fachada predefinida é importante para que não se induza uma redução de consumo em uma posição solar que poderia não ser a mais eficiente de fato.

Por fim, determinou-se o posicionamento solar que representa o menor consumo anual de energia elétrica e o percentual de redução desse consumo em relação ao consumo da posição original de projeto (fachada principal oeste a 90° em relação ao Norte).

## **4 RESULTADOS**

### ***4.1 CONSUMO ENERGÉTICO E ENCE OBTIDA PELO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C***

Os resultados dessa etapa foram divididos em três seções, sendo a primeira o cálculo do consumo energético anual e a obtenção da ENCE Geral de Projeto, a segunda a obtenção das ENCEs Parciais de Projeto e a terceira uma discussão da análise comparativa entre o método Prescritivo do RTQ-C e o método Simplificado da INI-C.

#### **4.1.1 Consumo Energético Anual e ENCE Geral de Projeto**

Pelo método Simplificado da INI-C, para determinação da carga térmica anual de resfriamento, utiliza-se o metamodelo descrito na seção 3.4.1 deste trabalho. Nesse procedimento, não é necessário dividir uma edificação em formato “H” em duas partes retangulares para avaliação, como o era na avaliação pelo RTQ-C (INMETRO, 2016).

Nesse aspecto, já se nota uma primeira vantagem do uso da INI-C em relação ao RTQ-C: o estudo pela INI-C é realizado com base numa divisão em zonas térmicas, e pode-se inserir individualmente para cada zona as suas características próprias, permitindo uma análise facilitada para um maior número de formatos de edificação, incluindo o formato “H” em específico.

Na organização dos resultados desta seção, porém, para permitir a comparação com os valores obtidos por Rachid (2018), optou-se por apresentar os resultados separadamente para o lado Leste e para o lado Oeste do Pavilhão estudado.

Pelo método Simplificado da INI-C, o consumo energético anual da edificação em seu lado Leste foi 26.631,76 kWh e, em seu lado Oeste, 25.011,13 kWh. Tais valores representam economias em relação às respectivas edificações de Referência de 61,28% e de 61,96%, conforme Tabela 26 e Tabela 27, respectivamente.

Para o Grupo Climático 10 (onde está classificada a cidade de Campo Grande, MS), considerando o fator de forma da edificação em estudo e a tipologia de “escritórios”, a economia mínima de energia para obtenção de ENCE Geral Classe “A” é de 38%. Assim, tanto para o lado Leste, quanto para o lado Oeste, obteve-se ENCE Geral de Projeto Classe “A”.

Tabela 26 - Consumo Energético Anual do Lado Leste- Pav CCAp, onde APP e APT significam, respectivamente, Área de Permanência Prolongada e Área de Permanência Transitória.

| <b>SISTEMA AVALIADO</b>                     | <b>CONSUMO REAL<br/>[kWh/ano]</b> | <b>CONSUMO REFERÊNCIA – CLASSE<br/>D [kWh/ano]</b> |
|---|-----------------------------------|--|
| Envoltória ( Carga Térmica de Resfriamento) | 8.135,29                          | 21.389,23  |
| Sistema de Iluminação- APP+APT              | 3.224,00                          | 17.879,45  |
| Sistema de Iluminação- Circulações Externas | 1.352,00                          | 11.452,22  |
| Sistema de Iluminação- Total                | 4.576,00                          | 29.331,67  |
| Equipamentos Instalados                     | 3.418,82                          | 3.418,82   |
| Sistema de Condicionamento de Ar            | 2.510,89                          | 8.226,63   |
| Sistema de Aquecimento de Água              | 16.126,04                         | 27.799,47  |
| Consumo Total                               | 26.631,76                         | 68.776,58  |
| <b>% Economia</b>                           | 61,28%                            | 0,00%  |
| ENCE Geral de Projeto                       | A                                 | D  |

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 27 - Consumo Energético Anual do Lado Oeste- Pav CCAp, onde APP e APT significam, respectivamente, Área de Permanência Prolongada e Área de Permanência Transitória.

| <b>SISTEMA AVALIADO</b>                     | <b>CONSUMO REAL<br/>[kWh/ano]</b> | <b>CONSUMO REFERÊNCIA – CLASSE<br/>D [kWh/ano]</b> |
|---|-----------------------------------|--|
| Envoltória ( Carga Térmica de Resfriamento) | 25.485,90                         | 57.391,78  |
| Sistema de Iluminação- APP+APT              | 6.032,00                          | 17.149,91  |
| Sistema de Iluminação- Circulações Externas | 1.872,00                          | 17.286,29  |
| Sistema de Iluminação                       | 7.904,00                          | 34.436,20  |
| Equipamentos Instalados                     | 9.241,11                          | 9.241,11   |
| Sistema de Condicionamento de Ar            | 7.866,02                          | 22.073,76  |
| Sistema de Aquecimento de Água              | 0,00                              | 0,00   |
| Consumo Total                               | 25.011,13                         | 65.751,08  |
| <b>% Economia</b>                           | 61,96%                            | 0,00%  |
| ENCE Geral de Projeto                       | A                                 | D  |

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação à condição de Referência, considerando o valor da tarifa paga em fevereiro de 2018<sup>5</sup> pelo Exército Brasileiro à Concessionária em Campo Grande, MS (com custo do kWh de R\$ 0,281392 - Tarifa Horária Verde Fora de Ponta), haverá economia anual com energia de R\$ 11.859,22 no lado Leste e R\$ 11.463,89 no lado Oeste, totalizando R\$ 23.323,11.

A aplicação da INI-C, que permite o cálculo do consumo energético anual da edificação, apresentou menor economia energética que a prevista por Rachid (2018). Esse autor havia feito

<sup>5</sup> Foi considerada a data de fevereiro de 2018 porque se deseja nesta seção comparar a os resultados obtidos pelo método Prescritivo do RTQ-C (RACHID, 2018) com os obtidos pelo método simplificado da INI-C. Naquele trabalho, foi utilizada essa tarifa, e para permitir a comparação, optou-se por utilizá-la.

uma estimativa de consumo, por meio da ponderação entre os tempos médios de utilização e as potências médias instaladas dos sistemas de Iluminação e Condicionamento de Ar (sem cálculo de carga térmica), o que resultaria numa economia anual de R\$ 50.535,84, comparando-se a edificação com ENCE Geral de Projeto Nível “A” e a edificação de projeto-tipo já consolidado no Exército Brasileiro, com ENCE Geral de Projeto Nível “D”.

Por meio do método da INI-C, ao contrário do trabalho de Rachid (2018), o consumo energético do sistema de Condicionamento de Ar foi calculado com base na carga térmica anual de resfriamento obtida pelo metamodelo (VERSAGE, 2015), o que fornece um resultado que melhor representa o desempenho real da edificação. Além disso, foram também calculados os consumos energéticos do sistema de Aquecimento de Água e dos Equipamentos Instalados para condição Real e de Referência, o que não pôde ser realizado por Rachid (2018) por não haver procedimento previsto para esses cálculos no método Prescritivo do RTQ-C. Essas diferenças dos métodos aplicados justifica a distinção entre os valores de economia previstos por este trabalho em relação ao trabalho de Rachid (2018).

#### **4.1.2 ENCEs Parciais de Projeto**

Para a obtenção da ENCE Parcial de Envoltória, dos sistemas de Condicionamento de Ar, de Iluminação e de Aquecimento de Água, utilizou-se o procedimento previsto na seção 3.3 e na seção 3.4 deste trabalho.

Na avaliação parcial da Envoltória, para edificação na condição Real, destaca-se importante mudança em relação ao procedimento aplicado para obtenção de ENCE Geral: foi utilizado novamente o metamodelo para obtenção de um novo valor de carga térmica anual, dessa vez considerando não a potência de iluminação prevista em projeto, mas a densidade de potência de Referência ( $14,1 \text{ W/m}^2$ ) nas Áreas de Permanência Transitória (APT) e nas Áreas de Permanência Prolongada (APP), conforme previsto na INI-C (INMETRO, 2018).

Nessa condição, a carga térmica anual de resfriamento, para a condição Real, aumentou de 8.135,29 kWh para 9.998,46 kWh no lado Leste, e de 25.485,90 kWh para 30.459 kWh no lado Oeste. Na condição de Referência, não houve modificação no valor de carga térmica anual. Com esses dados, conforme descrito na seção 3.3.1 e na seção 3.4.1, foi preenchida a Tabela 14 de classificação energética.

Houve incremento de classe da Envoltória do lado Leste e do lado Oeste, as quais passaram de nível “B” segundo o RTQ-C (RACHID, 2018) para classe “A” segundo a INI-C (“classe” na nomenclatura da INI-C). Os resultados da aplicação do RTQ-C no trabalho de

Rachid (2018) e da aplicação da INI-C neste trabalho estão expressos na Tabela 28 e na Tabela 29.

Tabela 28 - ENCE Parcial- Pav CCAp- método Prescritivo do RTQ-C.

| <b>SISTEMA AVALIADO</b>          | <b>LADO LESTE</b> | <b>LADO OESTE</b> |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Pré-requisitos Gerais            | Atende            | Atende            |
| Envoltória                       | B                 | B                 |
| Sistema de Iluminação            | A                 | A                 |
| Sistema de Condicionamento de Ar | A                 | A                 |
| Sistema de Aquecimento de Água   | Não avaliado      | Não avaliado      |
| Bonificações                     | 01 Ponto          | 01 Ponto          |
| Pontuação Total                  | 5,92              | 5,77              |
| ENCE Geral                       | A                 | A                 |

Fonte: RACHID (2018).

Tabela 29 - ENCE Parcial- Pav CCAp- método Simplificado da INI-C.

| <b>SISTEMA AVALIADO</b>          | <b>LADO LESTE</b>                                       | <b>LADO OESTE</b> |
|----------------------------------|---|-------------------|
| Pré-requisitos Gerais            | Não se aplica   | Não se aplica     |
| Envoltória                       | A   | A                 |
| Sistema de Iluminação            | A   | A                 |
| Sistema de Condicionamento de Ar | A   | A                 |
| Sistema de Aquecimento de Água   | A   | Não se aplica     |
| Bonificações                     | Economia de Água de 57,42% (Caráter informativo apenas) |                   |
| % Economia                       | 61,28%  | 61,96%            |
| ENCE Geral                       | A   | A                 |

Fonte: elaborado pelo autor.

Foi obtida a ENCE Parcial do sistema de Condicionamento de Ar pelo procedimento exposto na seção 3.3.2. Como as especificações técnicas já previam que todos os equipamentos de condicionamento de ar possuíssem classe “A” de eficiência energética, com atendimento de todos os pré-requisitos, a ENCE Parcial do sistema de condicionamento manteve-se como classe “A” no RTQ-C e na INI-C ( Tabela 28 e Tabela 29).

Para obtenção da ENCE Parcial do sistema de Iluminação, foi utilizado o método do Edifício Completo, descrito na seção 3.3.3 e na seção 3.4.2. A potência instalada total do lado Leste é de 1760W e, do lado Oeste é de 2760W. Calculou-se o intervalo de classes e preencheu-se a Tabela 16 para classificação energética desse sistema. Tanto para o lado Leste como para o lado Oeste, a ENCE Parcial de Projeto manteve-se classe “A”, tanto no RTQ-C quanto na INI-C ( Tabela 28 e Tabela 29). Cabe ressaltar que os pré-requisitos específicos desse sistema foram todos atendidos.

Uma das novidades da INI-C em relação ao RTQ-C foi a apresentação de um procedimento de cálculo para avaliação do sistema de Aquecimento de Água, descrito na seção 3.3.4. Aplicando esse método, obteve-se que a energia requerida para atender a demanda de

água quente é de 76,25 kWh/dia. Dessa demanda, com o sistema de 16 módulos solares previstos para o pavilhão avaliado, conseguiu-se atender 38,16 kWh/dia. As perdas no reservatório de água foram calculadas em 14,63 kWh/dia.

Se a equação para avaliação do sistema de aquecimento fosse aplicada tal como está no texto da INI-C, obter-se-ia ENCE Parcial classe “D” para Aquecimento de Água. Porém, conforme descrito na seção 3.3.4, em contato com o CB3E, foi obtida a equação corrigida, que resultou em economia de 41,99% do consumo do sistema de Aquecimento de Água, por meio do uso do sistema de aquecimento solar. Como a economia do sistema com acumulação superou 30%, obteve-se ENCE Parcial Classe “A” para esse sistema.

Destaca-se que para o lado Oeste, há instalação de apenas um chuveiro quente, com a maioria do uso sendo de escritórios, o que, de acordo com a INI-C, faz com que o consumo energético do sistema de Aquecimento de Água possa ser desprezado.

Por meio do procedimento descrito na seção 3.3.7 deste trabalho, foi avaliado o quesito economia de água, que não influencia na ENCE da edificação avaliada pela INI-C, mas serve como uma informação adicional à etiqueta.

Conforme explicado na seção 3.3.7, foram utilizados no projeto do pavilhão dispositivos que visam uso mais racional desse recurso natural. Calculou-se o consumo de água com os dispositivos convencionais e com os dispositivos eficientes, para um efetivo previsto do Pav CCAp de 103 homens e 05 mulheres. Observou-se uma economia de 57,42% no consumo de água da edificação pela eficientização do sistema.

#### **4.1.3 Discussão**

Durante a aplicação do método Simplificado da INI-C, foram observadas diversas vantagens em relação ao método Prescritivo do RTQ-C.

Enquanto o método Prescritivo do RTQ-C previa apenas a análise dos sistemas de Envoltória, de Iluminação e de Condicionamento de Ar para determinação do nível de eficiência energética da edificação, o método Simplificado da INI-C prevê a análise desses três sistemas, adicionando ainda a análise do consumo energético dos Equipamentos elétricos utilizados na edificação, como também a análise do sistema de Aquecimento de Água, fornecendo uma avaliação mais completa da edificação.

No método do RTQ-C, para obtenção da ENCE Geral de Projeto, havia pré-requisitos gerais, os quais não são considerados no método da INI-C. Essa flexibilização foi adequada, uma vez que poderia haver penalização de edificação devido, por exemplo, absorvância mais

alta de uma parede, ou mesmo maior transmitância de uma cobertura, mesmo que essa situação não gerasse de fato um impacto significativo no consumo de energia.

A análise por zonas térmicas prevista na INI-C com a aplicação de um metamodelo baseado em Redes Neurais Artificiais, por outro lado, permite o cálculo da carga térmica anual resultante de cada uma das diferentes características termofísicas da edificação avaliada, prevendo de fato o desempenho energético da edificação.

No RTQ-C, utilizava-se a divisão do Brasil em oito Zonas Bioclimáticas (ABNT, 2005a). Na INI-C, a divisão foi feita em vinte e quatro Grupos Climáticos (RORIZ, 2014). Devido as dimensões continentais do país, é possível que a divisão em um maior número de Grupos Climáticos seja mais representativa do clima real de um local. Porém, como a INI-C ainda está sendo desenvolvida, não foram encontrados estudos que comprovem maior representatividade.

No RTQ-C, a avaliação não era diferenciada por tipologia da edificação. Não eram previstas características específicas para avaliação de edificações de escritórios, educacionais, de hospedagem, hospitalares, comerciais (lojas ou mercados) e de alimentação. A INI-C, por outro lado, permite uma análise específica para cada tipologia, com dados a serem utilizados na avaliação condizentes para cada uma delas, como dados típicos de uso e ocupação (densidade de potência de equipamentos e iluminação, taxas de ocupação, números de horas e dias de ocupação no ano, características construtivas).

O procedimento da INI-C também trouxe avanços ao possibilitar a análise de energia oriunda de fontes térmicas e elétricas para classificação final da edificação. Tal combinação de energias foi possível pelos estudos que estabeleceram coeficientes de conversão para transformação em Energia Primária, conceito também introduzido pela INI-C. Como na edificação avaliada nesse trabalho só havia fontes elétricas, essa novidade não foi relevante, mas pode ser para outras edificações.

Na avaliação da Envoltória, foram observadas vantagens da análise prevista do INI-C em relação ao RTQ-C, uma vez que neste último não são levados em conta, para cada zona térmica individualmente, a orientação solar das aberturas, o fator de forma, a densidade de equipamentos e iluminação e o percentual de abertura de fachada. Todos esses fatores eram ponderados para a edificação como um todo, o que poderia reduzir a representatividade do modelo analisado. Na INI-C, por outro lado, a entrada de todos esses dados é realizada por cada zona térmica da edificação no metamodelo, permitindo uma análise mais individualizada.

Além disso, soma-se o fato de a análise da Envoltória no RTQ-C ser por índices de consumo, os quais não apresentam significado físico. Diferentemente do novo método da INI-

C, que calcula a carga térmica anual de resfriamento (pelo metamodelo) para as características da edificação em estudo, apresentando um dado físico que auxilia na previsão do consumo energético da edificação.

No método Prescritivo do RTQ-C, calcula-se uma Pontuação Total para etiquetagem de uma edificação, considerando pesos de 30% para Envoltória, 30% para sistema de Iluminação e 40% para sistema de Condicionamento de Ar. Já no método Simplificado da INI-C, não são calculados Índices de Consumo a serem ponderados, mas é calculado de fato o consumo anual de energia (kWh/ano) para a Envoltória, o sistema de Condicionamento de Ar, o sistema de Iluminação, a carga de Equipamentos e o sistema de Aquecimento de Água. O fato de calcular o consumo real total e não ponderar com coeficientes pré-determinados permite uma análise mais específica da edificação, pois nem toda edificação tem Envoltória e Iluminação representando 30% cada, do desempenho total, e 40% do sistema de Condicionamento de Ar.

Em relação ao trabalho de Rachid (2018), esses métodos de cálculo de consumo energético permitiram uma previsão de consumo mais realista. Explica-se: aquele autor, para fornecer um valor para economia financeira oriunda da redução de consumo da edificação de ENCE nível “A” em relação à edificação de ENCE nível “D”, teve que fazer uma previsão simplificada dos cálculos de consumo.

Para o sistema de Condicionamento de Ar, por exemplo, Rachid (2018) multiplicou a potência dos aparelhos pelo número de horas de funcionamento, na condição Real e de Referência. Porém, sabe-se que aparelhos de condicionamento de ar trabalham com potência variável a cada instante. Assim, para prever esse consumo, é mais adequado um cálculo de carga térmica de resfriamento, que não pode ser feito por métodos prescritivos convencionais. O uso de um metamodelo para cálculo da carga térmica anual é mais adequado para previsão de consumo, o que foi fornecido pelo novo método (INI-C).

#### ***4.2 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO SIMPLIFICADO E O MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C***

Nesta seção, foram estudados 52 cenários, por aplicação do método Simplificado e de Simulação conforme explicado no método deste trabalho (seção 3.7). Primeiramente, foram apresentados os resultados de consumo energético obtido em cada cenário. Posteriormente, para melhor entendimento e discussão dos resultados, foram explicitados resultados específicos obtidos com arquivos climáticos “INMET 2016” e “SWERA”. Por fim, foi realizada uma ampla análise comparativa entre os resultados obtidos, com uma discussão.

Como nessa seção foi realizada a comparação entre o método Simplificado e o de Simulação da INI-C, nos cálculos optou-se por considerar apenas valores que podem ser obtidos pelos dois métodos. Explica-se: por simulação, não é possível obter o consumo do sistema de Iluminação fora das zonas térmicas (nos ambientes de circulação externa do Pav CCAp, que não são ambientes fechados). Isso porque na simulação são avaliados apenas ambientes fechados, sejam eles de permanência prologada (APP) ou transitória (APT). Nesse caso, recomenda-se calcular pelo método Simplificado o consumo energético das circulações externas, e somá-los aos resultados de consumo obtidos pelos *softwares* de simulação.

Essa situação também ocorre no cálculo de consumo energético anual do sistema de Aquecimento de Água e no cálculo do percentual de economia de água, os quais só podem ser obtidos por um método, o Simplificado.

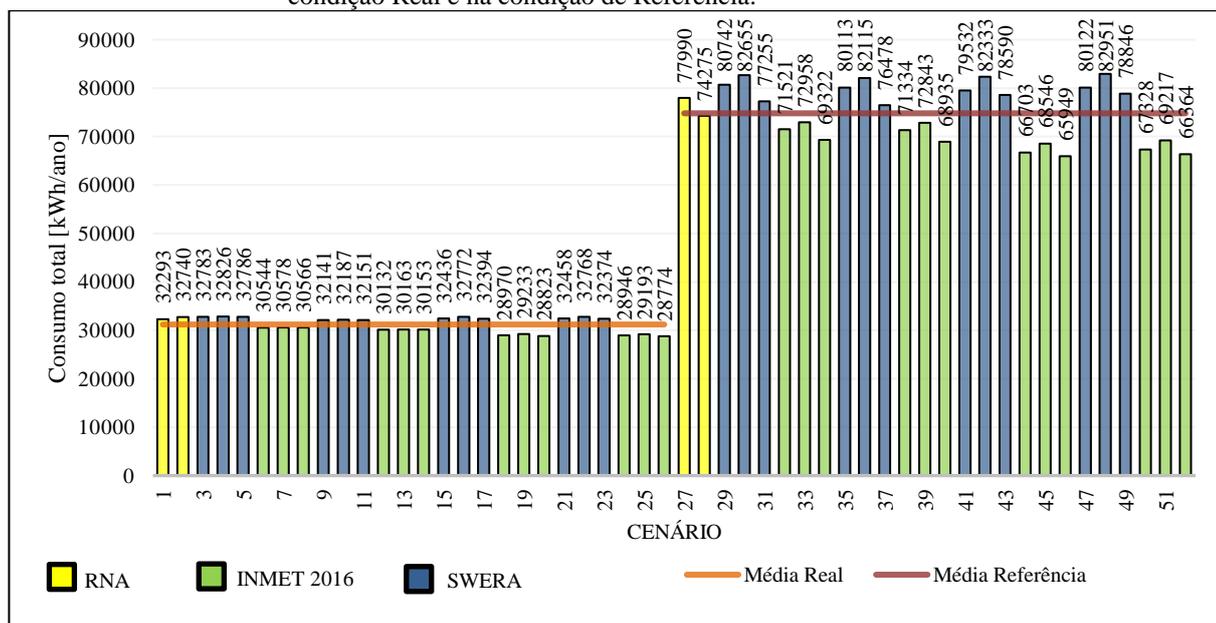
Na Tabela 26 e na Tabela 27, foram destacados os consumos energéticos de iluminação que podem ser obtidos por simulação (APP e APT), dos que só podem ser obtidos pelo método Simplificado (circulações externas). Também foram posicionados em linhas separadas o consumo energético do sistema de Aquecimento de Água e o percentual de economia de água. Essa separação proposital permitiu que nessa seção só fossem comparados entre si os valores anuais que podem ser obtidos pelos dois métodos simultaneamente: carga térmica de resfriamento, consumo do sistema de Condicionamento de Ar, consumo do sistema de Iluminação (somente nas APP e nas APT) e consumo de Equipamentos Instalados.

Nessa seção, o consumo apresentado como “consumo total”, portanto, ainda deve ser somado aos consumos obtidos unicamente pelo método Simplificado (consumos de iluminação das circulações externas e consumo do sistema de Aquecimento de Água, além do percentual de economia devido uso racional de água), para consolidação final.

#### **4.2.1 Consumo Energético Anual em todos os cenários estudados**

A Figura 50 ilustra os consumos energéticos obtidos para cada cenário da Tabela 25. O consumo total se deu por soma dos consumos individuais dos sistemas de Condicionamento de Ar, de Iluminação e dos Equipamentos Instalados, todos avaliados em cada um dos cenários propostos, nas condições descritas.

Figura 50 – Valores de consumo energético total para todos os cenários, com destaque para o valor médio na condição Real e na condição de Referência.



Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se observar na Figura 50 que o consumo energético ficou em média 6,16% abaixo dos valores médios em todos os cenários onde foram utilizados arquivo climático “INMET 2016” (cor verde), independente das outras características de modelagem. Por outro lado, em todos os cenários onde foram utilizados arquivo climático “SWERA” (cor azul), assim como na avaliação da edificação pelo método Simplificado (cor amarela), o consumo energético ficou acima dos valores médios, respectivamente, em média 5,66% e 3,00%.

Analisando os grupos de cenários de simulação com mesmo *software*, mesmo objeto de modelagem de ar condicionado, mesmo arquivo climático, mas variando a modelagem de cobertura (trios 3-4-5, 6-7-8, 9-10-11, e assim sucessivamente), observou-se que, quando a cobertura é modelada como um componente equivalente, os consumos energéticos são, em média, 1,61% e 3,06% maiores do que quando a cobertura é modelada como no projeto (com zona térmica) e do que quando a cobertura é considerada adiabática, respectivamente.

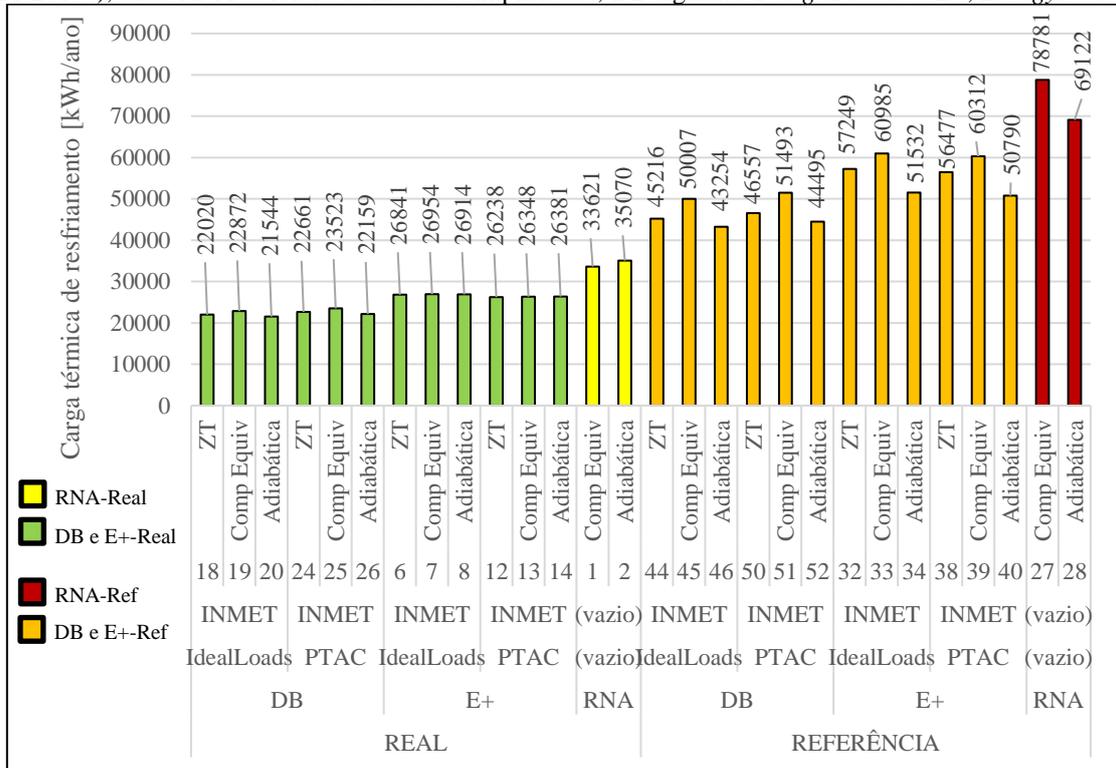
As demais comparações entre os cenários foram feitas nas subseções seguintes, para melhor entendimento dos resultados.

#### 4.2.2 Resultados obtidos com arquivo climático “INMET 2016”

Quando foi utilizado nas simulações o arquivo climático “INMET 2016”, foram obtidos valores de carga térmica de resfriamento menores (em média 29,44%) que quando utilizado o método Simplificado (RNA), nas condições Real e de Referência, conforme pode ser observado

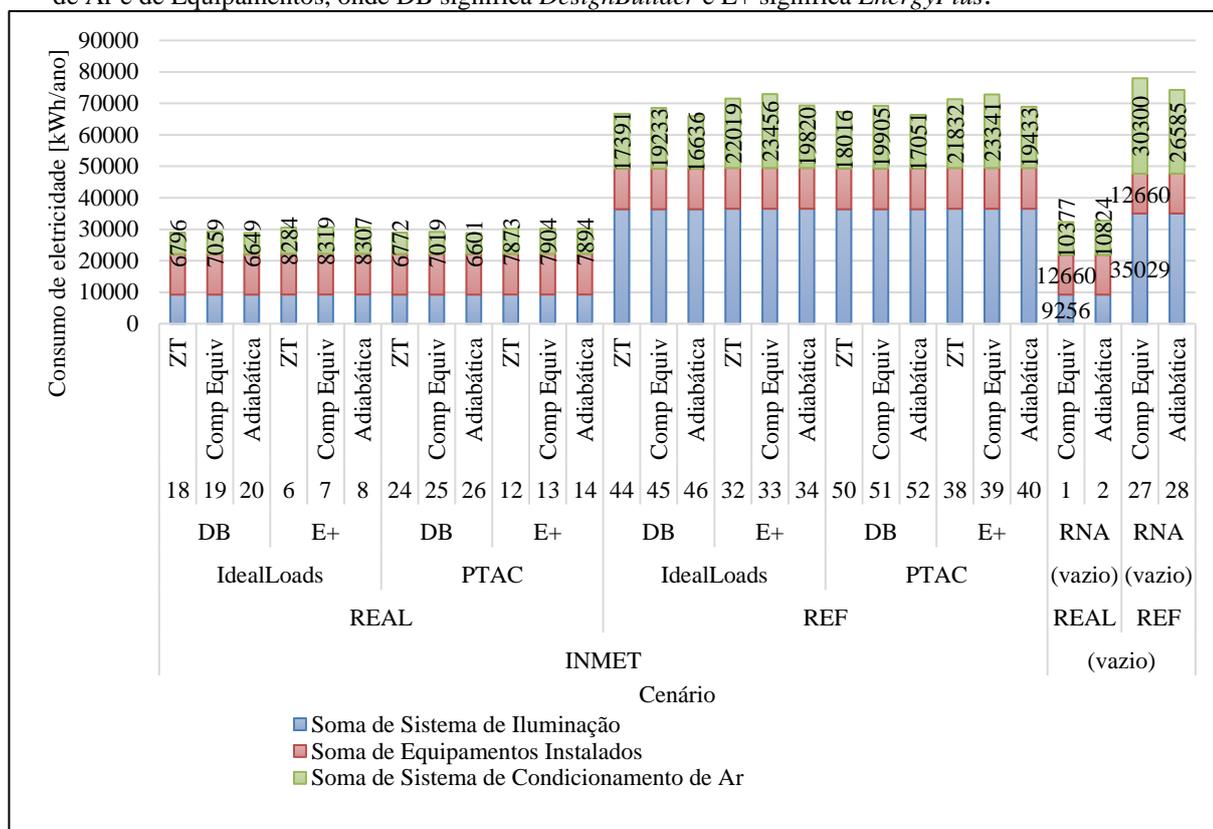
na Figura 51. O mesmo acontece com o consumo energético total (principalmente influenciado pelo reflexo da carga térmica no consumo do sistema de Condicionamento de Ar), que é, em média, 9,98% menor, como pode ser observado na Figura 52.

Figura 51 – Valores de carga térmica de resfriamento para todos os cenários (simulação com arquivo climático “INMET 2016”), onde RNA se refere ao método Simplificado, DB significa *DesignBuilder* e E+, *EnergyPlus*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 52 – Valores de consumo energético total para todos os cenários (simulação com arquivo climático “INMET 2016”), com destaque para os consumos individuais dos sistemas de Iluminação, de Condicionamento de Ar e de Equipamentos, onde DB significa *DesignBuilder* e E+ significa *EnergyPlus*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Assim, apesar de o Anexo C da INI-C recomendar a utilização nas simulações do arquivo climático “INMET”, observou-se que os resultados se distanciaram dos obtidos pelo método Simplificado que utiliza o metamodelo baseado em RNA.

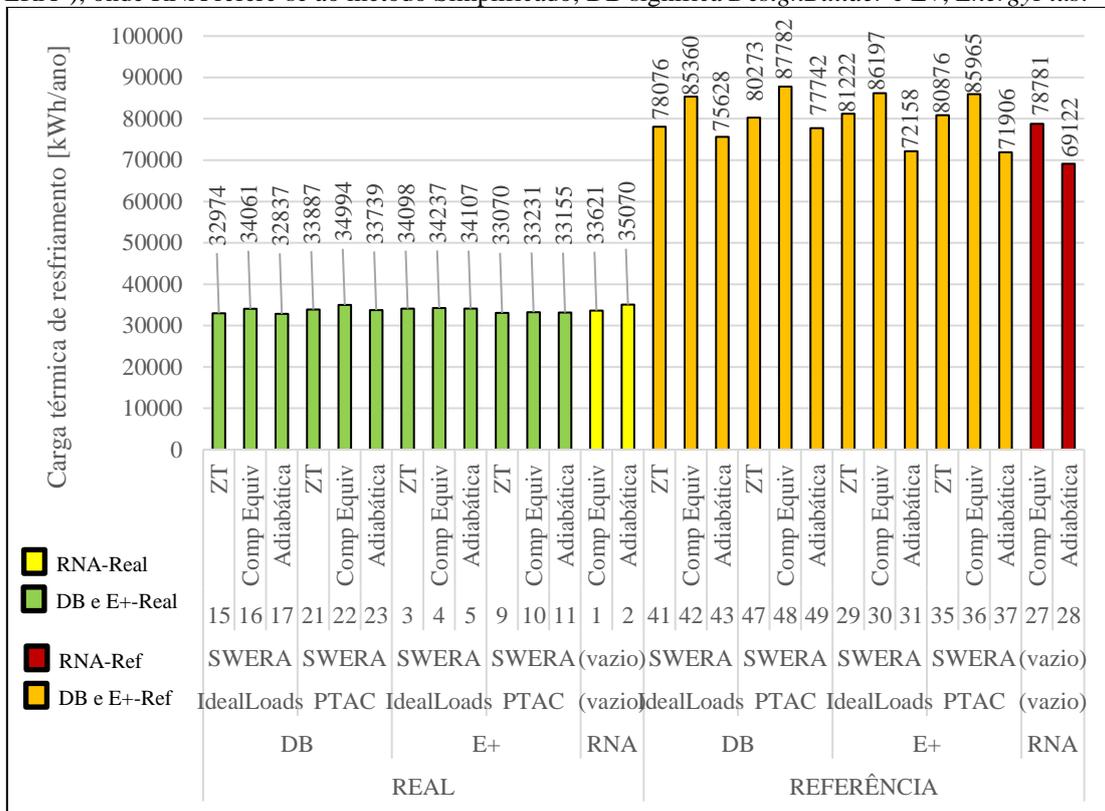
Também, as cargas térmicas de resfriamento e os consumos energéticos obtidos com arquivo climático “INMET 2016”, por serem menores, são valores menos conservadores para avaliação energética de uma edificação, o que não é desejável, salvo se o desempenho energético da edificação seja de fato superior ao previsto pelo método Simplificado (e tenha sido mais bem refletido na simulação do que no metamodelo).

Uma vez que o metamodelo foi treinado com milhares de simulações, essa falta de “conhecimento” para uma edificação de formas geométricas comuns, como a avaliada, é pouco provável. Além disso, como dito, não há evidências sobre qual arquivo climático foi de fato utilizado para o treinamento da Rede Neural Artificial em outras cidades, além de Florianópolis, SC. Esses fatos levam a crer que é provável que não foi “INMET 2016” para Campo Grande, MS, pois se fosse os consumos energéticos obtidos por simulação e pelo método simplificado seriam mais próximos.

### 4.2.3 Resultados obtidos com arquivo climático “SWERA”

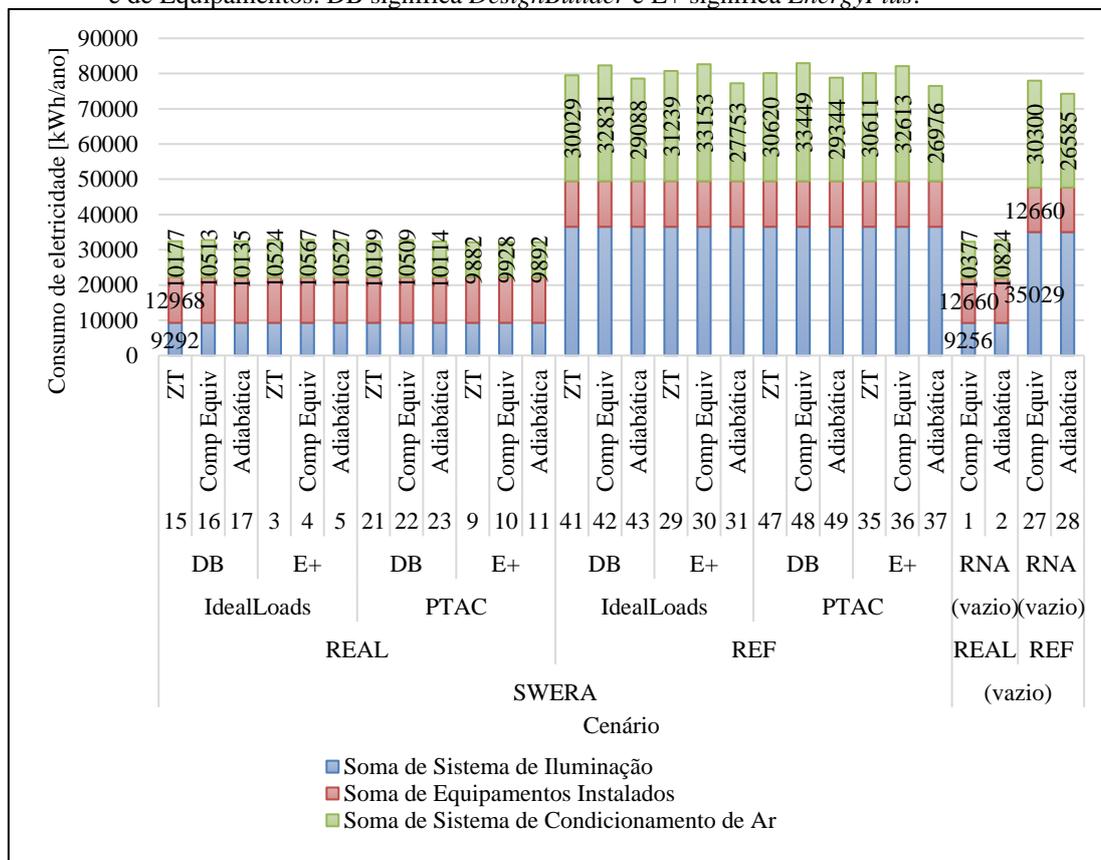
Substituindo o arquivo climático “INMET 2016” pelo “SWERA”, em todas as simulações, observou-se uma aproximação dos resultados de carga térmica e de consumo energético com aqueles obtidos pelo método Simplificado (média de 3,33% e de 1,51% para diferenças de cargas térmicas e de consumos energéticos entre os métodos, respectivamente). De fato, ocorreu compatibilidade do método Simplificado e de Simulação, uma vez que nenhuma diferença encontrada entre os métodos superou 7,00%. A Figura 53 e a Figura 54 ilustram os resultados obtidos.

Figura 53 – Valores de carga térmica de resfriamento para todos os cenários (simulação com arquivo climático “SWERA”), onde RNA refere-se ao método Simplificado, DB significa *DesignBuilder* e E+, *EnergyPlus*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 54 – Valores de consumo energético total para todos os cenários (simulação com arquivo climático “SWERA”), com destaque para os consumos individuais dos sistemas de Iluminação, de Condicionamento de Ar e de Equipamentos. DB significa *DesignBuilder* e E+ significa *EnergyPlus*.



Fonte: elaborado pelo autor.

## 4.2.4 Comparação entre os cenários avaliados

### 4.2.4.1 ENCE Geral de Projeto

Em relação ao edifício Real, em todos os casos analisados, o edifício de Referência (equivalente à classe “D” de eficiência energética) apresentou maior consumo total anual de energia. Os percentuais de economia do edifício Real em relação ao de Referência, utilizados para obtenção da ENCE Geral de projeto, estão representados na Tabela 30.

Como há apenas fontes de energia elétrica na edificação avaliada, o percentual de economia de energia primária coincide com o percentual de economia de energia elétrica. Assim, como todas as economias ficaram acima de 38% (valor do coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe “D” para a classe “A” para o Grupo Climático 10), por todos os métodos se obteve ENCE Geral de Projeto classe “A”.

Tabela 30 - Percentual de Economia (consumo energético anual do Edifício Real em relação ao do Edifício de Referência-Ref) para obtenção de ENCE Geral de Projeto.

| CARACTERÍSTICAS DA MODELAGEM |                        |                   | ECONOMIA (Ed REAL - Ed REF) |                        |                           |
|------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|
| Objeto HVAC                  | Tipo de Cobertura      | Arquivo Climático | Simplificado                | Simulação - EnergyPlus | Simulação - DesignBuilder |
| <i>IdealLoads</i>            | Projeto (Zona Térmica) | SWERA             | 58,59%                      | 59,40%                 | 59,22%                    |
|                              |                        | INMET 2016        | 58,59%                      | 57,29%                 | 56,57%                    |
| <i>IdealLoads</i>            | Componente Equivalente | SWERA             | 58,59%                      | 60,29%                 | 60,20%                    |
|                              |                        | INMET 2016        | 58,59%                      | 58,09%                 | 57,35%                    |
| <i>IdealLoads</i>            | Adiabática             | SWERA             | 55,92%                      | 57,56%                 | 58,78%                    |
|                              |                        | INMET 2016        | 55,92%                      | 55,91%                 | 56,29%                    |
| PTAC                         | Projeto (Zona Térmica) | SWERA             | 58,59%                      | 59,88%                 | 59,49%                    |
|                              |                        | INMET 2016        | 58,59%                      | 57,76%                 | 57,01%                    |
| PTAC                         | Componente Equivalente | SWERA             | 58,59%                      | 60,80%                 | 60,50%                    |
|                              |                        | INMET 2016        | 58,59%                      | 58,59%                 | 57,82%                    |
| PTAC                         | Adiabática             | SWERA             | 55,92%                      | 57,96%                 | 58,94%                    |
|                              |                        | INMET 2016        | 55,92%                      | 56,26%                 | 56,64%                    |

Fonte: elaborado pelo autor.

Portanto, apesar das diferenças entre os consumos energéticos obtidos, dentro do mesmo método (Simplificado ou de Simulação) não há prejuízo à ENCE, uma vez que essa é obtida comparando o consumo de energia primária do edifício Real com o de Referência, ambos calculados pelo mesmo método. Assim, do ponto de vista de uma simples obtenção de ENCE, não houve diferença entre os métodos utilizados. As diferenças ficam restritas ao caso de uma avaliação onde se queira obter uma previsão de consumo energético anual da edificação, o qual varia conforme o método (ou conforme o *software*) adotado.

#### 4.2.4.2 Carga Térmica e Consumo Energético

Como o metamodelo do método simplificado foi treinado por milhares de simulações, esperava-se que os resultados de carga térmica e de consumo energético, para cada cenário (mesmo sistema de condicionamento de ar, mesmo tipo de cobertura, mesma condição – Real ou de Referência, mesmo arquivo climático), fossem próximos quando utilizado o método Simplificado e o método de Simulação da INI-C. Porém, foram observadas as diferenças percentuais apresentadas na Tabela 31.

Tabela 31 - Comparação entre os resultados de consumo energético anual obtidos pelo método Simplificado e de Simulação da INI-C (com *software EnergyPlus* e *DesignBuilder*).

| CARACTERÍSTICAS DA MODELAGEM |                        |                    |                   | DIFERENÇAS PERCENTUAIS           |                                     |  |
|------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| Objeto HVAC                  | Tipo de Cobertura      | Condição do Modelo | Arquivo Climático | <i>EnergyPlus</i> - Simplificado | <i>DesignBuilder</i> - Simplificado | <i>EnergyPlus</i> - <i>DesignBuilder</i> |
| <i>IdealLoads</i>            | Projeto (Zona Térmica) | Real               | SWERA             | 1,52%                            | 0,44%                               | 1,07%                                    |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -5,42%                           | -10,29%                             | 5,43%                                    |
|                              |                        | Referência         | SWERA             | 3,53%                            | 1,98%                               | 1,52%                                    |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -8,29%                           | -14,47%                             | 7,22%                                    |
| <i>IdealLoads</i>            | Componente Equivalente | Real               | SWERA             | 1,65%                            | 1,48%                               | 0,17%                                    |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -5,31%                           | -9,47%                              | 4,60%                                    |
|                              |                        | Referência         | SWERA             | 5,98%                            | 5,57%                               | 0,39%                                    |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -6,45%                           | -12,11%                             | 6,44%                                    |
| <i>IdealLoads</i>            | Adiabática             | Real               | SWERA             | 0,14%                            | -1,06%                              | 1,21%                                    |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -6,64%                           | -11,96%                             | 6,05%                                    |
|                              |                        | Referência         | SWERA             | 4,01%                            | 5,81%                               | -1,70%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -6,67%                           | -11,21%                             | 5,12%                                    |
| PTAC                         | Projeto (Zona Térmica) | Real               | SWERA             | -0,47%                           | 0,51%                               | -0,98%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -6,69%                           | -10,36%                             | 4,10%                                    |
|                              |                        | Referência         | SWERA             | 2,72%                            | 2,73%                               | -0,01%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -8,53%                           | -13,67%                             | 5,95%                                    |
| PTAC                         | Componente Equivalente | Real               | SWERA             | -0,33%                           | 1,47%                               | -1,77%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -6,60%                           | -9,60%                              | 3,32%                                    |
|                              |                        | Referência         | SWERA             | 5,29%                            | 6,36%                               | -1,01%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -6,60%                           | -11,25%                             | 5,24%                                    |
| PTAC                         | Adiabática             | Real               | SWERA             | -1,80%                           | -1,12%                              | -0,69%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -7,90%                           | -12,11%                             | 4,79%                                    |
|                              |                        | Referência         | SWERA             | 2,97%                            | 6,15%                               | -3,00%                                   |
|                              |                        |                    | INMET 2016        | -7,19%                           | -10,65%                             | 3,87%                                    |

Fonte: elaborado pelo autor.

Para a modelagem da edificação Real, com arquivo climático “SWERA”, a maior diferença de consumo energético entre os métodos foi de 1,80% em módulo (consumo energético obtido com *EnergyPlus*, com cobertura adiabática e objeto “PTAC”). No caso da edificação de Referência, com “SWERA”, a maior diferença foi de 6,36% em módulo (consumo energético obtido com *DesignBuilder*, com componente equivalente de cobertura e objeto “PTAC”). Assim, quando utilizado o arquivo climático “SWERA”, foi possível validar o consumo energético obtido pelo método Simplificado por Simulação, com boa correspondência (diferenças máximas, em módulo, de 6,36%).

No caso da modelagem com o “SWERA” e com o sistema de condicionamento de ar modelado como “*IdealLoads*”, observou-se que apenas alterando a modelagem da cobertura conforme projeto (como zona térmica) para um componente equivalente, as diferenças médias entre os resultados do *EnergyPlus* e *DesignBuilder* caíram de 1,30% para 0,28%, demonstrando

que o efeito de uma laje técnica de cobertura é avaliado de maneira diferente nesses dois *softwares*. Ainda, nessa condição, há aumento (em média de 1,87% para 3,67%) das diferenças entre os resultados obtidos por Simulação e pelo método Simplificado, uma vez que, quando é modelado um componente equivalente de cobertura nos *softwares* de simulação, esses calculam automaticamente os valores de transmitância e de capacidade térmica, que por sua vez são diferentes dos utilizados no metamodelo do método Simplificado.

Pela Tabela 31, observa-se que as menores diferenças entre o método Simplificado e o de Simulação (e entre os *softwares* de simulação utilizados) ocorrem quando a cobertura é modelada como zona térmica, em todos os casos. O mesmo ocorre quando o sistema de condicionamento de ar é modelado pelo objeto “PTAC” ao invés do “*IdealLoads*”.

Dessa forma, no geral, a modelagem que gera menor diferença entre os métodos (média de 1,37%) é a com objeto “PTAC” de condicionamento de ar, com arquivo climático “SWERA”, e com cobertura modelada como no projeto (com laje técnica funcionando como zona térmica). A maior diferença (média de 9,82%) entre o método de Simulação e o Simplificado ocorre na modelagem com objeto “PTAC”, arquivo “INMET 2016”, e cobertura de projeto.

#### 4.2.5 Discussão

Em geral, as diferenças entre os resultados obtidos por Simulação e pelo método Simplificado se devem ao fato de o último utilizar um metamodelo baseado em RNA para cálculo da carga térmica anual de resfriamento da edificação. Esse metamodelo exige algumas simplificações para o seu uso, tal como o preenchimento direto dos valores de transmitância, absorvância e capacidade térmica da cobertura, não permitindo a análise por simulação do efeito que a laje técnica (de acordo com o projeto) gera, quando avaliada como zona térmica.

A diferença entre os resultados obtidos pelo *EnergyPlus* e pelo *DesignBuilder* (média de 2,39%, variando entre 0,01% e 7,22%) se deve às diferenças na modelagem da edificação, para posterior simulação. Quando utilizado o *EnergyPlus*, cada zona térmica da edificação foi modelada no *SketchUp* e no *OpenStudio*, até todo o pavilhão militar ter sido representado. Quando utilizado o *DesignBuilder*, toda a envoltória da edificação foi modelada primeiramente, separando as zonas térmicas a posteriori. Essas distinções geram diferenças em volumes internos de cada zona térmica, o que provoca variações no cálculo de carga térmica anual de resfriamento e no cálculo do consumo anual do sistema de Condicionamento de Ar. Além disso, diferenças podem ter ocorrido porque a versão utilizada do *DesignBuilder* (6.1.0.006) tem como

algoritmo o *EnergyPlus* versão 8.9.0.001, enquanto que a versão do *EnergyPlus* utilizada foi a 9.1.0.001.

No caso da modelagem do sistema de Iluminação e dos Equipamentos Instalados, utilizou-se o valor absoluto da potência instalada em cada zona, anulando as diferenças entre o *EnergyPlus* e o *DesignBuilder* no aspecto da área útil (ligeiramente distinta). Porém, houve diferenças de consumo energético simulado desses dois sistemas em relação aos obtidos pelo método Simplificado, devido a divisão de zonas térmicas ser diferente no método Simplificado e pelo fato de se preencherem valores de Densidade de Potência de Equipamento e de Iluminação ( $W/m^2$ ), e não valores absolutos de potência instalada ( $W$ ), no metamodelo.

Na utilização de arquivos “INMET 2016”, houve aumento da diferença entre os resultados obtidos pelo *EnergyPlus* e pelo *DesignBuilder*, quando comparados com as diferenças obtidas com a utilização de arquivo “SWERA” (de, em média, 0,40% para 5,18%). Esse aumento não era esperado, já que no processo de modelagem e de simulação apenas foram alterados o arquivo climático, o dia de projeto (*DesignDay*) de inverno e verão, e as temperaturas do solo, mantendo todas as demais características constantes.

Tal aumento pode decorrer do fato de o segundo *software* já possuir na sua biblioteca o arquivo climático “SWERA” para Campo Grande, MS. O mesmo não ocorre com o arquivo “INMET 2016”, o qual teve que ser baixado (LABEEE/UFSC, 2019a) e importado para a biblioteca. Nessa importação, alguns erros ocorreram, tais como falha na importação de valores de temperatura, de velocidade e de direção do vento, de meses iniciais e finais e de dias típicos de inverno e verão, de temperaturas de solo. O *DesignBuilder* permite edição de alguns desses valores, o que foi realizado de acordo com o arquivo de extensão “ddy” do “INMET 2016”. Porém, nem todos os dados climáticos utilizados na simulação pelo *DesignBuilder* são disponibilizados para consulta e edição (portanto, uma espécie de “caixa-preta” quanto a esses dados).

Pelo aumento da diferença entre o *EnergyPlus* e o *DesignBuilder* pela simples troca para o arquivo “INMET 2016”, pode-se inferir que nem todos os dados climáticos foram corretamente importados. Nesse aspecto, quando não se utiliza o arquivo climático disponível na biblioteca original do *DesignBuilder*, o *EnergyPlus* apresenta vantagens, pois é uma ferramenta que permite melhor visualização da infinidade de parâmetros utilizados, independente de qual arquivo climático seja utilizado. Contudo, de maneira geral, o *DesignBuilder* apresentou maior facilidade no processo de modelagem, com boa aproximação de resultados com o *EnergyPlus* (Tabela 31).

### 4.3 INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

Uma vez definidos na seção 4.2 o tipo de modelagem de cobertura (conforme projeto, como zona térmica) e de ar condicionado (objeto “PTAC”), e o arquivo climático (“SWERA”) que melhor aproximou os resultados do método Simplificado e de Simulação da INI-C, esses parâmetros foram tomados para uma nova avaliação: a de interoperabilidade entre o *Autodesk Revit* e o *DesignBuilder*.

Cabe ressaltar que, como esta seção pretende também comparar resultados obtidos por simulação, foram excluídos da avaliação os valores de consumo do sistema de Iluminação das áreas externas e o consumo do sistema de Aquecimento de Água, os quais só podem ser obtidos pelo método Simplificado. Caso se queira saber o consumo final, deve-se somar os consumos totais obtidos nessa seção, com esses consumos que foram excluídos aqui, mas que podem ser obtidos na Tabela 26 e na Tabela 27.

Os resultados desta seção foram divididos em quatro partes, sendo a primeira o cálculo do consumo energético anual para a condição Real, a segunda o cálculo de consumo energético para condição de Referência, a terceira a obtenção da ENCE Geral de Projeto, e finalmente a descrição do processo de modelagem e de interoperabilidade .

#### 4.3.1 Consumo Energético Anual para Condição Real

A Tabela 32 expressa os consumos energéticos obtidos, para cada combinação de *softwares* proposta. O consumo total se deu pela soma dos consumos individuais do sistema de Condicionamento de Ar, do sistema de Iluminação e dos Equipamentos Instalados, todos avaliados em cada uma das combinações (descritas na seção 3.8).

Tabela 32 - Consumo energético anual (kWh/ano) na Condição Real (conforme projeto).

| SISTEMA AVALIADO<br>(kWh/ano)               | ENERGYPLUS (E+) | DESIGNBUILDER (DB) | REVIT +<br>DESIGNBUILDER | % DB -<br>E+ | % REVIT<br>- E+ | % REVIT<br>- DB |
|---|-----------------|--------------------|--------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Envoltória ( Carga Térmica de Resfriamento) | 33.069,56       | 33.887,31          | 32.595,17                | 2,47%        | -1,43%          | -3,81%          |
| Sistema de Iluminação                       | 9.291,60        | 9.291,60           | 9.291,60                 | 0,00%        | 0,00%           | 0,00%           |
| Equipamentos Instalados                     | 12.967,62       | 12.967,62          | 12.967,36                | 0,00%        | 0,00%           | 0,00%           |
| Sistema de Condicionamento de Ar            | 9.881,51        | 10.198,53          | 9.872,86                 | 3,21%        | -0,09%          | -3,19%          |
| Consumo Total                               | 32.140,73       | 32.457,75          | 32.131,83                | 0,99%        | -0,03%          | -1,00%          |

Fonte: elaborado pelo autor.

Pela Tabela 32, observa-se que o consumo total obtido pelo *EnergyPlus* (com modelagem em *SketchUp*) e pelo *DesignBuilder* (com modelagem em *Revit*) obtiveram diferença de 0,03%, com excelente aproximação. Ambos apresentaram diferença de aproximadamente 1,00% em relação ao consumo total obtido pelo *DesignBuilder* (com modelagem no próprio *software*).

No caso dos Equipamentos Instalados e do sistema de Iluminação, os resultados obtidos por todas as combinações entre ferramentas foram iguais. Isso ocorreu porque foram calculados, para cada zona térmica, valores absolutos de potência instalada com base na área de piso real de projeto. Tal decisão foi importante, uma vez que o *Revit* utiliza a área de piso conforme projeto, o que não ocorre de maneira exata na modelagem realizada no *SketchUp* (para simulação no *EnergyPlus*) e na modelagem no *DesignBuilder*.

No *SketchUp*, há uma maior exatidão do modelo em relação às zonas térmicas de projeto, uma vez que a modelagem foi elaborada zona por zona por cima da planta da edificação importada no formato *Drawing Exchange Format* (DXF). A modelagem foi realizada zona por zona pois foi utilizado o *software OpenStudio* para compatibilizar as superfícies de cada zona entre si (por exemplo: paredes, lajes, aberturas) antes da importação para o *EnergyPlus*, no qual foi processada a simulação propriamente dita.

Essa característica específica da modelagem no *SketchUp* justifica a aproximação com os resultados obtidos com a simulação do projeto importado do *Revit* no *DesignBuilder*. Isso porque as zonas térmicas são construídas com volumes praticamente iguais nas duas combinações, resultando em consumos energéticos muito próximos (0,03% de diferença).

A diferença (1,00%) dessas duas combinações em relação ao modelo simulado no *DesignBuilder*, porém modelado no próprio *software*, se explica pelo fato da modelagem ser elaborada de uma forma distinta no último caso. Assim como no *SketchUp*, importa-se no *DesignBuilder* a planta da edificação no formato DXF. Porém, deve-se modelar primeiramente a envoltória total externa da edificação, somente posteriormente definindo as paredes internas, por cima da planta em DXF. Assim, na definição das paredes internas para divisão das zonas térmicas, há construção de cada parede no seu eixo médio, provocando mudanças de volume das zonas térmicas adjacentes em relação ao volume real da edificação projetada. Essas diferenças volumétricas geram alterações no cálculo de carga térmica de resfriamento, refletindo, pois, no consumo anual de energia simulado.

Dessas diferenças de modelagem decorre a importância de se calcular previamente valores absolutos para potência de equipamentos, de ocupação e de iluminação, como se fez, e não definir nos *softwares* de simulação apenas valores de densidade de potência, que gerariam

valores distintos de consumo energético simulado pelo fato das modelagens apresentarem áreas de piso diferentes.

#### 4.3.2 Consumo Energético Anual para Condição de Referência

A Tabela 33 expressa os consumos energéticos obtidos, para combinação de *softwares* proposta, na condição de Referência. O consumo total se deu por soma dos consumos individuais do sistema de Condicionamento de Ar, do sistema de Iluminação e dos Equipamentos Instalados, todos avaliados em cada uma das combinações propostas (seção 3.8).

Tabela 33 - Consumo energético anual (kWh/ano) na Condição de Referência .

| SISTEMA AVALIADO<br>(kWh/ano)                  | ENERGYPLUS<br>(E+) | DESIGNBUILDER<br>(DB) | REVIT +<br>DESIGNBUILDER<br>LDER | % DB -<br>E+ | % REVIT<br>- E+ | % REVIT<br>- DB |
|--|--------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Envoltória ( Carga<br>Térmica de Resfriamento) | 80.876,36          | 80.273,23             | 80.265,37                        | -0,75%       | -0,76%          | -0,01%          |
| Sistema de Iluminação                          | 36.534,56          | 36.534,56             | 36.534,56                        | 0,00%        | 0,00%           | 0,00%           |
| Equipamentos Instalados                        | 12.967,62          | 12.967,62             | 12.967,36                        | 0,00%        | 0,00%           | 0,00%           |
| Sistema de<br>Condicionamento de Ar            | 30.611,28          | 30.619,97             | 30.618,60                        | 0,03%        | 0,02%           | 0,00%           |
| Consumo Total                                  | 80.113,46          | 80.122,15             | 80.120,53                        | 0,01%        | 0,01%           | 0,00%           |

Fonte: elaborado pelo autor.

Pela Tabela 33, observa-se que o consumo total obtido pelo *EnergyPlus* (com modelagem em *SketchUp*), pelo *DesignBuilder* (com modelagem em *Revit*) e pelo *DesignBuilder* (com modelagem no próprio *software*) apresentaram diferenças máximas de 0,01% entre si, o que demonstra que os resultados são compatíveis.

No caso dos Equipamentos Instalados e do sistema de Iluminação, os resultados obtidos por todas as combinações entre as ferramentas foram iguais. Isso ocorreu porque foram calculados, para cada zona térmica, valores absolutos de potência instalada com base na área de piso real de projeto, tal como foi feito na modelagem da edificação na condição Real, pelo mesmo motivo já apresentado.

A edificação de Referência, conforme diretrizes da INI-C (Tabela 13), não apresenta elementos de sombreamento e o Percentual de Abertura de Fachada é fixado em 50%. Assim, as três modelagens tornam-se praticamente iguais na condição de referência, o que não ocorre na modelagem da edificação Real, que segue o projeto, com suas janelas representando percentuais de abertura distintos em relação a cada fachada e com seus elementos de sombreamento representando diferentes ângulos de sombreamento em relação a cada janela.

Essa semelhança maior na modelagem da edificação de referência, por ter menos complexidade arquitetônica e por ter elementos mais homogêneos, explica o fato de as diferenças entre as três combinações de *softwares* ter se tornado quase nula (0,01%).

### 4.3.3 ENCE Geral de Projeto

Em relação ao Edifício Real, por todas as combinações analisadas, o Edifício de Referência (equivalente à classe “D” de eficiência energética) apresentou maior consumo total anual de energia. Os percentuais de economia do edifício Real em relação ao de Referência, utilizados para obtenção da ENCE Geral de projeto, estão representados na Tabela 34.

Como há apenas fontes de energia elétrica na edificação avaliada, o percentual de economia de energia primária coincide com o percentual de economia de energia elétrica. Assim, como todas as economias ficaram acima de 38% (valor do coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe “D” para a classe “A”, para o Grupo Climático 10), para todas as combinações foi obtida ENCE Geral de Projeto classe “A”.

Tabela 34 - Percentual de Economia (consumo energético anual do Edifício Real em relação ao do Edifício de Referência) para obtenção de ENCE Geral de Projeto.

| SISTEMA AVALIADO<br>(kWh/ano)  | ENERGYPLUS<br>(E+) | DESIGNBUILDER<br>(DB) | REVIT +<br>DESIGNBUILDER<br>(REVIT) |
|--|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Percentual de Economia<br>Edifício Real em relação ao de<br>Referência | 59,88%             | 59,49%                | 59,90%                              |
| ENCE Geral de Projeto  | Classe "A"         | Classe "A"            | Classe "A"                          |

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se, portanto, que apesar das diferenças entre os consumos energéticos obtidos, independentemente da combinação de *softwares* que se utilize, não houve prejuízo à ENCE. Pela Tabela 32 e pela Tabela 33, todas as três opções apresentaram praticamente a mesma precisão (diferenças máximas de 1% quanto aos consumos). Assim, a escolha do *software* a ser utilizado para aplicação em larga escala pelo Exército pode ser feita considerando outros fatores (uma vez que há semelhança de precisão), como custo dos *softwares*, tempo e complexidade do processo de modelagem e simulação.

#### 4.3.4 Observações sobre processo de modelagem e interoperabilidade

Na simulação pelo *EnergyPlus*, primeiramente foi necessária a modelagem de toda a edificação no *SketchUp* em conjunto com o *OpenStudio*. Para cada superfície desenhada no *SketchUp* (parede, porta, janela, laje, cobertura), configurou-se o tipo de superfície no *OpenStudio*, compatibilizando paredes de zonas térmicas adjacentes. Assim, para cada cômodo desenhado, deve-se, parede por parede, por exemplo, atribuir manualmente a vizinhança com paredes de cômodos vizinhos modelados anteriormente.

A modelagem dessa edificação totalizou 27 zonas térmicas, 221 superfícies, 22 janelas, 21 elementos de sombreamento e para cada um desses elementos teve-se que fazer as devidas configurações no *SketchUp* e no *OpenStudio*, o que dificultou o processo. Houve também muitos travamentos nos *softwares* devido à complexidade do modelo, causando necessidade de retrabalho algumas vezes. Ressalta-se que, ainda, todo esse processo teve que ser repetido para edificação de referência.

Uma vez finalizada a modelagem, exportou-se o modelo para o *EnergyPlus*. Nesse *software*, foram definidos todos os elementos construtivos (tipos de parede, janelas, telhados), as características de ocupação (dias e horas de ocupação, calor emitido pelos usuários), e as características dos sistemas instalados (Ar Condicionado e Iluminação). O processo deve ser feito manualmente, para cada elemento, e para cada zona térmica.

No quesito precisão, notou-se o potencial do uso conjunto do *EnergyPlus* com *SketchUp* e *OpenStudio*, combinação que ofereceu resultados com no máximo 1,00% de diferença em relação a utilização do *software* comercial *DesignBuilder*, mas com o *EnergyPlus* e *OpenStudio* sendo ferramentas gratuitas. Porém, para uma aplicação corporativa e em larga escala, como é a utilização pelo Exército, torna-se inviável essa combinação, pelo tempo aplicado de 70 horas, em média, e pela complexidade do processo.

Na modelagem e simulação realizada no *DesignBuilder*, por outro lado, houve algumas facilidades. O próprio *software* dispõe de uma ferramenta de desenho que permite a modelagem de toda a edificação. Durante a modelagem, basta que se desenhe a edificação e depois que se faça a divisão interna das zonas térmicas (por meio de paredes). O próprio *software* atribui automaticamente todas as condições de adjacências entre as superfícies.

Uma vez finalizada a modelagem, iniciou-se a fase de caracterização do modelo no *DesignBuilder*, que precedeu a simulação. Também houve diversas vantagens em relação ao uso dos *softwares* da combinação anterior, como tabelas de fácil visualização que facilitam a modelagem dos elementos construtivos, das características de ocupação e dos sistemas

instalados. O *DesignBuilder* também permitiu que as mudanças fossem atribuídas à um elemento específico, a uma zona inteira, ou mesmo para toda a edificação. Tal possibilidade evitou a necessidade de, para cada uma das 221 superfícies do caso estudado, se ter que fazer a definição de características. Características comuns a toda a edificação puderam ser definidas uma única vez e atribuídas a todo o modelo. O tempo médio aplicado nessa modelagem foi de 52 horas.

Após a simulação, a saída de dados no *DesignBuilder* pôde ser agrupada em gráficos e tabelas de fácil visualização e de alternância entre si facilitada, ao contrário do *EnergyPlus*, para o qual a saída é estritamente a que foi escolhida e, caso se queira outro dado, é necessário executar novamente a simulação.

Por fim, a última combinação analisada foi a utilização de um projeto elaborado no *Revit* com caracterização e simulação no *DesignBuilder*. Essa opção foi a mais vantajosa de todas, uma vez que o Exército já elabora seus projetos utilizando o *Revit*, e esses projetos puderam ser exportados para o *DesignBuilder*, evitando o retrabalho com o processo de modelagem que antecede a simulação. Porém, cabe salientar que, conforme descrito na seção 3.8, o projeto inicial deve passar por um processo prévio de simplificação (exclusão de elementos estruturais e de algumas zonas térmicas), criando-se o Modelo Analítico de Energia, o qual é de fato exportado para o *DesignBuilder*. Uma vez no *DesignBuilder*, o processo de caracterização é o mesmo já descrito anteriormente.

Essa terceira opção foi menos trabalhosa que as demais e eliminou a necessidade da modelagem digital para simulação de um projeto que já existe em BIM, e que, por meio de interoperabilidade, pôde ser reaproveitado. Assim, é perfeitamente possível que o Exército Brasileiro, que atende ao Decreto n° 10.306 (BRASIL, 2020a), o qual exige utilização de BIM, e à IN n° 02 (SLTI-MPOG, 2014), a qual obriga obtenção de ENCE classe “A” para projetos, possa agilizar o processo de análise energética de seus empreendimentos, com a interoperabilidade entre o BIM e o BEM. O tempo médio empregado nessa modelagem foi de 39 horas.

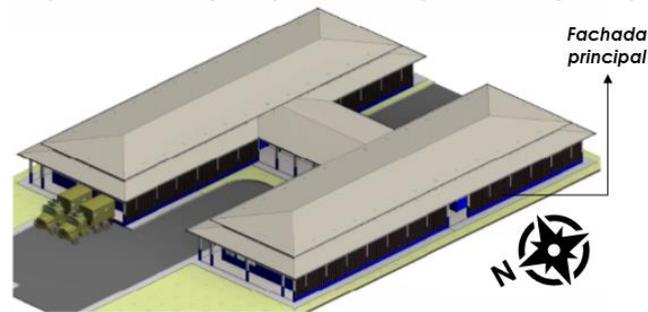
#### **4.4 OTIMIZAÇÃO POR ANÁLISE PARAMÉTRICA DO POSICIONAMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO**

Na seção 4.2, foram definidos o tipo de modelagem de cobertura e de ar condicionado, e o arquivo climático que melhor aproxima os resultados do método Simplificado e de Simulação da INI-C: arquivo climático “SWERA”, objeto “PTAC” de modelagem do sistema

de condicionamento de ar e modelagem da cobertura conforme projeto (funcionando como zona térmica). Utilizando esses parâmetros, foi realizada uma análise paramétrica no *DesignBuilder* para determinação do posicionamento solar da edificação que proporciona menor consumo energético anual para edificação.

Na apresentação desses resultados, adotou-se a seguinte convenção: a posição projetada da edificação tem fachada principal voltada para o Oeste (Figura 55), com posicionamento solar de  $90^\circ$  em relação ao Norte (ângulo  $0^\circ$ , ou  $360^\circ$ ).

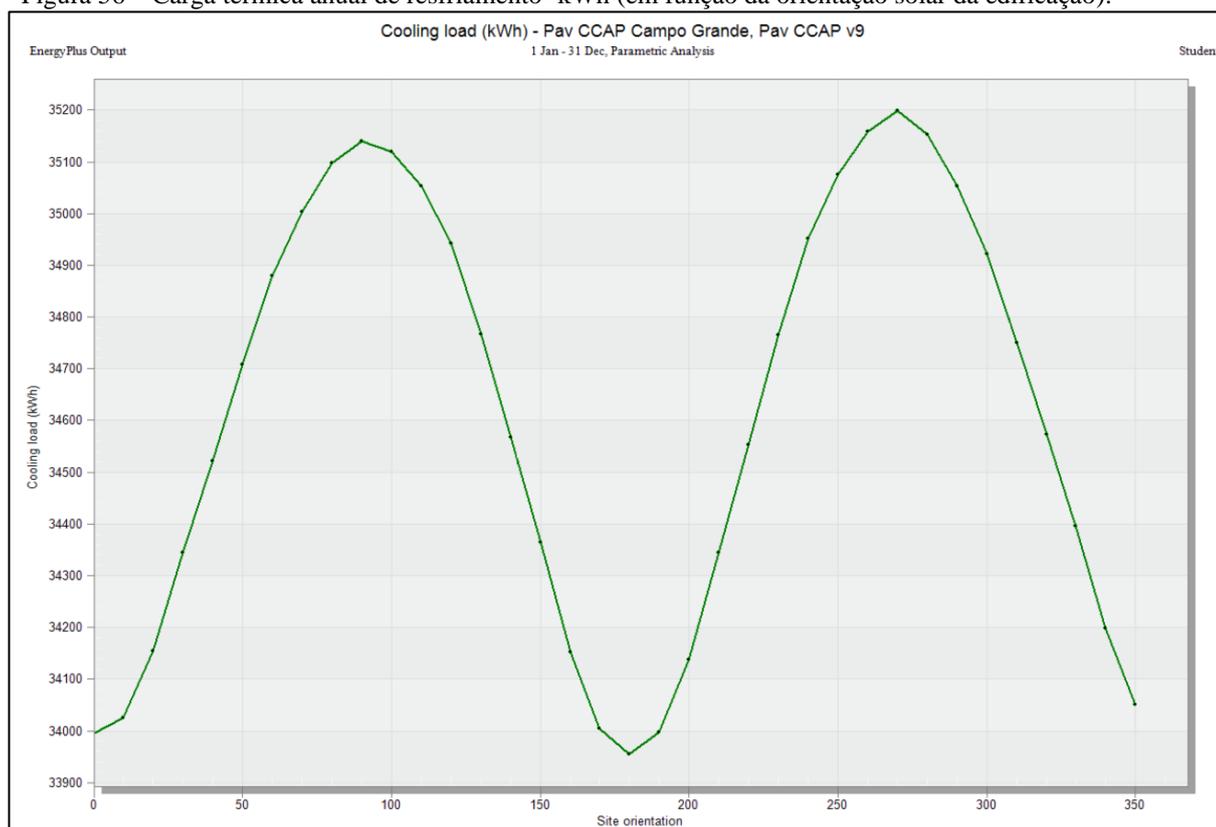
Figura 55- Indicação da fachada principal da edificação na condição de projeto.



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme descrito na seção 3.9, variou-se a orientação da fachada principal da edificação de  $0^\circ$  a  $350^\circ$  em relação ao Norte, com incremento de  $10^\circ$ . A Figura 56 ilustra a carga térmica anual de resfriamento em kWh (no eixo "y") e o posicionamento da edificação em relação ao Norte (no eixo "x").

Figura 56 – Carga térmica anual de resfriamento- kWh (em função da orientação solar da edificação).



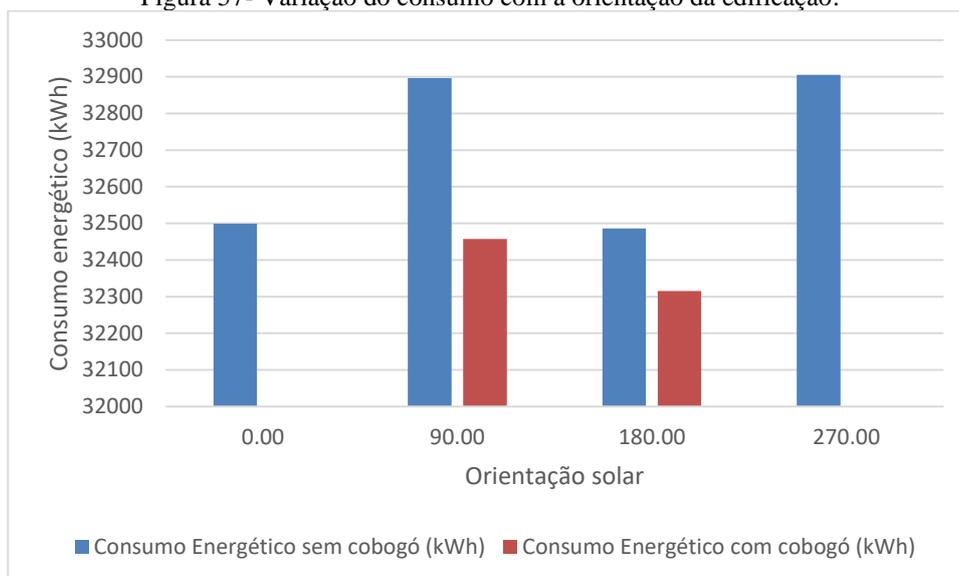
Fonte: elaborado pelo autor.

Essa análise evidenciou que a orientação da edificação de 90° em relação ao Norte (ou seja, fachada principal a Oeste, conforme projetado) e a de 270° (fachada principal a Leste) representam os maiores valores de carga térmica de resfriamento e de consumo energético. Por outro lado, as orientações solares de 0° e 180°, respectivamente, com fachadas principais a Norte e Sul, os menores valores.

A posição de 180° (fachada principal a Sul) apresentou o menor consumo energético de todos. Conforme seção 3.9, essa análise inicial foi realizada desconsiderando a utilização de cobogós. Portanto, o consumo energético dessa posição pode ser mais otimizado quando são posicionados cobogós que diminuam a insolação nas fachadas voltadas para o Norte. Os valores de consumo energético máximos e mínimos, oriundos da análise paramétrica, foram apresentados na Figura 57.

Na Figura 57, procurou-se destacar separadamente os consumos sem cobogós nas posições solares de limites superiores e inferiores de consumo energético (0°,90°,180°,270°). O cobogó na posição de 90° é aquele previsto no projeto inicial deste pavilhão. O cobogó na posição de 180° é aquele posicionado na fachada que resultou em maior redução da carga térmica da edificação (fachada norte).

Figura 57- Variação do consumo com a orientação da edificação.



Fonte: elaborado pelo autor.

A diferença entre os consumos energéticos na pior (270°) e na melhor posição (180°) foi de apenas 1,29%. Quando a edificação é rotacionada de 90° (fachada principal a Oeste) para 180° (fachada principal a Sul), o consumo reduziu em 1,25%, mas a área de telhado voltada para o Norte aumentou significativamente. Isso permitiria que um sistema fotovoltaico fosse alocado nesse telhado, que possui ângulo azimutal nulo. Assim, apesar da redução no consumo energético ser pequena (1,25%), há um potencial de aumento da capacidade de geração de energia fotovoltaica, que foi avaliado em outros estudos.

Uma vez que esse pavilhão analisado já se encontra em construção, as medidas avaliadas nessa seção não podem ser colocadas em prática nesse empreendimento. Porém, pôde-se demonstrar a importância de um projeto baseado na análise prévia do desempenho energético. Os Planos Diretores das Organizações Militares, caso passassem a ser elaborados após uma avaliação inicial do posicionamento solar ótimo, poderiam resultar em alocações das edificações que propiciariam menores consumos energéticos e maiores potenciais fotovoltaicos, facilitando a construção de Edifícios de Energia Zero no âmbito do Exército Brasileiro.

## 5 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Em períodos de restrições orçamentárias que afetam instituições públicas brasileiras, é comum a imposição de medidas visando redução do consumo energético. No caso do Exército Brasileiro, tais medidas implicam, em alguns períodos e em certos horários do dia, restrições ao uso do sistema de condicionamento de ar.

Como o Pavilhão Militar aqui estudado é uma edificação projetada para ter todas as zonas de permanência prolongada condicionadas artificialmente, não foram avaliadas questões como ventilação natural e percentual de horas em conforto térmico nessa condição. Entretanto, para trabalhos futuros, seria interessante que fosse realizada uma pesquisa de consumo nas edificações militares para que fossem identificadas as épocas e os horários do dia em que os aparelhos de ar-condicionado poderiam permanecer desligados. Assim, poderia ser realizada uma avaliação em relação ao conforto térmico dos usuários da edificação nessa condição, possibilitando propor técnicas construtivas para melhorar o percentual de horas ocupadas em conforto térmico, como a utilização de ventilação cruzada e de resfriamento evaporativo.

Nesse estudo, também não foram avaliadas as peculiaridades das edificações militares que as diferenciam das outras edificações de escritório da sociedade civil. Foi aqui aplicada a INI-C, que, por sua vez, foi elaborada para edificações públicas, comerciais e de serviços no geral. No treinamento da Rede Neural Artificial da INI-C, por exemplo, Versage (2015) simulou 1,29 milhão de casos com diversas tipologias comuns a esses tipos de edificações. Poderia, porém, ser realizado um estudo mapeando edificações militares de todo o Brasil, utilizando os dados para treinamento de uma Rede Neural Artificial específica para essa tipologia de edificações. Possivelmente, tal fato melhoraria a previsão de desempenho energético nessas edificações, utilizando esses modelos.

Cabe destacar, entretanto, que esse seria um estudo mais aprofundado, uma vez que o próprio Versage (2015) sugere a adoção de uma amostra de mais de 3.380 casos para garantir uma estabilidade satisfatória do metamodelo baseado em Redes Neurais Artificiais.

Uma alternativa seria a elaboração de um *benchmarking* energético próprio para edificações militares, que deveria ser construído para representar o desempenho energético desse tipo de edificação. Esse também seria um estudo separado, pois haveria a necessidade de levantamento de dados (tais como consumos energéticos anuais, dados construtivos, localização, entre outros) em diversos quartéis. Assim, poderiam ser elaboradas equações, em

funções de parâmetros a serem selecionados, utilizadas para previsão do consumo das edificações militares.

A vantagem desse processo é que ele já foi realizado no âmbito do Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis para agências bancárias (dados de mais de 10.000 agências) e para escritórios corporativos, e está sendo realizado para prédios públicos (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). Assim, já há pelo menos um método a ser seguido no caso do *benchmarking* de edificações militares, obviamente com necessidade de adaptações.

Neste trabalho, foram realizadas diversas simulações para previsão de consumo do Pav CCAp. Houve proximidade dos dados obtidos por essas simulações com os dados obtidos com a utilização do metamodelo do método Simplificado da INI-C, conforme apresentado.

Salienta-se que, uma vez que o pavilhão estudado ainda está em processo de construção, não foi possível realizar medições de consumo energético e de temperaturas internas durante a operação da edificação. Esses dados, juntamente com outras medições (inclusive de clima local), permitiriam uma validação dos modelos de simulação, calibrando-os para uma melhor previsão de consumo energético.

Esse processo facilitaria o convencimento do escalão superior do Exército Brasileiro para alocação de mais recursos para área de Eficiência Energética de Edificações, uma vez que ficariam latentes os ganhos por economia de energia em edificações que foram projetadas com a utilização de técnicas de EE, em relação às outras edificações militares.

Sugere-se, portanto, que seja realizado um estudo complementar a este, com os modelos de simulação aqui elaborados, e com medições *in loco* de consumo energético e de temperaturas internas, quando o Pav CCAp estiver concluído, procedendo-se a calibração desses modelos.

Notou-se ainda, que há complexidade inerente ao processo de simulação que, aliada a uma carência de cursos e de manuais de simulação voltados à realidade brasileira, cria uma resistência institucional à aplicação do método de Simulação. Prova disto é que o Exército ainda não tem nenhuma edificação etiquetada por esse método, mas apenas pelo método Prescritivo do RTQ-C.

Portanto, sugere-se que sejam elaborados manuais do *EnergyPlus* e do *DesignBuilder* voltados à realidade brasileira, com destaque para os objetos de simulação e para a modelagem de sistemas tipicamente utilizados nas instituições públicas, comerciais e de serviços do país. Tais manuais facilitariam a utilização dessas poderosas ferramentas para que os projetos fossem elaborados baseados no seu desempenho energético.

## 6 CONCLUSÕES

O Exército Brasileiro deve obter ENCE Geral de Projeto nível “A” para todas as suas edificações, novas ou que passem por *retrofit*. O projeto do pavilhão tomado para estudo nesse artigo obteve esse nível quando avaliado pelo método Prescritivo do RTQ-C. Uma vez que a INI-C deve substituir o regulamento anterior, uma nova avaliação foi realizada.

Observou-se que o método de avaliação energética de edificações previsto na INI-C apresenta diversas vantagens em relação ao previsto no RTQ-C. A divisão em zonas térmicas e o uso do metamodelo que utiliza Redes Neurais Artificiais para o cálculo da carga térmica anual de resfriamento, levando em conta as propriedades termofísicas da edificação em estudo, já demonstra que o novo método é mais completo. A comparação do consumo energético anual de uma edificação Real com uma edificação de referência, a fim de determinar a classe de eficiência energética atingida por meio da economia, também é uma grande vantagem em relação ao método de pontuações previstos no RTQ-C.

Apesar dessas melhorias no método, no estudo de caso de um pavilhão militar, as ENCE obtidas pelo método Prescritivo do RTQ-C e pelo método Simplificado da INI-C foram praticamente iguais. Pelos dois métodos, a edificação avaliada obteve ENCE Geral de Projeto Classe “A”. Quanto às ENCE Parciais, todas elas permaneceram as mesmas na aplicação dos dois métodos, exceto no caso da Envoltória do Pavilhão, a qual passou de Nível “B” segundo o RTQ-C para Classe “A” segundo o INI-C.

Nesse estudo, também procurou-se comparar os dois métodos da INI-C entre si, de forma a apresentar um procedimento de avaliação que possa ser replicado pelo Corpo Técnico do Exército, em futuras aplicações desse regulamento. Isso porque há diversas possibilidades de arquivos climáticos, de *softwares* de simulação e de objetos que podem ser utilizados na aplicação do método de Simulação, gerando uma certa indefinição que poderia criar resistência à etiquetagem por esse método (até o momento o Exército só tem edificações etiquetadas pelo método Prescritivo).

Foram aplicados os métodos Simplificado e de Simulação da INI-C ao projeto dessa edificação, obtendo-se resultados de consumo energético, carga térmica anual e ENCE Geral. Para uma melhor comparação, foram avaliados 52 cenários de modelagem: para o Simplificado, foram testados dois tipos de cobertura (equivalente e adiabática). Para o de Simulação, foram utilizados dois *softwares* (*EnergyPlus* e *DesignBuilder*), dois tipos de modelagem do sistema de condicionamento de ar (com o objeto “*IdealLoads*” e com o objeto “PTAC”), dois tipos de

arquivos climáticos (“SWERA” e “INMET 2016”) e três tipos de modelagens geométricas de cobertura (tal como no projeto, com componente equivalente de cobertura e cobertura adiabática).

A modelagem que gerou menor diferença (em média 1,37%) entre os métodos foi a com objeto “PTAC” de condicionamento de ar, com arquivo climático “SWERA”, e com cobertura modelada como no projeto (com laje técnica funcionando como zona térmica). A maior diferença entre os métodos foi, em média, 9,82%, na modelagem com objeto “PTAC”, arquivo “INMET 2016”, e cobertura de projeto.

Apesar da diferença entre os cenários, o nível de eficiência energética não foi modificado com as diferentes formas de modelagem, obtendo-se sempre nível “A” para a edificação, com média de 58,08% de economia do edifício na condição Real em relação à de referência (equivalente à classe “D”).

Portanto, concluiu-se que o método Simplificado e o método de Simulação da INI-C fornecem resultados compatíveis, podendo ambos serem aplicados sem diferenças significativas.

Apesar da INI-C recomendar a utilização do arquivo climático “INMET 2016”, os resultados desse trabalho mostraram que a utilização de arquivo climático “SWERA” nas simulações, no caso da cidade de Campo Grande, MS, em todas os cenários, foi mais vantajosa que a utilização do “INMET 2016”. Isso porque, com o “SWERA”, foram obtidos valores de carga térmica de resfriamento e de consumo energético anual, em média, 46,55% e 12,64% maiores, respectivamente, que com “INMET 2016” (análise energética mais conservadora). Além disso, as diferenças médias de carga térmica e de consumo anual entre os métodos de Simulação e Simplificado foram, respectivamente, de +3,33% e +1,51%, quando utilizado “SWERA” e de -29,44% e -9,98%, quando utilizado “INMET 2016”. Assim, com utilização do “SWERA, aproximam-se os resultados entre os métodos de Simulação e Simplificado da INI-C, validando os resultados entre si. Recomenda-se, portanto, a utilização do “SWERA” para estudos e aplicações futuras da INI-C em Campo Grande, MS.

Para aplicação do método de Simulação, a utilização dos *softwares EnergyPlus* e *DesignBuilder* se mostrou viável, sem diferença significativa de resultados qualquer que seja utilizado (diferença máxima de 7,22% entre os consumos obtidos pelo *EnergyPlus* e pelo *DesignBuilder*). Porém, a utilização do *DesignBuilder* foi considerada mais simples, com ganho de tempo na aplicação.

O projeto do pavilhão tomado para estudo nesse trabalho foi elaborado utilizando BIM no *software Autodesk Revit*. Buscando aproveitar a possibilidade de integração entre o BIM e

ferramentas de simulação termoenergética de edificações, foi realizada uma análise energética desse pavilhão militar utilizando três combinações entre *softwares*, por meio do método de Simulação da INI-C: modelagem da edificação no *SketchUp* e no *OpenStudio*, caracterização e simulação no *EnergyPlus*; modelagem, caracterização e simulação da edificação no *DesignBuilder*; e utilização do projeto em *Revit* para caracterização e simulação no *DesignBuilder*, após processo de interoperabilidade. Em todas as simulações, já foram utilizados o arquivo climático “SWERA”, o objeto “PTAC” de modelagem de condicionamento de ar, e a modelagem da cobertura como zona térmica, todos esses parâmetros tendo sido definidos também nesse trabalho.

Para cada combinação de *softwares*, foram obtidos os consumos energéticos anuais, as cargas térmicas de resfriamento anuais e as respectivas ENCE Geral de Projeto. Para isso, foram elaboradas modelagens da edificação militar na condição Real (tal como no projeto) e na condição de Referência (com características estabelecidas pela INI-C, equivalentes à uma edificação com ENCE Classe “D”).

O consumo energético anual da edificação na condição Real foi de 32.140,73 kWh para a combinação utilizando *EnergyPlus*; 32.457,75 kWh para a combinação utilizando apenas *DesignBuilder*; e 32.131,83 kWh para a combinação utilizando *Revit* e *DesignBuilder*. As diferenças entre as modelagens foram de no máximo 1,00%, demonstrando compatibilidade.

Para a modelagem na condição de referência, os consumos energéticos anuais foram, respectivamente, 80.113,46 kWh; 80.112,15 kWh; e 80.120,53 kWh. As diferenças entre cada combinação na condição de referência foram de no máximo 0,01%, com correlação ainda melhor, uma vez que a modelagem da edificação de referência apresenta maior homogeneidade dos elementos construtivos.

Os percentuais de economia de energia da edificação Real em relação a edificação de referência foram de, respectivamente, 59,88%; 59,49% e 59,90%. Assim, para todas as combinações de *softwares* foi obtido ENCE Geral de Projeto Classe “A”.

A combinação de maior facilidade e rapidez de aplicação foi a do *Revit* interoperável com *DesignBuilder* (em média 39h), seguida da modelagem e simulação no próprio *DesignBuilder* (em média 52h), e por fim, da modelagem em *SketchUp* e *OpenStudio* com simulação no *EnergyPlus* (em média 70h).

Cabe ressaltar que é muito importante que o projeto elaborado no *Revit* passe por simplificações (apresentadas no trabalho) antes de ser exportado para o *DesignBuilder*, por meio da utilização de um Modelo Analítico de Energia intermediário.

Os resultados deste trabalho mostraram que a utilização de projeto elaborado em BIM, em conjunto com *software* de simulação interoperável, agilizou o processo de análise termoenergética de edificações. Concluiu-se que é viável, além de ser vantajosa, a utilização da interoperabilidade entre *Revit* e *DesignBuilder* para etiquetagem energética de edificações do Exército Brasileiro, atendendo as diretrizes nacionais, economizando recursos e melhorando o conforto dos usuários dos empreendimentos militares.

Por fim, uma análise paramétrica em *software DesignBuilder* mostrou que, rotacionando a fachada principal em 90°, o consumo anual diminuiu 1,25% e a área de telhado voltada para o norte aumentou, resultando em maior área disponível para instalação de módulos fotovoltaicos com ângulo azimutal nulo (0° N).

Percebeu-se a importância da utilização de ferramentas de simulação termoenergética e de geração fotovoltaica para elaboração de projetos baseados em desempenho pelo Exército Brasileiro. A orientação da edificação deveria ter levado em consideração a instalação de sistemas fotovoltaicos, preferindo orientações que resultassem em menor consumo energético e maior potencial fotovoltaico.

Resta ainda a necessidade em estudos futuros de verificar se os valores de consumo energético calculados pelo método Simplificado e pelo método de Simulação da INI-C são coerentes com medições de consumo na fase de uso da obra. Tal comparação permitiria uma validação dos modelos de simulação para melhor previsão do consumo energético, trazendo mais credibilidade ao processo de etiquetagem de edificações do Exército Brasileiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. a.

ABNT. **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, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. b.

ABNT. **NBR 16401 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABNT. **NBR 15575 -Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1 : Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

AGÊNCIA BRASIL. **Déficit nas contas públicas deve chegar a R\$ 600 bilhões este ano**. 2020. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-04/deficit-nas-contas-publicas-deve-chegar-r-600-bilhoes-este-ano>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

AGÊNCIA CONTAS ABERTAS. **Cai Gasto Com Energia Elétrica Em Prédios Públicos**. 2018. Disponível em: <<http://agenciacontasabertas.com.br/noticia/cai-gasto-com-energia-eletrica-em-predios-publicos>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

ALTOÉ, L. *et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avancados**, São Paulo, SP, v. 31, n. 89, p. 285–297, 2017.

ARAÚJO, V. M. S. **Aplicação da metodologia BIM na análise termoenergética comparativa do edifício Utopia**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Minho, Portugal, 2016.

ARIMURA, T. H.; TARUI, N. Enhancing renewable energy and energy efficiency: Japanese and US policies with implications for Asia. **Environmental Economics and Policy Studies and Springer**, Japão, v. 19, n. 3, p. 451–457, 2017.

BAVARESCO, M. V. *et al.* Análise Da Precisão De Um Metamodelo Para a Avaliação De Eficiência Energética Em Edificações. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2017, Balneário Camboriu, SC. **Anais...** Balneário Camboriu, SC: ENCAC, 2017.

BIOCLIMATISMO. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. 2020. Disponível em: <<http://bioclimatismo.com.br/bioclimatismo/zoneamento-bioclimatico-brasileiro/>>. Acesso

em: 15 jan. 2020.

BORGES, J. G. *et al.* Uso do BIM no processo de quantificação de emissões de CO<sub>2</sub> no projeto de edificações: Estudo de Caso para o software Designbuilder. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, GO, v. 14, n. 1, p. 142–156, 2018.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação**. São Paulo, SP.

BOYARINOV, A.; PLASTININA, I.; DUKMASOVA, N. ICSC - Policy for energy saving and increase of efficiency in Russia in the spheres of construction, housing and community amenities. **E3S Web of Conferences**, Ekaterinburg, Russia, v. 6, n. 889, 2016.

BRASIL. Portaria Interministerial MME/MIC n° 1.877, de 30 de dezembro de 1985. Institui o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e dá outras providências. Brasília, DF, 1985.

BRASIL. Decreto de 18 de julho de 1991. Institui o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet) e dá outras providências. Brasília, DF, 1991.

BRASIL. Lei n° 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Lei n° 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF, 2001a.

BRASIL. Decreto n° 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n.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.

BRASIL. Portaria n° 073, de 27 de fevereiro de 2003. Aprova as Instruções Gerais para o Planejamento e Execução de Obras Militares no Exército (IG 50-03). Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Decreto n° 9.632, de 26 de dezembro de 2018. Distribui o efetivo de pessoal militar do Exército em tempo de paz para o ano de 2019. Brasília, DF, 2018a.

BRASIL. Decreto n° 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling . Brasília, DF, 2018b.

BRASIL. **ESTRATÉGIA BIM BR - Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM**. Brasília, DF, 2018. c.

BRASIL. **Histórico do Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2019a. Disponível em: <<https://www2.inmetro.gov.br/pbe/historico.php>>. Acesso em: 29 out. 2019.

BRASIL. **O Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2019b. Disponível em: <[https://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca\\_o\\_programa.php](https://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php)>. Acesso em: 29 out. 2019.

BRASIL. **PROCEL EDIFICA - Sobre**. 2019c. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 29 out. 2019.

BRASIL. **Edificações Comerciais Etiquetadas**. 2019d. Disponível em: <<http://pbeedifica.com.br/edificacoes-etiquetadas/comercial>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

BRASIL. Portaria nº 097-EME, de 4 de abril de 2019. Constitui Grupo de Trabalho (GT) para propor soluções de racionalização de custos no âmbito do Exército Brasileiro, baseadas em eficiência energética, geração de energia renovável e utilização do Mercado Livre de Energia. Brasília, DF, 2019e.

BRASIL. **EB SUSTENTÁVEL**. 2019f. Disponível em: <<http://www.dom.eb.mil.br/index.php/s2-projetos/eb-sustentavel>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

BRASIL. Portaria nº 065/DEC, de 17 de maio de 2019. Aprova as Instruções Reguladoras para a Elaboração, a Apresentação e a Aprovação de Projetos de Obras Militares no Comando do Exército (EB50-IR-03.001). Brasília, DF, 2019g.

BRASIL. **SISTEMA UNIFICADO DO PROCESSO DE OBRAS (OPUS)**. 2019h. Disponível em: <<http://www.dom.eb.mil.br/opus/>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 Brasília, DF., 2020a.

BRASIL. **Interoperabilidade**. 2020b. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/869-interoperabilidade-o-que-é>>. Acesso em: 3 mar. 2010.

CARVALHO, A. P. L. F. D. **Introdução às Características Gerais das Redes Neurais**. 2020. Disponível em: <<https://sites.icmc.usp.br/andre/research/neural/>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

CASTRO, R. P. De. **OPUS: O BIM no Exército Brasileiro**. Brasília, DF: Seminário BIM em Obras Públicas de 2016, 2016.

CB3E. **Proposta de Método para Avaliação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - Apresentação**. 2017. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Método comercial - CT Inmetro.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2019.

CB3E. **PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética nas Edificações - Apresentação**. 2019a. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em: 15 out. 2019.

CB3E. **Etiquetagem em edificações - Exemplos de ENCE Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** 2019b. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF48ABFE1-2335-4951-9FF9-C5E9B27815AC%7D>>. Acesso em: 30 out. 2019.

CB3E. **Novo método de avaliação energética de edificações baseado em energia primária.** 2019c. Disponível em:

<<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>>. Acesso em: 30 out. 2019.

CB3E. **Metamodelo online baseado em RNA para cálculo da carga térmica anual de uma edificação.** 2019d. Disponível em:

<[http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index\\_with\\_angular.html#](http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#)>. Acesso em: 17 ago. 2019.

CB3E. **Planilha médias anuais e mensais de Temperatura de Bulbo Seco para diferentes cidades brasileiras.** 2019e. Disponível em:

<[http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Planilha\\_A.IV\\_Temperatura\\_ar\\_mensal\\_anual.xlsx](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Planilha_A.IV_Temperatura_ar_mensal_anual.xlsx)>. Acesso em: 10 out. 2019.

CHE, L. *et al.* Using building information modeling for measuring the efficiency of building energy performance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING (ICCCBE). 2010, Nottingham, Reino Unido. **Anais...** Nottingham, Reino Unido: ICCCB, 2010.

CINTRA, M. S. **Curso para setor público - Etiquetagem de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Brasília, DF: Quali-A, 2016.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Campo Grande, MS.** 2020. Disponível em:

<<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso-do-sul/campo-grande-3912/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CO/ 3º GPT E. **Planta Baixa e Perspectivas - Construção da Companhia de Comando e Apoio (CCAp).**Campo Grande, MS.Exército Brasileiro. Diretoria de Obras Militares, , 2017. a.

CO/ 3º GPT E. **Planta de Lay-Out (Planta Humanizada), Estudo de Insolação e Perspectivas - Construção da Companhia de Comando e Apoio (CCAp).**Campo Grande, MS.Exército Brasileiro. Diretoria de Obras Militares, , 2017. b.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0.** 2019. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 12 out. 2019.

DESIGNBUILDER. **3-D CAD Model Import (gbXML).** 2014. Disponível em:

<<http://www.designbuilder.co.uk/content/view/67/106/>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

DESIGNBUILDER. **DesignBuilder Help - Welcome to DesignBuilder v6**. 2019a. Disponível em: <[https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/#GetStarted.htm%3FTocPath%3DGet%2520Started%7C\\_\\_\\_\\_0](https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/#GetStarted.htm%3FTocPath%3DGet%2520Started%7C____0)>. Acesso em: 3 out. 2019.

DESIGNBUILDER. **DesignBuilder Dynamic Simulation Model ( DSM ) User Manual**. 2019b. Disponível em: <<https://designbuilder.co.uk/download/documents/374-designbuilder-dsm-manual-v6-1-0/file>>. Acesso em: 3 out. 2019.

DESIGNBUILDER. **DesignBuilder: Packages for Engineers**. 2020. Disponível em: <<https://designbuilder.co.uk/software/for-engineers>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR. **Designing energy-efficient buildings**. 2020. Disponível em: <<https://www.dena.de/en/topics-projects/energy-efficiency/buildings/>>. Acesso em: 9 jan. 2020.

DIXON, R. K. *et al.* US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities. **Energy Policy**, Washington, EUA, v. 38, n. 11, p. 6398–6408, 2010.

DOE. **EnergyPlus 9.2.0 Documentation Input Output Reference**. 2019. Washington, EUA.

EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM. Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2014.

EPE. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2020 – ano base 2019**. Brasília, DF: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020. a.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 - ano base 2019**. Brasília, DF: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020. b.

EUROPEAN COMMISSION. **Energy Performance of Buildings**. 2020. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>>. Acesso em: 9 jan. 2020.

EVANS, M.; SHUI, B. **Country Report on Building Energy Codes in Japan**. Richland, Washington, Estados Unidos da América: U.S. Department of Energy, 2009.

EVANS, M.; UMD, HC. **Country Report on Building Energy Codes in China**. Richland, Washington, Estados Unidos da América: U.S. Department of Energy, 2009.

FONTANA, F.; FONSECA, R. W.; PEREIRA, F. O. R. Impacto Do Contexto Urbano Na Disponibilidade De Luz Natural No Ambiente Interno E No Consumo Energético De Iluminação Artificial. In: XV ENCAC 2019, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB:

ENCAC, 2019.

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

FOSSATI, M.; MORISHITA, C.; LAMBERTS, R. A eficiência energética em edificações e a regulamentação brasileira. **RBEE - Revista Brasileira de Eficiência Energética**, Florianópolis, SC, v. 1, p. 5–13, 2011.

GELLER, H. *et al.* Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**, Boulder, CO, Estados Unidos da América, v. 32, n. 12, p. 1437–1450, 2004.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, Los Angeles, Califórnia, Estados Unidos da América, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.

GOMES, A. F. **Eficiência energética em edificações públicas do Poder Executivo Federal: Oportunidades e Desafios no Contexto do Program Brasileiro de Etiquetagem (PBE - EDIFICA)**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília - UNB, Brasília, DF, 2017.

GOOGLE MAPS. **Imagem de Satélite da Região do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica, Campo Grande, MS**. 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-20.4389927,-54.6457304,197m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

GOUVEIA, A. C. A. *et al.* Obtenção de coordenadas da geometria de um edificação para arquivo do EnergyPlus utilizando o Revit. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, MG, v. 6, n. 2, 2014.

GUSEV, A. **Comparison of energy efficiency measures in Russia to those implemented by developed countries (including IEA measures)**. Berlim, Alemanha: German Institute for International and security Affairs, 2013.

HALVERSON, M.; SHUI, B.; EVANS, M. **Country Report on Building Energy Codes in the United States**. Richland, Washington, Estados Unidos da América: U.S. Department of Energy, 2009.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Nova Iorque, Estados Unidos da América.

HOLT, L.; GALLIGAN, M. Energy efficiency policies as part of carbon reduction efforts: Lessons from the EU for the U.S. **Electricity Journal**, Gainesville, Flórida, Estados Unidos da América, v. 26, n. 7, p. 33–42, 2013.

HUANG, B.; MAUERHOFER, V.; GENG, Y. Analysis of existing building energy saving policies in Japan and China. **Journal of Cleaner Production**, Shanghai, China, v. 112, p. 1510–1518, 2016.

HUO, T. *et al.* China's energy consumption in the building sector: A Statistical Yearbook-Energy Balance Sheet based splitting method. **Journal of Cleaner Production**, Chongqing, China, v. 185, p. 665–679, 2018.

IEA. **Transition to Sustainable Buildings - Strategies and Opportunities to 2050**. Paris, França: International Energy Agency, 2013.

IEA. **Global Energy & CO2 Status Report**. Paris, França: International Energy Agency, 2018. a.

IEA. **Energy Efficiency 2018 - Analysis and outlooks to 2040**. Paris, França: International Energy Agency, 2018. b.

IEA. **World Energy balances - overview**. Paris, França: International Energy Agency, 2019. a.

IEA. **Global Status Report for Buildings and Construction 2019**. Paris, França: International Energy Agency, 2019. b.

IEA. **Tracking Buildings**. Paris, França: International Energy Agency, 2019. c.

IEA. **International Energy Outlook 2019 with projections to 2050**. Washington, EUA: International Energy Agency, 2019. d.

INMETRO. Portaria n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009. RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 2009.

INMETRO. Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Atualização da Portaria n.º 53/2010, RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. 2010.

INMETRO. Portaria n.º 17, de 16 de janeiro de 2012. Aprova a retificação do RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. 2012a.

INMETRO. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. Aprova a revisão do RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 2012b.

INMETRO. Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013. Inclusão de Itens na Portaria n.º 372/2012, RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 2013a.

INMETRO. Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Aprova o aperfeiçoamento dos

RAC: Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações. 2013b.

INMETRO. Anexo da Portaria INMETRO n° 50/2013. Anexo Geral V - Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. 2013c. p. 28.

INMETRO. Portaria n° 372, de 17 de setembro de 2010. Com alterações das portarias: n° 17/2012, n° 299/2013 e n° 126/2014 - Atualização do RTQ-C, Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. 2014.

INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

INMETRO. Portaria n° 248, de 10 de julho de 2018. Consulta Pública da INI-C: Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Aperfeiçoamento do RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 2018.

INMETRO. **Tabela de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de serviços e públicas**. 2020a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

INMETRO. **Informação ao Consumidor - Tabelas de Consumo/ Eficiência Energética dos Condicionadores de Ar**. 2020b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

INMETRO. **Informação ao Consumidor - Tabelas de Consumo/ Eficiência Energética dos Coletores Solares**. 2020c. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

ISO. ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema. Suíça, 2018. p. 1474.

JUNIOR, A. G. **Crise do Petróleo**. 2019. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/economia/crise-do-petroleo/>>. Acesso em: 3 set. 2019.

KAMEL, E.; MEMARI, A. M. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. **Automation in Construction**, Nova Iorque, Estados Unidos da América., v. 97, n. June 2017, p. 164–180, 2019.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. **BIM Building Information Modeling No Brasil e na União Europeia**. Brasília, DF: MDIC/UE- União Europeia “Apoio aos Diálogos Setoriais UE-Brasil, Fase III”, 2015.

KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM : Successful sustainable design with building**

**information modeling**. Indianápolis, Indiana, Estados Unidos da América: Wiley Publishing, Inc, 2008.

KUMAR, S. *et al.* Developing an Energy Conservation Building Code Implementation Strategy in India. In: 2010 ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS 2010, Pacific Grove, California, Estados Unidos da América. **Anais...** Pacific Grove, California, Estados Unidos da América.: ACEEE, 2010.

KUMAR, S. **Interoperability between Building Information Models (BIM) and energy analysis programs**. 2008. Dissertação de Mestrado. Faculty of the School of Architecture - University of Southern California, Los Angeles, Califórnia, Estados Unidos da América, 2008.

LABEEE/UFSC. **Arquivos climáticos INMET 2016**. 2019a. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 2 out. 2019.

LABEEE/UFSC. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. 2019b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 20 out. 2019.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de edificações - Aula 14: Simulação de Consumo de Energia e S3E**. 2016. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula\\_14-Simulacao\\_Energia-S3E.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula_14-Simulacao_Energia-S3E.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2019.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de edificações - Aula 13: Etiquetagem de eficiência energética em edificações – RTQ-R e RTQ-C**. 2019. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Etiquetagem-RTQR\\_e\\_RTQC.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Etiquetagem-RTQR_e_RTQC.pdf)>. Acesso em: 8 jun. 2019.

LIANG WONG, I.; KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. **Energy Policy**, Glasgow, Reino Unido, v. 109, n. June, p. 310–323, 2017.

LYCHUK, T.; HALVERSON, M. A.; ROSHCHANKA, V. **Analysis of the Russian market for building energy efficiency**. Richland, Washington, Estados Unidos da América: Pacific Northwest National Laboratory - U.S. Department of Energy, 2012.

MARTINI, G. **BIM e as Políticas Públicas do Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://www.gmarquiteturaengenharia.com/single-post/2018/03/10/BIM-E-AS-POLITICAS-PUBLICAS-DO-BRASIL>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

MELO, A. P. *et al.* Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation

model using BESTEST: The case study of Brazilian regulation. **Energy and Buildings**, Florianópolis, SC, v. 45, p. 219–228, 2012.

MELO, A. P. *et al.* Desenvolvimento de um método para aprimorar a precisão do método prescritivo da etiquetagem PROCEL/INMETRO para edifícios comerciais. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2013, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ENCAC, 2013.

MOTHERWAY, B. **Energy efficiency is the first fuel , and demand for it needs to grow**. 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/commentaries/energy-efficiency-is-the-first-fuel-and-demand-for-it-needs-to-grow>>. Acesso em: 8 jan. 2020.

NBIMS-US. National BIM Standard. Estados Unidos da América, 2013.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION - NATO. **Smart Energy**. 2019. Disponível em: <<http://www.natolibguides.info/smartenergy/home>>. Acesso em: 2 set. 2019.

ONU. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova Iorque, Estados Unidos da América: Organização das Nações Unidas (ONU), 2015.

ONU. **Sustainable Development Goal 7 - Progress of Goal 7 in 2019**. 2019. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

PARLAMENTO EUROPEU. Diretiva 2018/2002/UE, de 11 de dezembro de 2018. Altera a Diretiva 2012/27/UE relativa à eficiência energética. 2018.

PIMENTEL, B. P.; BARBOSA, A. T. R. Etiquetagem energética de uma edificação militar pelas metodologias dos regulamentos brasileiros RTQ-C e INI-C. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Campo Grande, MS, v. 9, p. 631–647, 2020.

PROJETEEE. **Dados climáticos de Campo Grande, MS**. 2020. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

QUEIRÓZ, G. R. *et al.* Autodesk Revit® como Ferramenta BIM Aplicada à Simulação Térmica de Edificações. **Revista de Arquitetura IMED**, Porto Alegre, RS, v. 4, n. 2, p. 33–41, 2015.

RACHID, M. N. **Implementação da Eficiência Energética em uma Edificação Militar do Exército Brasileiro**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, Campo Grande, MS, 2018.

RINGEL, M. *et al.* Towards a green economy in Germany? The role of energy efficiency policies. **Applied Energy**, Geislingen, Alemanha, v. 179, p. 1293–1303, 2016.

RODRIGUES, M. V. P. **Avaliação da Eficiência Energética de Edificações Residenciais em fase de Projeto: Análise de Desempenho Térmico pelo Método Prescritivo**

e por **Simulação Computacional aplicados a Estudo de Caso de Projeto-Tipo do Exército Brasileiro**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, 2015.

RORIZ, M. Classificação de Climas do Brasil – Versão 3.0. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)**, São Carlos, SP, p. 1–5, 2014.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. **Caderno BIM- Caderno de Especificações Técnicas para contratação de Projetos em BIM- Edificações**. Curitiba, PR: Departamento de Gestão de Projetos e Obras do Paraná, 2018.

SHIH, C. H.; LATHAM, W.; SARZYNSKI, A. A collaborative framework for U.S. state-level energy efficiency and renewable energy governance. **Electricity Journal**, Aalto, Finlândia, v. 29, n. 9, p. 21–26, 2016.

SILVA, P. **Aplicação do programa EnergyPlus como ferramenta do projecto de comportamento térmico de edifícios de habitação**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

SLTI-MPOG. Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília, DF, 2014.

SMITH, D. K.; TARDIF, M. **Building Information Modeling - A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers**. Hoboken, Nova Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 2009.

TEIXEIRA, A. C. **Processo de Etiquetagem de Projetos de Obras Militares para Eficiência Energética e Certificação PROCEL utilizando Modelagem da Informação da Construção**. 2018. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

TUOMINEN, P. *et al.* Energy savings potential in buildings and overcoming market barriers in member states of the European Union. **Energy and Buildings**, Aalto, Finlândia, v. 51, p. 48–55, 2012.

VERSAGE, R. S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, 2015.

VIEIRA, J. C. *et al.* Estudo de classificação da eficiência energética do prédio 20 do CEFET-MG. In: 2019, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: ENCAC, 2019.

WELLE, D. **Estados Unidos designam Brasil como aliado extra-Otan**. 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2019-08/estados-unidos-designam-oficialmente-brasil-como-aliado-extra-otan>>. Acesso em: 17 out. 2019.

YAMAKAWA, M. A.; WESTPHAL, F. S. Influência do percentual de abertura nas fachadas e do fator solar dos vidros na etiquetagem do Procel /Inmetro : método prescritivo x simulação. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENCAC, 2011.

ZHANG, Y.; WANG, Y. Barriers' and policies' analysis of China's building energy efficiency. **Energy Policy**, Beijing, China, v. 62, p. 768–773, 2013.

## ANEXO

### Equações a serem utilizadas na aplicação da INI-C

#### Determinação da Carga Térmica Total e da ENCE Parcial da Envoltória

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), a determinação do Fator de Forma da edificação se faz pela Equação (1):

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (1)$$

Onde:

- FF é o Fator de Forma da edificação (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>);
- A<sub>env</sub> é a área de envoltória da edificação (m<sup>2</sup>), ou seja, soma das áreas de fachada, empenas e coberturas, incluindo as aberturas;
- V<sub>tot</sub> é o volume total da edificação (m<sup>3</sup>), ou seja, o volume delimitado por fechamentos externos da edificação (fachadas e coberturas).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do intervalo de classificação energética para a edificação avaliada se faz pela Equação (2):

$$i = \frac{C_g T_{TREF} \times CRC_g T_{D-A}}{3} \quad (2)$$

Onde:

- i é o intervalo de classificação energética (kWh/ano);
- C<sub>g</sub>T<sub>TREF</sub> é a Carga Térmica Total da edificação, em sua condição de Referência (kWh/ano);
- CRC<sub>g</sub>T<sub>D-A</sub> é o Coeficiente de Redução da Carga Térmica Anual da Classe “D” para a classe “A”.

#### Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo anual de energia elétrica ou térmica do sistema de Condicionamento de Ar adotado se faz pela Equação (3):

$$CCA_{(E \text{ ou } T)} = \frac{C_g T_T}{SPLV} \quad (3)$$

Onde:

- CCA<sub>(E ou T)</sub> é o consumo anual de energia elétrica (E) ou térmica (T) do sistema de Condicionamento de Ar (kWh/ano);
- C<sub>g</sub>T<sub>T</sub> é a carga térmica anual total da edificação (kWh/ano);
- SPLV é a EE do sistema de Condicionamento de Ar. Para equipamentos *Split* etiquetados pelo INMETRO, deve-se adotar o valor do COP.

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), caso a condutividade térmica do isolamento esteja fora da faixa estipulada na Tabela 15, utiliza-se a Equação (4) para determinação da espessura mínima do isolamento térmico das tubulações do sistema de Condicionamento de Ar adotado:

$$E = \left[ \left( 1 + \frac{e}{r} \right)^{\frac{\lambda}{\lambda'}} - 1 \right] \quad (4)$$

Onde:

- E é a espessura mínima do isolamento térmico (cm);
- r é o raio externo da tubulação (cm);
- e é a espessura de isolamento térmico da Tabela 15 para a temperatura de fluido e tamanho da tubulação em questão (cm);
- $\lambda$  é a condutividade térmica do material alternativo à temperatura média indicada do fluido (W/mK);
- $\lambda'$  é o valor superior da condutividade térmica listada nas tabelas para temperatura do fluido (W/mK).

### **Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Iluminação**

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo energético (eletricidade) anual do sistema de Iluminação se faz pela Equação (5):

$$CIL = PI_T \times h \times N_{ano} \quad (5)$$

Onde:

- CIL é o consumo anual de energia elétrica do sistema de Iluminação (kWh/ano);

- b)  $PI_T$  é potência instalada total do sistema de Iluminação (kW), a qual depende do método de cálculo adotado, e inclui a potência das lâmpadas, reatores, transformadores e sistemas de controle;
- c)  $h$  é o tempo de uso diário da edificação, obtidos para tipologia da edificação analisada, por meio de tabelas do Anexo A da INI-C (h/dia);
- d)  $N_{ano}$  é o número de dias de uso da edificação no ano, obtidos para tipologia da edificação analisada, por meio de tabelas do Anexo A da INI-C (dia/ano).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do intervalo entre classes de EE do sistema de Iluminação adotado se faz pela Equação (6):

$$i = \frac{PI_{TREF} - PI_{TA}}{3} \quad (6)$$

Onde:

- a)  $i$  é o intervalo de classificação energética (kW);
- b)  $PI_{TREF}$  é a Potência Instalada Total de Iluminação, em sua condição de Referência (kW), obtida de acordo com o método escolhido;
- c)  $PI_{TA}$  é a Potência Instalada Total de Iluminação, em sua condição de classe “A” (kW), obtida de acordo com o método escolhido.

### **Determinação do Consumo Energético e da ENCE Parcial do Sistema de Aquecimento de Água**

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo de eletricidade para Aquecimento de Água se faz pela Equação (7):

$$CAA_E = N_{ano} \times \frac{E_{AA} - E_{AA,rec-sol} + E_{AA,per-tub} + E_{AA,per-rec} + E_{AA,res}}{r_{aq}} \quad (7)$$

Onde:

- a)  $CAA_E$  é o consumo de energia elétrica para aquecimento de água (kWh/ano);
- b)  $N_{ano}$  é o número de dias de ocupação no ano de acordo com a tipologia da edificação, obtido por meio das tabelas do Anexo A da INI-C (dia/ano);
- c)  $E_{AA}$  é a energia requerida para o atendimento da demanda de água quente (kWh/dia), obtida pela Equação (9);

- d)  $E_{AA, \text{rec-sol}}$  é a energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas que recuperam calor ou energia solar térmica, quando existentes (kWh/dia), obtida pela Equação (10);
- e)  $E_{AA, \text{per-tub}}$  é a energia consumida para suprir as perdas térmicas de distribuição, quando existentes, sem contar o sistema de recirculação (kWh/dia), obtida pela Equação (22);
- f)  $E_{AA, \text{per-rec}}$  é a energia consumida para suprir as perdas térmicas de sistemas de recirculação, quando existentes (kWh/dia), obtida pela Equação (23);
- g)  $E_{AA, \text{res}}$  é a energia consumida para suprir as perdas térmicas devido ao armazenamento de água quente em reservatórios, quando existentes (kWh/dia), obtida pela Equação (24);
- h)  $r_{aq}$  é coeficiente de rendimento do equipamento de aquecimento de água elétrico, obtido na Tabela 17.

1) *Cálculo da energia requerida para atendimento da demanda de água quente ( $E_{AA}$ )*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do volume diário de água quente necessário ao tipo de edificação em análise se faz pela Equação (8):

$$V_{dia} = \sum (V_{dia,f} \times f) \quad (8)$$

Onde:

- a)  $V_{dia}$  é o volume diário de consumo de água quente (l/dia);
- b)  $V_{dia,f}$  é o volume diário de consumo de água quente por pessoa (l/pessoa/dia ou l/leito/dia ou l/refeição/dia ou l/ponto de banho/dia). Esse valor pode ser obtido na Tabela 35. Nas tipologias não contempladas nessa Tabela, devem ser utilizados dados de previsão de demanda de um projeto de água quente, elaborado por profissional da área;
- c)  $f$  é o número de pessoas, de leitos, de refeições, ou de pontos de banho.

Tabela 35 – Volume diário de consumo de água quente por tipologia da INI-C.

| TIPOLOGIA   | VOLUME DE ÁGUA (l) |
|---|--------------------|
| <b>Edificações educacionais</b>                     |                    |
| Escola com alojamento, internatos (l/dia/pessoa)    | 50                 |
| <b>Edificações de hospedagem</b>                    |                    |
| Hotel (4 a 5 estrelas) com lavanderia (l/dia/leito) | 120                |

| <b>TIPOLOGIA</b>                                    | <b>VOLUME DE ÁGUA (l)</b> |
|---|---------------------------|
| Hotel (4 a 5 estrelas) sem lavanderia (l/dia/leito) | 100                       |
| Hotel (1 a 3 estrelas) com lavanderia (l/dia/leito) | 100                       |
| <b>Edificações de hospedagem</b>                    |                           |
| Hotel (1 a 3 estrelas) sem lavanderia (l/dia/leito) | 70                        |
| <b>Edificações hospitalares</b>                     |                           |
| Hospital sem lavanderia (l/dia/leito)               | 50                        |
| Hospital com lavanderia (l/dia/leito)               | 80                        |
| Clínica / Casa repouso (l/dia/leito)                | 120                       |
| <b>Edificações de alimentação</b>                   |                           |
| Restaurante tradicional (l/dia/refeição)            | 10                        |
| Restaurante self-service (l/dia/refeição)           | 4                         |
| Lanchonete (l/dia/refeição)                         | 2,6                       |
| <b>Edificações esportivas</b>                       |                           |
| Clubes e academias (l/dia/ponto de banho)           | 100                       |

Fonte: INMETRO, 2018.

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da energia requerida para o atendimento da demanda de água quente se faz pela Equação (9):

$$E_{AA} = 1,162 \times V_{dia} \times (\Theta_{A,uso-armaz} - \Theta_{A,0}) \quad (9)$$

Onde:

- a)  $E_{AA}$  é a energia consumida no atendimento da demanda diária de água quente (kWh/dia);
- b)  $V_{dia}$  é o volume diário de consumo de água quente (m<sup>3</sup>/dia);
- c)  $\Theta_{A,uso\_armaz}$  é a temperatura de uso ou de armazenamento da água quente (°C);
- d)  $\Theta_{A,0}$  é a temperatura da água fria, na cidade da edificação em análise (°C).

2) *Cálculo da energia para aquecimento de água proveniente de sistemas que recuperam calor ou de energia solar térmica ( $E_{AA,rec-sol}$ )*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da energia oriunda de sistemas que recuperam calor e/ou energia solar térmica se faz pela Equação (10):

$$E_{AA,rec-sol} = E_{AA,rec} + E_{AA,sol} \quad (10)$$

Onde:

- a)  $E_{AA,rec-sol}$  é a energia para aquecimento de água proveniente de sistemas que recuperam calor ou energia solar térmica, quando existentes na edificação Real (kWh/dia);

- b)  $E_{AA,rec}$  é a parcela de energia para aquecimento de água proveniente de sistemas que recuperam calor, quando existentes na edificação Real (kWh/dia);
- c)  $E_{AA,sol}$  é a parcela de energia para aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico, quando existentes na edificação Real (kWh/dia).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), para cálculo da parcela de energia para aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico ( $E_{AA,sol}$ ), são utilizadas as equações abaixo, culminando na Equação (21).

O cálculo da radiação solar mensal incidente sobre a superfície inclinada dos coletores é feito pela Equação (11) (INMETRO, 2018):

$$EI_{mês,i} = H_{dia} \times N_i \quad (11)$$

Onde:

- a)  $EI_{mês,i}$  é a média anual da energia solar incidente sobre a superfície dos coletores (kWh/(m<sup>2</sup>.mês));
- b)  $H_{dia}$  é a radiação solar incidente no plano inclinado (kWh/(m<sup>2</sup>.dia)). Esse valor pode ser obtido no sítio eletrônico do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2019), para o local de instalação da edificação avaliada;
- c)  $N_i$  é o número de dias do mês “i” (dia/mês).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da energia solar mensal absorvida pelos coletores se faz pela Equação (12) e pela Equação (13):

$$F'_{R(\tau\alpha)} = F_{R(\tau\alpha)n} \times \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)n} \times \frac{F'_R}{F_R} \quad (12)$$

Onde:

- a)  $F'_{R(\tau\alpha)}$  é fator adimensional que varia com o tipo do coletor solar (adimensional);
- b)  $F_{R(\tau\alpha)n}$  é o fator de eficiência óptica do coletor solar utilizado, obtido nas tabelas do INMETRO (INMETRO, 2020c) para coletores solares (adimensional);
- c)  $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)n}$  é o modificador do ângulo de incidência. Na ausência desse dado, adota-se 0,96 para coletores com cobertura de vidro (adimensional);
- d)  $\frac{F'_R}{F_R}$  é o fator de correção do conjunto coletor/trocador. Na ausência desse dado, adota-se 0,95 (adimensional).

$$E_{SAMês,i} = S_c \times F'_{R(\tau\alpha)} \times EI_{mês,i} \quad (13)$$

Onde:

- $E_{SAMês,i}$  é a energia solar mensal absorvida pelos coletores do mês “i” (kWh/mês), com i variando entre 1 e 12;
- $S_c$  é a superfície de absorção do coletor (m<sup>2</sup>);
- $EI_{mês,i}$  é a energia solar mensal incidente sobre a superfície dos coletores no mês “i” (kWh/(m<sup>2</sup>.mês));
- $F'_{R(\tau\alpha)}$  é o fator adimensional, calculado acima (adimensional).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da energia solar não aproveitada pelos coletores se faz pela Equação (14), pela Equação (15), pela Equação (16), e pela Equação (17):

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3} \quad (14)$$

Onde:

- $F'_R U_L$  é um fator que varia com o tipo do coletor solar (kW/ (m<sup>2</sup>.K));
- $F_R U_L$  é o coeficiente global de perdas do coletor solar utilizado, obtido nas tabelas do INMETRO (INMETRO, 2020c) para coletores solares (W/ (m<sup>2</sup>.K));
- $\frac{F'_R}{F_R}$  é o fator de correção do conjunto coletor/trocador. Na ausência desse dado, adota-se 0,95 (adimensional).

$$K_1 = \left[ \frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25} \quad (15)$$

Onde:

- $K_1$  é o fator de correção para armazenamento;
- $V$  é o volume de acumulação solar (litros). Recomenda-se que o valor de  $V$  obedeça a condição  $50 < V/S_c < 100$ ;
- $S_c$  é a superfície do coletor solar (m<sup>2</sup>).

$$K_{2,i} = \frac{(11,6 + 1,18 \times T_{AC} + 3,86 \times T_{AF,i} - 2,32 \times T_{AMB,i})}{100 - T_{AMB,i}} \quad (16)$$

Onde:

- a)  $K_{2,i}$  é o fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas do mês “i”;
- b)  $T_{AC}$  é a temperatura mínima admissível de água quente, que é, no mínimo, 60°C para todo o Brasil (°C);
- c)  $T_{AF,i}$  é a temperatura média mensal de água fria no mês “i” (°C);
- d)  $T_{AMB,i}$  é a temperatura média mensal do local de instalação do coletor no mês “i” (°C).

$$EP_{mês,i} = S_C \times F'_R U_L \times (100 - T_{AMB,i}) \times \Delta T_i \times K_1 \times K_{2,i} \quad (17)$$

Onde:

- a)  $EP_{mês,i}$  é a energia solar mensal não aproveitada pelos coletores do mês “i” (kWh/mês);
- b)  $S_C$  é área de superfície do coletor solar (m<sup>2</sup>);
- c)  $F'_R U_L$  é um fator que varia com o tipo do coletor solar (kW/ (m<sup>2</sup>.K)), calculado pela Equação (14);
- d)  $T_{AMB,i}$  é a temperatura média mensal do local de instalação do coletor no mês “i” (°C);
- e)  $\Delta T_i$  é o período considerado em horas no mês “i” (h);
- f)  $K_1$  é o fator de correção para armazenamento, calculado pela Equação (15);
- g)  $K_{2,i}$  é o fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas do mês “i”, calculado pela Equação (16).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da fração solar mensal se faz pela Equação (18), pela Equação (19), e pela Equação (20):

$$D_{1,i} = \frac{E_{SA,mês,i}}{E_{AA} \times N_i} \quad (18)$$

Onde:

- a)  $D_{1,i}$  é um parâmetro adimensional para o mês “i”;
- b)  $E_{SA,mês,i}$  é a energia solar mensal absorvida pelos coletores (kWh/mês), calculada pela Equação (13);
- c)  $E_{AA}$  é a energia requerida no atendimento da demanda de água quente (kWh/dia), calculada pela Equação (9);
- d)  $N_i$  é o número de dias no mês “i” (dia/mês).

$$D_{2,i} = \frac{EP_{mês,i}}{E_{AA} \times N_i} \quad (19)$$

Onde:

- a)  $D_{2,i}$  é um parâmetro adimensional para o mês “i”;
- b)  $EP_{mês,i}$  é a energia solar mensal não aproveitada pelos coletores (kWh/mês), calculada pela Equação (17);
- c)  $E_{AA}$  é a energia requerida no atendimento da demanda de água quente (kWh/dia), calculada pela Equação (9);
- d)  $N_i$  é o número de dias no mês “i” (dia/mês).

$$f_i = 1,029 \times D_{1,i} - 0,065 \times D_{2,i} - 0,245 \times (D_{1,i})^2 + 0,0018 \times (D_{2,i})^2 + 0,0215 \times (D_{1,i})^3 \quad (20)$$

Onde:

- a)  $f_i$  é a fração solar mensal para o mês “i” (adimensional);
- b)  $D_{1,i}$  é um parâmetro adimensional para o mês “i”, calculado pela Equação (18);
- c)  $D_{2,i}$  é um parâmetro adimensional para o mês “i”, calculado pela Equação (19).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da parcela de energia para aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico se faz pela Equação (21):

$$E_{AA,sol} = \frac{\sum(f_i \times E_{AA} \times N_i)}{365} \quad (21)$$

Onde:

- a)  $E_{AA,sol}$  é a energia requerida para aquecimento de água proveniente de energia solar térmica (kWh/dia);
- b)  $f_i$  é a fração solar mensal para o mês “i” (adimensional), calculada pela Equação (20);
- c)  $E_{AA}$  é a energia requerida no atendimento da demanda de água quente (kWh/dia), calculada pela Equação (9);
- d)  $N_i$  é o número de dias no mês “i” (dia/mês).

3) Cálculo das perdas térmicas na tubulação provenientes do sistema de distribuição de água quente ( $E_{A,per-tub}$ )

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo das perdas térmicas que ocorrem nas tubulações de distribuição de água quente se faz pela Equação (22):

$$E_{A,per-tub} = \lambda_{per,dist} \times F_{per,tub} \times L_{tub} \quad (22)$$

Onde:

- $E_{A,per-tub}$  é a energia térmica perdida na tubulação do sistema de distribuição de água quente, sem incluir perdas na recirculação (kWh/dia);
- $\lambda_{per,dist}$  é o fator de horas de perdas na tubulação de distribuição de água quente (h/dia). O fator é dado por  $\lambda_{per,dist} = 2,083 \times V_{dia}$ , onde  $V_{dia}$  é o volume diário de consumo de água quente (m<sup>3</sup>/dia);
- $F_{per,tub}$  é o fator de perdas térmicas por metro de tubulação (kWh/(dia.m)), o qual pode ser obtido na Tabela 36;
- $L_{tub}$  é o comprimento da tubulação (m).

Tabela 36 – Fatores de perdas térmicas por metro de tubulação -  $F_{per,tub}$  (kWh/(dia.m)). (M) corresponde a tubulação metálica, não-isolada termicamente, (P) corresponde a tubulação polimérica, não-isolada termicamente e (Ref) indica a condição de Referência. Os valores referentes a tubulações com isolamento independem do material da tubulação. Caso o diâmetro da tubulação em análise não esteja especificado na tabela, adotar o valor mais próximo.

| DIÂMETRO<br>NOMINAL<br>DA<br>TUBULAÇÃO<br>(mm) | DIÂMETRO<br>DE<br>REFERÊNCIA<br>DA<br>TUBULAÇÃO<br>(pol) | ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO DA<br>TUBULAÇÃO (mm) |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  |  | 0  | 0 (P)  | 5      | 10     | 13     | 19     | 22     | 25     |
|  |  | (M)  | (Ref)  |        |        |        |        |        |        |
| FATOR DE PERDA (kWh/ (m.dia))                  |  |  |        |        |        |        |        |        |        |
| 15   | ½  | 677  | 0,2079 | 0,0092 | 0,0056 | 0,0043 | 0,0037 | 0,0034 | 0,0032 |
| 22   | ¾  | 833  | 0,2155 | 0,0116 | 0,0069 | 0,0052 | 0,0044 | 0,0041 | 0,0038 |
| 28   | 1  | 1067   | 0,2191 | 0,0141 | 0,0082 | 0,0061 | 0,0052 | 0,0047 | 0,0044 |
| 35   | 1 ¼  | 1145   | 0,2142 | 0,0169 | 0,0097 | 0,0072 | 0,0061 | 0,0055 | 0,0050 |
| 42   | 1 ½  | 1203   | 0,2155 | 0,0199 | 0,0114 | 0,0083 | 0,0070 | 0,0063 | 0,0058 |
| 54   | 2  | 1379   | 0,2153 | 0,0243 | 0,0138 | 0,0100 | 0,0084 | 0,0075 | 0,0068 |
| 73   | 2 ½  | 1535   | 0,2190 | 0,0291 | 0,0165 | 0,0119 | 0,0099 | 0,0088 | 0,0080 |
| 89   | 3  | 1523   | 0,2178 | 0,0337 | 0,0192 | 0,0138 | 0,0114 | 0,0102 | 0,0092 |
| 114  | 4  | 2017   | 0,2183 | 0,0408 | 0,0232 | 0,0167 | 0,0137 | 0,0122 | 0,0110 |

Fonte: INMETRO, 2018.

4) *Cálculo das perdas térmicas no sistema de recirculação de água quente ( $E_{A,per,recirc}$ )*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo das perdas térmicas que ocorrem no sistema de recirculação de água quente se faz pela Equação (23):

$$E_{A,per,recirc} = \lambda_{per,recirc} \times F_{per,recirc} \times L_{recirc} \quad (23)$$

Onde:

- $E_{A,per,recirc}$  é a energia térmica perdida no sistema de recirculação de água quente (kWh/dia);
- $\lambda_{per,recirc}$  é o fator de horas de perdas na tubulação de recirculação de água quente (h/dia). Adota-se  $\lambda_{per,recirc} = 24$ ;
- $F_{per,recirc}$  é o fator de perdas térmicas por metro de tubulação (kWh/(dia.m)), o qual pode ser obtido na Tabela 36;
- $L_{recirc}$  é o comprimento da tubulação do sistema de recirculação (m).

5) *Cálculo das perdas térmicas no reservatório de água quente ( $E_{A,reserv}$ )*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da energia perdida no reservatório de água quente se faz pela Equação (24):

$$E_{A,res} = \frac{(\theta_{A,res,med} - \theta_{amb,med})}{\Delta\theta_{A,res,sby}} \times E_{A,res,sby} \quad (24)$$

Onde:

- $E_{A,res}$  é a energia térmica perdida no reservatório de água quente (kWh/dia);
- $\theta_{A,res,med}$  é a média de temperatura do reservatório de água quente (°C);
- $\theta_{amb,med}$  é média de temperatura do ambiente (°C);
- $\Delta\theta_{res,sby}$  é a média de diferença de temperatura em testes com reservatório em *standby* (°C). Adota-se 29°C;
- $E_{A,res,sby}$  é a perda térmica específica do reservatório de água quente em *standby* (kWh/dia), que é dada pela Tabela 37. Quando o reservatório térmico do sistema de aquecimento solar for etiquetado pelo INMETRO, utiliza-se a perda térmica específica das tabelas (INMETRO, 2020c).

Tabela 37 – Perda térmica específica do reservatório de água quente em *Standby* ( $E_{A, \text{res}, \text{sby}}$ ).

| VOLUME DO RESERVATÓRIO (L) | PERDAS (kWh/dia) |
|----------------------------|------------------|
| 100                        | 0,865            |
| 150                        | 1,349            |
| 200                        | 1,799            |
| 250                        | 2,249            |
| 300                        | 2,699            |
| 400                        | 2,932            |
| 500                        | 3,498            |
| 600                        | 3,998            |
| 800                        | 4,798            |
| ≥1000                      | 5,331            |

Fonte: INMETRO, 2018.

6) *Obtenção do consumo total anual do sistema de Aquecimento de Água para obtenção de sua ENCE Parcial*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo total de energia primária do sistema de Aquecimento de Água se faz pela Equação (25):

$$E_{AA, \text{tot}} = f_{CE} \times CAA_E + f_{CT} \times CAA_T \quad (25)$$

Onde:

- $E_{AA, \text{tot}}$  é o consumo total de energia primária para aquecimento de água da edificação, que pode ser em sua condição Real ( $E_{AA, \text{tot}, \text{real}}$  - kWh/ano) ou de Referência ( $E_{AA, \text{tot}, \text{ref}}$  - kWh/ano);
- $f_{CE}$  é o fator de conversão de energia elétrica para energia primária, ou seja,  $f_{CE} = 1,6$ ;
- $CAA_E$  é consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica (kWh/ano);
- $f_{CT}$  é o fator de conversão de energia térmica para energia primária, ou seja,  $f_{CT} = 1,1$ , tanto para gás natural como para gás liquefeito de petróleo;
- $CAA_T$  é consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia térmica (kWh/ano).

### **Determinação do Consumo Energético dos Equipamentos Instalados na Edificação**

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo energético dos Equipamentos elétricos Instalados em uma edificação se faz pela Equação (26):

$$CEQ = P_i \times h \times N_{ano} \quad (26)$$

Onde:

- a) CEQ é o consumo anual de energia elétrica dos Equipamentos Instalados (kWh/ano);
- b)  $P_i$  é potência instalada total dos Equipamentos (kW);
- c)  $h$  é o tempo de uso diário da edificação, obtidos para tipologia da edificação analisada por meio de tabelas do Anexo A, da INI-C (h/dia);
- d)  $N_{ano}$  é o número de dias de uso da edificação no ano, obtidos para tipologia da edificação analisada por meio de tabelas do Anexo A da INI-C (dia/ano).

### **Determinação do Consumo Energético Total da Edificação para obtenção da ENCE Geral de Projeto**

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo total anual de energia primária da edificação se faz pela Equação (27), pela Equação (28) e pela Equação (29):

$$CTE_E = CIL + CCA_E + CAA_E + CEQ - GE_E \quad (27)$$

Onde:

- a)  $CTE_E$  é o consumo anual total de energia elétrica da edificação (kWh/ano);
- b) CIL é o consumo anual total de energia elétrica do sistema de Iluminação (kWh/ano);
- c)  $CCA_E$  é o consumo anual total de energia elétrica do sistema de Condicionamento de Ar (kWh/ano);
- d)  $CAA_E$  é o consumo anual total de energia elétrica do sistema de Aquecimento de Água (kWh/ano);
- e) CEQ é o consumo anual total de energia elétrica dos Equipamentos Instalados (kWh/ano);
- f)  $GE_E$  é geração total anual de energia elétrica por fonte local renovável (kWh/ano).

$$CTE_T = CCA_T + CAA_T \quad (28)$$

Onde:

- CTE<sub>T</sub> é o consumo anual total de energia térmica da edificação (kWh/ano);
- CCA<sub>T</sub> é o consumo anual total de energia térmica do sistema de Condicionamento de Ar (kWh/ano);
- CAA<sub>T</sub> é o consumo anual total de energia térmica do sistema de Aquecimento de Água (kWh/ano).

$$CEP_{REAL\ OU\ REF} = f_{CE} \times CTE_E + f_{CT} \times CTE_T \quad (29)$$

Onde:

- CEP<sub>REAL OU REF</sub> é o consumo total de energia primária da edificação, que pode ser em sua condição Real (CEP<sub>REAL</sub> - kWh/ano) ou de Referência (CEP<sub>REF</sub> - kWh/ano);
- f<sub>CE</sub> é o fator de conversão de energia elétrica para energia primária, ou seja, f<sub>CE</sub> = 1,6;
- CTE<sub>E</sub> é o consumo total anual de energia elétrica da edificação avaliada (kWh/ano), obtido pela Equação (27);
- f<sub>CT</sub> é o fator de conversão de energia térmica para energia primária, ou seja, f<sub>CT</sub> = 1,1, tanto para gás natural, como para gás liquefeito de petróleo;
- CTE<sub>T</sub> é o consumo total anual de energia térmica da edificação avaliada (kWh/ano), obtido pela Equação (28).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do percentual de economia de energia da edificação Real em relação à edificação de Referência se faz pela Equação (30):

$$PRCEP_{REAL-D} = 1 - \frac{CEP}{CEP_{REF}} * 100 \quad (30)$$

Onde:

- PRCEP<sub>REAL-D</sub> é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a condição Real e de Referência;
- CEP é o consumo anual de energia primária da edificação na condição Real (kWh/ano);
- CEP<sub>REF</sub> é o consumo anual de energia primária da edificação na condição de Referência (kWh/ano).

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do intervalo de classificação energética geral da edificação avaliada se faz pela Equação (31):

$$i = \frac{CEP_{REF} \times CRCEP_{D-A}}{3} \quad (31)$$

Onde:

- a)  $i$  é o intervalo de classificação energética (kWh/ano);
- b)  $CEP_{REF}$  é o consumo anual de energia primária da edificação na condição de Referência (kWh/ano);
- c)  $CRCEP_{D-A}$  é o Coeficiente de Redução de Consumo de Energia Primária da Classe “D” para a classe “A” ( $CRCEP_{D-A}$ ).

### **Determinação do percentual de economia devido uso racional de água**

#### *1) Cálculo do consumo de água da edificação na condição de Referência*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo diário de água em bacias sanitárias e mictórios, na condição de Referência, se faz pela Equação (32):

$$CA_{REFBS\_MIC} = Q_{REFBS\_M} \times UD_{BS\_M} \times OC_M + Q_{REFBS\_F} \times UD_{BS\_F} \times OC_F + Q_{REFMIC\_M} \times UD_{MIC\_M} \times OC_M \quad (32)$$

Onde:

- a)  $CA_{REFBS\_MIC}$  é o consumo diário de água em bacias sanitárias e mictórios, na condição de Referência (l/dia);
- b)  $Q_{REFBS\_M}$  é a vazão da bacia sanitária de uso masculino, na condição de Referência (l/descarga). Essa vazão pode ser obtida na Tabela 38;
- c)  $UD_{BS\_M}$  é número de acionamentos diários da bacia sanitária de uso masculino, na condição de Referência (descarga/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39. Quando não há mictórios no banheiro masculino, deve-se adotar  $UD_{BS\_M}$  com mesmo valor de acionamento diário da bacia sanitária de uso feminino ( $UD_{BS\_F}$ );
- d)  $OC_M$  é o número de usuários do sexo masculino (pessoa). Segundo INI-C, considera-se 50% do número total de usuários. Para o estudo de caso, como há regulamento que fixa o número exato de usuários de cada sexo (103 homens e 05 mulheres), adotar-se-á esse último valor;

- e)  $Q_{REFBS\_F}$  é a vazão da bacia sanitária de uso feminino, na condição de Referência (l/descarga). Essa vazão pode ser obtida na Tabela 38;
- f)  $UD_{BS\_F}$  é número de acionamentos diários da bacia sanitária de uso feminino, na condição de Referência (descarga/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39;
- g)  $OC_F$  é o número de usuários do sexo feminino (pessoa). Segundo INI-C, considera-se 50% do número total de usuários. Para o estudo de caso, como há regulamento que fixa o número exato de usuários de cada sexo (103 homens e 05 mulheres), adotar-se-á esse último valor;
- h)  $Q_{REFMIC\_M}$  é a vazão do mictório, na condição de Referência (l/descarga). Essa vazão pode ser obtida na Tabela 38;
- i)  $UD_{MIC\_M}$  é número de acionamentos diários do mictório, na condição de Referência (descarga/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39.

Tabela 38 – Vazão dos dispositivos consumidores de água de uma edificação, na condição de Referência.

| TIPO DE DISPOSITIVO/TIPOLOGIA | VAZÃO          |                             |                        |                |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|----------------|
|                               | ESCRITÓRIOS    | HOSPEDAGEM/<br>HOSPITALARES | VAREJO/<br>ALIMENTAÇÃO | EDUCACIONAIS   |
| Bacia sanitária               | 6,8 l/descarga | 6,8 l/descarga              | 6,8 l/descarga         | 6,8 l/descarga |
| Mictórios                     | 3,8 l/descarga | -                           | 3,8 l/descarga         | 3,8 l/descarga |
| Torneira de lavatório         | 8,3 l/min      | 8,3 l/min                   | 8,3 l/min              | 8,3 l/min      |
| Banho/chuveiro                | 9,5 l/min      | 9,5 l/min                   | -                      | -              |
| Torneira de pia da cozinha    | 8,3 l/min      | 8,3 l/min                   | -                      | -              |

Fonte: INMETRO, 2018.

Tabela 39 – Número de acionamentos diários dos dispositivos consumidores de água de uma edificação, na condição Real e de Referência. Quando não há mictórios, considera-se o mesmo número de acionamentos de bacia sanitária feminina para bacia sanitária masculina.

| TIPO DE DISPOSITIVO/TIPOLOGIA | ACIONAMENTOS POR DIA |                             |                        |              |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
|                               | ESCRITÓRIOS          | HOSPEDAGEM/<br>HOSPITALARES | VAREJO/<br>ALIMENTAÇÃO | EDUCACIONAIS |
| Bacia sanitária (feminino)    | 3                    | 5                           | 0,2                    | 3            |
| Bacia sanitária (masculino)   | 1                    | 5                           | 0,1                    | 1            |
| Mictórios                     | 2                    | -                           | 0,1                    | 2            |
| Torneira de lavatório         | 3                    | 5                           | 0,2                    | 3            |
| Banho/chuveiro                | 0,1                  | 1                           | -                      | -            |
| Torneira de pia da cozinha    | 1                    | 4                           | -                      | -            |

Fonte: INMETRO, 2018.

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo anual de água da edificação, na condição de Referência, se faz pela Equação (33):

$$CA_{REF} = N_{ano} \times (CA_{REFBS_{MIC}} + Q_{REF_{TL}} \times t_{TL} \times UD_{TL} \times OC) + Q_{REF_{CH}} \times t_{CH} \times UD_{CH} \times OC + Q_{REF_{TC}} \times t_{TC} \times UD_{TC} \times OC \quad (33)$$

Onde:

- a)  $CA_{REF}$  é o consumo anual de água de uma edificação, na condição de Referência (l/ano);
- b)  $N_{ano}$  é o número de dias de ocupação da edificação em um ano, obtido pelas tabelas do ANEXO A da INI-C conforme tipologia (dia/ano);
- c)  $CA_{REFBS_{MIC}}$  é o consumo diário de água em bacias sanitárias e mictórios, na condição de Referência, calculados pela Equação (32);
- d)  $Q_{REF_{TL}}$  é a vazão da torneira do lavatório, na condição de Referência (l/min). Essa vazão pode ser obtida na Tabela 38;
- e)  $t_{TL}$  é a duração de uso da torneira do lavatório (min), conforme Tabela 40;
- f)  $UD_{TL}$  é número de acionamentos diários da torneira do lavatório, na condição de Referência (uso/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39;
- g)  $OC$  é o número de usuários da edificação (pessoa);
- h)  $Q_{REF_{CH}}$  é a vazão do chuveiro, na condição de Referência (l/min). Essa vazão pode ser obtida na Tabela 38;
- i)  $t_{CH}$  é a duração de uso do chuveiro (min), conforme Tabela 40;
- j)  $UD_{CH}$  é número de acionamentos diários do chuveiro, na condição de Referência (uso/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39;
- k)  $Q_{REF_{TC}}$  é a vazão da torneira da pia da cozinha, na condição de Referência (l/min). Essa vazão pode ser obtida na Tabela 38;
- l)  $t_{TC}$  é a duração de uso da torneira da pia da cozinha (min), conforme Tabela 40;
- m)  $UD_{TC}$  é número de acionamentos diários da torneira da pia da cozinha, na condição de Referência (uso/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39.

Tabela 40 – Duração de uso dos dispositivos consumidores de água de uma edificação, na condição Real e de Referência.

| TIPO DE DISPOSITIVO/TIPOLOGIA | DURAÇÃO (min) |                             |                        |              |
|-------------------------------|---------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
|                               | ESCRITÓRIOS   | HOSPEDAGEM/<br>HOSPITALARES | VAREJO/<br>ALIMENTAÇÃO | EDUCACIONAIS |
| Bacia sanitária               | -             | -                           | -                      | -            |
| Mictórios                     | -             | -                           | -                      | -            |
| Torneira de lavatório         | 0,50          | 1                           | 0,50                   | 0,50         |
| Banho/chuveiro                | 5             | 8                           | -                      | -            |
| Torneira de pia da cozinha    | 0,25          | 1                           | -                      | -            |

Fonte: INMETRO, 2018.

2) *Cálculo do consumo de água da edificação na condição Real*

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo diário de água em bacias sanitárias e mictórios, na condição Real, se faz pela Equação (34):

$$CA_{REALBS\_MIC} = Q_{REALBS\_M} \times UD_{BS\_M} \times OC_M + Q_{REALBS\_F} \times UD_{BS\_F} \times OC_F + Q_{REALMIC\_M} \times UD_{MIC\_M} \times OC_M \quad (34)$$

Onde:

- a)  $CA_{REALBS\_MIC}$  é o consumo diário de água em bacias sanitárias e mictórios, na condição Real (l/dia);
- b)  $Q_{REALBS\_M}$  é a vazão da bacia sanitária de uso masculino, na condição Real (l/descarga). Essa vazão deve ser obtida no projeto da edificação (No Pav CCAp foi de 6 l/descarga);
- c)  $UD_{BS\_M}$  é número de acionamentos diários da bacia sanitária de uso masculino, na condição de Referência (descarga/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39. Quando não há mictórios no banheiro masculino, deve-se adotar  $UD_{BS\_M}$  com mesmo valor de acionamento diário da bacia sanitária de uso feminino ( $UD_{BS\_F}$ );
- d)  $OC_M$  é o número de usuários do sexo masculino (pessoa). Segundo INI-C, considera-se 50% do número total de usuários. Para o estudo de caso, como há regulamento que fixa o número exato de usuários de cada sexo (103 homens e 05 mulheres), adotar-se-á esse último valor;
- e)  $Q_{REALBS\_F}$  é a vazão da bacia sanitária de uso feminino, na condição Real (l/descarga). Essa vazão pode ser obtida no projeto da edificação (No Pav CCAp foi de 6 l/descarga);
- f)  $UD_{BS\_F}$  é número de acionamentos diários da bacia sanitária de uso feminino, na condição de Referência (descarga/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39;
- g)  $OC_F$  é o número de usuários do sexo feminino (pessoa). Segundo INI-C, considera-se 50% do número total de usuários. Para o estudo de caso, como há regulamento que fixa o número exato de usuários de cada sexo (103 homens e 05 mulheres), adotar-se-á esse último valor;
- h)  $Q_{REALMIC\_M}$  é a vazão do mictório, na condição Real (l/descarga). Essa vazão pode ser obtida no projeto da edificação ( No Pav CCAp foi de 2,5 l/descarga);

- i)  $UD_{MIC\_M}$  é número de acionamentos diários do mictório, na condição de Referência (descarga/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39.

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do consumo anual de água da edificação, na condição Real, se faz pela Equação (35):

$$CA_{REAL} = N_{ano} \times (CA_{REALBS_{MIC}} + Q_{REALTL} \times t_{TL} \times UD_{TL} \times OC + Q_{REALCH} \times t_{CH} \times UD_{CH} \times OC + Q_{REALTC} \times t_{TC} \times UD_{TC} \times OC) \quad (35)$$

Onde:

- a)  $CA_{REAL}$  é o consumo anual de água de uma edificação, na condição Real (l/ano);
- b)  $N_{ano}$  é o número de dias de ocupação da edificação em um ano, obtido pelas tabelas do ANEXO A da INI-C conforme tipologia (dia/ano);
- c)  $CA_{REALBS\_MIC}$  é o consumo diário de água em bacias sanitárias e mictórios, na condição Real, calculados pela Equação (34);
- d)  $Q_{REALTL}$  é a vazão da torneira do lavatório, na condição Real (l/min). Essa vazão deve ser obtida no projeto da edificação (No Pav CCAp foi de 1,5 l/min com uso de torneiras com arejadores);
- e)  $t_{TL}$  é a duração de uso da torneira do lavatório (min), conforme Tabela 40;
- f)  $UD_{TL}$  é número de acionamentos diários da torneira do lavatório, na condição de Referência (uso/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39;
- g)  $OC$  é o número de usuários da edificação (pessoa);
- h)  $Q_{REALCH}$  é a vazão do chuveiro, na condição Real (l/min). Essa vazão deve ser obtida no projeto da edificação (No Pav CCAp foi de 3 l/min);
- i)  $t_{CH}$  é a duração de uso do chuveiro (min), conforme Tabela 40;
- j)  $UD_{CH}$  é número de acionamentos diários do chuveiro, na condição de Referência (uso/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39;
- k)  $Q_{REALTC}$  é a vazão da torneira da pia da cozinha, na condição Real (l/min). Essa vazão deve ser obtida no projeto da edificação;
- l)  $t_{TC}$  é a duração de uso da torneira da pia da cozinha (min), conforme Tabela 40;
- m)  $UD_{TC}$  é número de acionamentos diários da torneira da pia da cozinha, na condição de Referência (uso/(dia.pessoa)). Esse número pode ser obtido na Tabela 39.

### 3) Determinação do Potencial de Economia de Água Potável

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo do potencial de economia de água potável por utilização de dispositivos que promovem uso racional desse recurso se faz pela Equação (36):

$$ET_{\text{água}} = \left[ \frac{CA_{REF} - (CA_{REAL} - AO_{\text{n\~{a}o-pot\~{a}vel}})}{CA_{REF}} \right] \times 100 \quad (36)$$

Onde:

- $ET_{\text{água}}$  é o potencial de economia de água potável (%);
- $CA_{REF}$  é o consumo anual de água na condição de Referência (l/ano), obtido pela Equação (33);
- $CA_{REAL}$  é o consumo anual de água na condição Real (l/ano), obtido pela Equação (35);
- $AO_{\text{n\~{a}o-pot\~{a}vel}}$  é a oferta de água não potável (l/ano), calculada pelo projetista, conforme laudo técnico, caso exista equipamentos ou sistemas de aproveitamento de água não potável. No caso do Pav CCAP, a água captada tem utilização prevista numa edificação de lavagens de viaturas a ser construída, não sendo aqui considerada.

### Método Simplificado para obtenção de Potência Instalada do Sistema de Iluminação da Edificação

Segundo INI-C (INMETRO, 2018), o cálculo da potência limite total do sistema de Iluminação se faz pela Equação (37):

$$PI_T = \sum (A_i \times DPI_L)_i \quad (37)$$

Onde:

- $PI_T$  é Potência Limite Total, ou seja, para toda a edificação, do sistema de Iluminação (kW). Pode ser na condição de Referência ( $PI_{TREF}$ , ou seja, classe “D”), ou na condição mais eficiente ( $PI_{TA}$ , ou seja, classe “A”), ou ainda, na condição Real;
- $A_i$  é soma da área iluminada para cada atividade ( $m^2$ );
- $DPI_L$  é a Densidade de Potência de Iluminação para cada atividade. Pode ser na condição de Referência ( $DPI_{LREF}$ , ou seja, classe “D”), ou na condição mais eficiente ( $DPI_{LA}$ , ou seja, classe “A”), ou ainda, na condição Real.