

Aplicação e avaliação do método de eficiência energética INI-C em uma edificação comercial

1st Carlos Alberto Fernandes Lopes Neto
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
carlos.neto70303@ufersa.edu.br

2nd Fabiana Karla de O. M. Varella
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
fkv@ufersa.edu.br

Resumo — O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise da eficiência energética de um restaurante categorizado como uma edificação comercial em Mossoró, RN. Por meio da metodologia INI-C, utilizando o método simplificado e empregando metamodelos fundamentados em redes neurais artificiais, foram abordados alguns aspectos, incluindo a envoltória da edificação, o sistema de iluminação, equipamentos e o sistema de condicionamento de ar. Os resultados obtidos conduziram à atribuição de uma classificação geral à edificação, situando-a no Nível B de eficiência energética. A abordagem simplificada empregada pelo INI-C demonstrou sua eficácia não apenas ao conferir a classificação em si, mas também ao fornecer informações relevantes, tais como a carga térmica e o consumo energético, detalhes que possibilitam análises mais específicas e aprofundadas. O estudo transcende as avaliações convencionais ao incorporar métodos inovadores e metamodelos avançados, proporcionando uma compreensão abrangente da eficiência energética do restaurante e estabelecendo uma base sólida para decisões estratégicas que visem a implementação de melhorias sustentáveis e o aprimoramento do desempenho energético.

Palavras-chave — *Eficiência energética, Edificação comercial, INI-C, Desempenho energético.*

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável tem se tornado uma preocupação global, impulsionando os diversos setores a buscar soluções que promovam a eficiência energética e a redução dos impactos ambientais. Nos últimos anos, tem ocorrido no país um aprimoramento na classificação energética por meio da etiquetagem de edificações eficientes, tendo como objetivo incentivar políticas públicas voltadas para a sustentabilidade nessa área.

Sendo assim, em 2003, foi criado o PROCEL Edifica, uma iniciativa em parceria com o INMETRO, voltada para a avaliação da eficiência de edificações e com isso, surgiram diversas implicações positivas. Uma delas foi a ampla adoção de tecnologias eficientes em energia, o que resultou na redução significativa do consumo energético e das emissões de poluentes. Além disso, observou-se uma maior valorização dos edifícios certificados, impulsionando a busca por padrões de construção sustentável [1]. Alguns anos mais tarde, no ano de 2021, foi desenvolvida a Instrução Normativa Inmetro (INI), um novo método de avaliação baseado em um metamodelo fundamentado em redes neurais artificiais [2]. Esse método tem como objetivo mensurar o consumo de energia primária das edificações, promovendo o uso racional de energia, recursos naturais e com o intuito de

combater o desperdício, visando reduzir resíduos e emissões de gás carbônico [2].

Com base nesse contexto, o presente trabalho propõe um estudo de caso em um restaurante comercial localizado em Mossoró/RN. O objetivo principal é aplicar a metodologia Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) para avaliar o desempenho energético desse estabelecimento. No trabalho, serão analisados critérios como o sistema de iluminação, a eficiência da envoltória, o sistema de condicionamento de ar e o consumo energético dos equipamentos utilizados, buscando promover a eficiência energética e a sustentabilidade na operação do restaurante.

A avaliação desses critérios permitirá identificar oportunidades de melhoria e implementar ações que visem reduzir o consumo de energia e os impactos ambientais causados pelo restaurante. O presente trabalho também poderá servir como referência para a implementação de medidas efetivas de economia de energia e redução dos impactos ambientais em outros restaurantes comerciais.

II. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Nesta seção, é discutida a importância da eficiência energética em edifícios para a redução do consumo de energia, sendo abordado o método INI-C como uma contribuição significativa para esse objetivo.

A. Otimização energética em edifícios

A busca pela otimização energética em edifícios desempenha um papel relevante na redução do consumo de energia elétrica e das emissões de gases poluentes, contribuindo para mitigar os impactos ambientais. No Brasil, por exemplo, assim como em outros países, o setor de edificações consome uma quantidade significativa de energia elétrica, assim como água potável e recursos naturais, além de gerar resíduos e emissões de CO₂ [3].

No setor comercial, por exemplo, estima-se que o consumo de eletricidade em 2021 tenha sido algo em torno de 16%, com a eletricidade sendo a principal fonte de energia utilizada nestes tipos de as edificações, representando cerca de 91,3% do consumo [3]. Essa dependência da eletricidade destaca a importância de se investir em eficiência energética, principalmente considerando a matriz energética brasileira, que é predominantemente composta por usinas hidrelétricas, sujeitas a variações de geração durante períodos de seca.

Neste contexto, a otimização do desempenho energético em construções visa alcançar uma gestão mais eficaz do consumo de energia, sem comprometer o conforto visual, acústico e ergonômico, com o objetivo de melhorar tanto a qualidade do ambiente quanto do processo produtivo. Dessa forma, é possível reduzir o consumo diário de energia, ao mesmo tempo em que se assegura a construção de edifícios com a mesma qualidade ou até superior [4]. Diversos fatores influenciam o balanço energético de uma edificação, como as características técnicas da construção, o microclima, a temperatura externa, a radiação solar, o vento, as trocas térmicas das paredes e cobertura, a transmissão de calor no interior da edificação pelos usuários, a iluminação e os equipamentos eletrônicos [2].

Em 1985, o governo brasileiro instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), com o objetivo de promover o uso racional de energia elétrica em todo o país. Entre as iniciativas do Programa, destaca-se a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) que visa classificar a eficiência energética de diferentes equipamentos e edificações [5].

Após a crise energética de 2001, conhecida como a "crise do apagão", o governo brasileiro promulgou a Lei nº 10.295, em 2001, também conhecida como Lei de Eficiência Energética (LEE) [6]. Essa legislação estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e é regulamentada pelo Decreto 9.864, de 2019, que trata do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética [7].

Diante da necessidade premente de promover o uso racional de energia elétrica e em resposta a desafios como a crise energética de 2001, que levaram à instituição do PROCEL e da LEE, o Brasil elaborou um método específico de avaliação direcionado a edifícios comerciais. Denominado Instrução Normativa do Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, esse método foi desenvolvido com o objetivo principal de impulsionar a eficiência energética no contexto da construção. Seu propósito central reside na estipulação de critérios de desempenho que devem ser atendidos para a obtenção das etiquetas de eficiência energética.

B. Instrução Normativa Inmetro – INI

A Instrução Normativa Inmetro - INI representa um importante avanço na atualização do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Ela surgiu para abordar as limitações identificadas no método prescritivo do RTQ-C, com o objetivo de proporcionar uma avaliação mais abrangente e precisa da eficiência energética de edificações.

Por meio da INI, a eficiência energética das edificações pode ser analisada de forma mais realista, considerando tanto a energia elétrica quanto a energia térmica proveniente de diversas fontes. A metodologia permite a comparação entre uma condição de referência e uma condição de estudo (real), utilizando o consumo de energia primária dos sistemas avaliados [2].

A classificação parcial da edificação é uma das características da INI, possibilitando a análise específica de sistemas como a envoltória, o sistema de condicionamento de ar, a iluminação e o sistema de aquecimento de água. Isso direciona os esforços para soluções mais eficazes e adequadas às necessidades específicas de cada projeto de eficiência energética.

Com a Instrução Normativa Inmetro - INI, os consumidores podem obter informações detalhadas sobre o consumo de energia primária por sistema final, bem como sobre as emissões de dióxido de carbono e o potencial de economia de água potável proporcionado por medidas de redução de consumo [8].

1) Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – INI-C

A Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C é uma importante medida que busca aprimorar a avaliação da eficiência energética de edificações no Brasil. Desde 2014, o Procel Edifica em parceria com o CB3E vem empreendendo esforços para melhorar o atual método de classificação de eficiência energética, tanto para edificações comerciais quanto para residenciais [8].

O objetivo principal dessas ações é proporcionar aos consumidores informações mais claras e precisas para que possam tomar decisões conscientes ao escolher um imóvel. Atualmente, a etiquetagem de edificações classifica o desempenho energético utilizando um indicador de consumo que varia de A a E, mas não fornece uma noção real do consumo energético da edificação [8]. Isso dificulta a quantificação da economia gerada por medidas de eficiência energética aplicadas ao imóvel.

Previamente, a avaliação de edifícios se baseava no método RTQ-C, que oferecia abordagens prescritivas e simulações de consumo energético. Contudo, esse método apresentava limitações, tais como a falta de consideração pela volumetria das edificações, a aplicação de parâmetros uniformes, a inclusão de dados não significativos e a ausência de análise do entorno. Era empregada somente uma medida de carga térmica e utilização, sem contemplar as influências naturais e a ventilação [2].

Através da nova abordagem proposta, a INI-C passou a considerar o consumo de energia primária como um indicador de eficiência. Essa perspectiva abrange tanto a energia elétrica quanto a energia térmica, oriundas de diversas fontes, como eletricidade, gás e solar. A etiqueta de eficiência energética resultante dessa mudança se baseia no consumo de energia primária e visa fornecer informações abrangentes, incluindo os consumos anual e mensal de energia primária por sistema final. Além disso, a etiqueta quantifica as emissões de dióxido de carbono e destaca o potencial de economia de água potável, proveniente de sistemas que reduzem seu consumo [8].

Para a classificação de eficiência, a INI-C compara o consumo de energia da edificação real com o da mesma edificação em uma condição de referência equivalente à

classificação D. É possível realizar uma classificação parcial da edificação, considerando sistemas específicos, como a envoltória, o sistema de condicionamento de ar, a iluminação e o sistema de aquecimento de água, entre outros.

Os procedimentos para determinar a classificação de eficiência energética são baseados em métodos simplificados e de simulação. Esses métodos proporcionam uma avaliação detalhada do consumo de energia, considerando as características reais da edificação e a referência padrão. Dessa forma, a INI-C permite uma análise mais abrangente do desempenho energético das edificações, oferecendo aos consumidores informações valiosas para a escolha de imóveis mais eficientes e sustentáveis.

III. METODOLOGIA

Nesta seção, após discutir as iniciativas relacionadas à eficiência energética em edificações e apresentar o método INI-C na seção anterior, será exposta a metodologia empregada para avaliar a eficiência energética da unidade comercial em foco. Optou-se pelo uso do método simplificado INI-C devido à sua habilidade de oferecer uma análise minuciosa e precisa do desempenho energético do estabelecimento. Por meio desse método, todas as fases da avaliação serão detalhadas, proporcionando uma visão completa das medidas adotadas para promover a eficiência energética na unidade comercial específica.

A. Unidade Comercial

O foco da análise é um restaurante localizado em Mossoró/RN, cuja construção foi concluída no ano de 2019. Trata-se de um estabelecimento comercial de um único andar no nível do solo, e sua representação detalhada, a partir da planta baixa, está disponível na Figura 1. A altura do piso ao teto nesse pavimento é de 4,3 metros, e a fachada principal está direcionada para o sudoeste. O restaurante em questão possui uma loja, um banheiro, um depósito e uma cozinha com área total estimada em torno de 65 m².

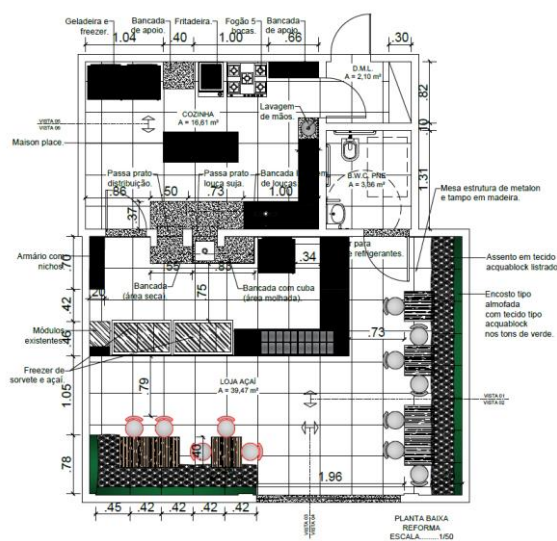


Fig. 1. Planta baixa do edifício comercial. Fonte: [Autor]

A fim de avaliar a eficiência energética da edificação em análise, é necessário considerar certas características

específicas. Com base no projeto fornecido, foram levantadas informações relacionadas à geometria da construção. Além disso, os materiais empregados na edificação, a potência dos sistemas de iluminação e equipamentos foram coletados através de pesquisas e de um questionário via e-mail direcionado à construtora, complementado por uma visita presencial ao local.

B. INI-C

1) Classificação geral

O consumo de energia primária da edificação real (CEP,real) é determinado somando o consumo estimado de energia elétrica (CEE,real) e térmica (CET,real), multiplicados pelos respectivos fatores de conversão (fcE e fcT). Se houver geração local de energia renovável, essa parcela é descontada da soma. Já o consumo de energia primária da edificação em condição de referência (CEP,ref) é calculado apenas pelo consumo estimado de energia elétrica (CEE,ref), multiplicado pelo fator de conversão específico (fcE), sem considerar a geração local de energia renovável, caso exista [9].

O consumo total de energia elétrica da edificação em sua condição real (CEE,real) e de referência (CEE,ref) é composto pela soma dos consumos de refrigeração (CR,real e ref), iluminação (CIL,real e ref), aquecimento de água em energia elétrica (CAAE,real e ref) e consumo de equipamentos (CEQ). Esses valores são usados para calcular o consumo de energia primária da edificação real e de referência, levando em conta os fatores de conversão pertinentes e descontando a geração local de energia renovável, se aplicável [9].

A determinação da classificação da eficiência energética geral da edificação deve ser feita com base no percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da edificação real em comparação à mesma edificação em sua condição de referência, conforme mostrado na Equação 1 [9].

$$A \quad Red_{CEP} = \left(\frac{C_{EP,ref} - C_{EP,real}}{C_{EP,ref}} \right) * 100 \quad (1)$$

Em um estágio seguinte, é aplicada a Equação 2 para determinar o Fator de Forma (FF) específico da edificação. Esse fator desempenha uma função importante no cálculo do Coeficiente de Redução do Consumo de Energia Primária da classe D para a classe A (CRCEPD-A), conforme detalhado em referência [9]. O CRCEPD-A é essencial para posicionar a edificação em um intervalo (i), conforme descrito na Equação 3 [9], permitindo assim classificá-la adequadamente.

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (2)$$

$$i = \frac{(C_{EP,REF} * CRCEPD-A)}{3} \quad (3)$$

A Tabela I apresenta os valores para as condições real e de referência da edificação. A classificação geral da

eficiência energética da edificação é determinada pela comparação entre o consumo de energia primária da edificação real e os intervalos calculados. Essa comparação é utilizada para identificar a classificação de eficiência energética geral. Se a carga térmica total anual da edificação real for maior do que a da condição de referência, sua classificação final será E. Para o INI-C, é importante comparar o valor de CEPREAL com CEPREF [9].

Tabela I. Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral. Fonte: [9]

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

2) Envolvória

O método simplificado de avaliação das zonas térmicas condicionadas artificialmente utiliza metamodelos baseados em redes neurais artificiais para analisar a envoltória de edificações. Esses metamodelos fornecem os valores de consumo anual de energia para refrigeração dos ambientes, tanto para a versão real da edificação quanto para a versão de referência. A correlação desses valores é essencial para definir a classificação de desempenho da edificação [8].

É importante ressaltar que o método simplificado abrange a maioria das soluções arquitetônicas mais comuns e amplamente difundidas. No entanto, sua aplicação está restrita a edificações que tenham parâmetros construtivos dentro dos intervalos especificados na proposta desse método [9]. A delimitação das zonas deve se restringir exclusivamente a áreas que possuem sistemas de climatização, garantindo que somente essas regiões sejam consideradas na análise. Para avaliar o desempenho, os dados obtidos são confrontados com os requisitos mínimos indicados, como mostra a Tabela II.

Tabela II. Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado. Fonte: [9]

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α_{par})	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_{cob})	0,22 kJ/(m².K)	450 kJ/(m².K)
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	0,22 kJ/(m².K)	450 kJ/(m².K)
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m²	40 W/m²
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 W/m²	40 W/m²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m

Percentual de área de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,51 W/(m².K)	5,07 W/(m².K)
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,50 W/(m².K)	4,40 W/(m².K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1,9 W/m²	5,7 W/m²

Durante a etapa de avaliação, a envoltória e a edificação são analisadas em duas situações distintas: a condição real e a de referência. Nessa fase, o enfoque é comparar a Carga Térmica anual de resfriamento (Cg_{TT}) em vez do Consumo de Energia Primária (CEP). A estimativa da Carga Térmica é realizada através de dados inseridos no metamodelo *online*, que oferece uma interface para prever tanto a Cg_{TT} na condição real (Cg_{TTREAL}) quanto na condição de referência (Cg_{TTREF}), utilizando os dados previstos no regulamento para essas previsões [12].

A avaliação da envoltória é baseada no percentual de redução da carga térmica total anual da edificação real em comparação com a mesma edificação em sua condição de referência ($RedCg_{TT}$). A classificação de eficiência energética da envoltória é determinada a partir da carga térmica total anual da edificação em sua condição de referência (Cg_{TTref}) e do coeficiente de redução de carga térmica total anual da classe D para A ($CRCg_{TTD-A}$), conforme a Equação 4. Esse coeficiente é calculado com base no fator de forma da edificação (FF) (Equação 2), e no grupo climático (GC) ao qual ela pertence [9].

$$i = \frac{(Cg_{TTref} * CRCg_{TTD-A})}{3} \quad (4)$$

Depois de obter o valor de "i" por meio do cálculo e divisão apropriados, é preciso preencher a Tabela III com esse resultado. Em seguida, é feita uma comparação entre a carga térmica total anual da edificação real (Cg_{TTreal}) e os limites determinados na Tabela III, os quais são baseados na carga térmica total anual de referência. Essa análise permitirá identificar a classificação de eficiência da envoltória da edificação em questão.

Tabela III. Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória. Fonte: [9]

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$> Cg_{TTref} - 3i$	$> Cg_{TTref} - 2i$	$> Cg_{TTref} - i$	$> Cg_{TTref}$
Limite inferior	$\leq Cg_{TTref} - 3i$	$\leq Cg_{TTref} - 2i$	$\leq Cg_{TTref} - i$	$\leq Cg_{TTref}$	-

3) Sistema de iluminação

No processo de dimensionamento energético de uma edificação, o primeiro passo é identificar as atividades presentes nos diferentes ambientes. Em seguida, calcula-se a Área Iluminada (AI) para cada atividade e multiplica-se pela Demanda de Potência por Iluminação (DPIL) para obter a Potência Limite (PL) específica. Somando as potências limites de todas as atividades, obtém-se a Potência Limite Total para a condição de referência D, representada pela Potência Total Instalada (PITREF). O mesmo procedimento

é realizado para a condição equivalente à classe A, resultando na Potência Total Instalada para a classe A (PITA) [9].

O consumo de energia elétrica do sistema de iluminação tanto da edificação real (CIL_{real}) quanto a de referência (CIL_{ref}) são calculados por meio da multiplicação entre a potência total instalada de iluminação e o tempo de utilização (um valor variável dependente da tipologia da edificação), conforme expresso na Equação 5. A escala de classificação de eficiência energética do sistema de iluminação é estabelecida a partir da potência limite de iluminação das classificações A (PILA) e D (PILD) [9]. Para determinar as classes intermediárias, o intervalo entre as classes A e D é dividido em três partes iguais, representadas por "i" na Equação 6

$$C_{IL,real e ref} = P_{IT} * (h * N_{ano}) \quad (5)$$

$$i = \frac{(P_{ILD} - P_{ILA})}{3} \quad (6)$$

O valor "i" é utilizado para preencher a Tabela IV, que por sua vez, define a classificação de eficiência energética do sistema de iluminação. Essa classificação é obtida ao comparar a potência total instalada do sistema de iluminação da edificação real com a escala resultante, permitindo determinar em qual categoria de eficiência o sistema se enquadra [9].

Tabela IV. Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para o sistema de iluminação. Fonte: [9]

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> P _{ILD} - 3i	> P _{ILD} - 2i	> P _{ILD} - i	> P _{ILD}
Limite inferior	< P _{ILD} - 3i	≤ P _{ILD} - 2i	≤ P _{ILD} - i	≤ P _{ILD}	-

4) Sistema de condicionamento de ar

Para determinar o consumo de refrigeração da edificação real (CR_{real}), é essencial obter a carga térmica total anual da edificação real (CgTT_{real}) e o coeficiente de eficiência energética do sistema de ar condicionado para refrigeração (CEER). A Equação 7 apresenta o cálculo para o consumo de refrigeração da edificação real (CR_{real}). Da mesma forma, é necessário empregar a carga térmica total anual da edificação em sua condição de referência (CgTT_{ref}) para calcular o consumo de refrigeração da edificação na condição de referência (CR_{ref}), conforme expresso na Equação 8 [9].

$$C_{R,real} = \frac{C_{gTT,real}}{CEE_R} \quad (7)$$

$$C_{R,ref} = \frac{C_{gTT,ref}}{2,6} \quad (8)$$

O cálculo do CEER envolve a obtenção da média dos coeficientes de eficiência energética e do número de aparelhos considerados. Além disso, o valor correspondente à condição de referência (Classe C) é obtido através da página

eletrônica do INMETRO [10], seguindo as informações disponíveis na Tabela V.

Tabela V. Condicionadores de ar split hi-wall. Fonte: Adaptado de [10]

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		
A	3,20	<CEE	-
B	3,20	<CEE<=	3,20
C	2,80	<CEE<=	3,20
D	2,60	<CEE<=	2,80
E	2,39	<=CEE<=	2,60

A obtenção da classificação "A" de eficiência energética para o sistema de condicionamento de ar requer o cumprimento das espessuras mínimas de isolamento térmico nas tubulações destinadas à condução de fluidos [9]. Nos casos em que a condutividade térmica não se enquadre nos intervalos determinados, é necessário calcular a espessura adequada conforme especificado na instrução normativa [2].

5) Consumo energético de equipamentos

O consumo de equipamentos tanto para a edificação real como para sua condição de referência deve ser idêntico. Esse cálculo é obtido multiplicando-se a potência instalada do equipamento pelo tempo de uso da edificação, como indicado na Equação 9.

$$C_{EQ} = P_i * (h * N_{ano}) \quad (9)$$

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em um primeiro momento, foram introduzidos os dados necessários para os cálculos visando a classificação geral. As propriedades térmicas e características de desempenho dos materiais foram consideradas de acordo com as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [11]. Com base no Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos [9], foi compilada a Tabela VI. Além disso, os ambientes foram classificados em áreas de permanência prolongada e transitória, com a síntese dessas categorias disponibilizada na Tabela VII.

Tabela VI. Desempenho dos materiais. Fonte: Adaptado de [9].

Parâmetros	Dados
Transmitância Térmica da Cobertura – ACa (Ucob)	1,95 W/(m².K)
Transmitância Térmica da Cobertura – ANCb (Ucob)	1,95 W/(m².K)
Transmitância Térmica das Paredes (Upar)	2,85 W/(m².K)
Percentual de Abertura Zenital (PAZ)	0%
Absortância Solar da Cobertura (αcob)	75%
Capacidade Térmica das Paredes (CTpar)	110 kJ/(m².K)
Absortância Solar das Paredes (αpar)	30%
Fator Solar (FS) – vidro comum 3mm	0,82

Nota: a. Área útil dos ambientes condicionados de permanência prolongada; b. Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada.

Tabela VII. Classificação de ambientes quanto à permanência. Fonte: [Autor]

Parâmetros	Ambiente	Área útil (m²)
Transitória - APTa	Banheiro, depósito	5,46
Prolongada - ACb	Loja	39,47
Prolongada - ANCc	Cozinha	16,61
Área útil - AUd	-	61,54

Nota: a. Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados; b. Área útil dos ambientes condicionados de permanência prolongada; c. Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada; d. Área útil total do edifício.

A. Avaliação conforme INI-C

1) Envolvória

Considerando a edificação comercial em análise, foi determinado que a tipologia mais adequada é a de edificações de alimentação. Com o intuito de garantir um planejamento térmico eficiente, as zonas térmicas foram divididas, levando em consideração os parâmetros que as caracterizam, bem como suas respectivas áreas, sendo importante ressaltar que apenas as áreas condicionadas foram levadas em consideração para essa análise.

As zonas perimetrais foram delimitadas com base em espaços de 4,5 metros de profundidade, seguindo diretrizes estabelecidas para a otimização do controle térmico do ambiente [9]. Cabe mencionar que, caso a largura ou o comprimento do espaço a ser analisado sejam inferiores a 9 metros, a configuração será composta apenas por zonas perimetrais, uma vez que essa configuração é mais apropriada para garantir a adequada climatização do espaço.

De forma abrangente, foram identificadas e consideradas quatro zonas térmicas para a edificação em questão. Essas zonas foram criadas estrategicamente com base em critérios específicos e levaram em consideração o PAF, como definido e apresentado na Tabela VIII.

Tabela VIII. Divisão das zonas térmicas da edificação. Fonte: [Autor]

Zona	Orientação	PAF
1	SO	0
2	NE	17
3	SO	35
4	SE	0

Na Tabela IX encontra-se a relação de parâmetros que diferenciam a edificação da condição real para a condição de referência. Já na Tabela X, estão disponibilizados os DPIL para os ambientes do edifício.

Tabela IX. Valores de referência da envoltória. Fonte: Adaptado de [9]

Parâmetros	Condição real	Condição de referência
PAF (%)	17a 35b	40%
Parede	Bloco de cimento com dois furos	Argamassa interna (2,5cm), bloco cerâmico furado (9cm), argamassa externa (2,5cm)
Upar (W/m²K)	3,32	2,39
αPAR	0,30	0,50
CTpar (kJ/m²K)	120	150
Cobertura	Telha de barro, câmara de ar	Telha de fibrocimento câmara de ar (>5cm) e laje

	(>5cm) e forro de gesso (3cm)	maciça de concreto (10cm)
Ucob (W/m²K)	1,94	2,06
αCOB	0,50	0,80
CTcob (kJ/m²K)	100	233

Nota: a. Para a orientação NE na zona 2. b. Para a orientação SO na zona 3.

Tabela X. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício. Fonte: Adaptado de [9]

Ambiente/Atividade	DPIL Nível A (W/m²)	DPIL Nível D (W/m²)
Banheiro	9,15	13,73
Depósito	4,95	8,00
Restaurante - salão	7,65	15,36
Cozinha	11,40	17,12

No município de Mossoró, situada no grupo climático 22 com um FF de 0,44, estima-se que o CRCEPD-A seja de 0,23 [9]. Através dos dados obtidos no metamodelo *online* [17], o valor de CgTTREF foi calculado, resultando em 4.344,46 kWh/ano. A Equação 6 foi utilizada para determinar o intervalo, o qual corresponde a $i = 333,07$, sendo essencial para estabelecer os limites referentes ao nível de eficiência, conforme apresentado na Tabela XI. Ao analisar o consumo real de energia, verificou-se que o valor de CgTTREAL é igual a 3.964,38 kWh/ano, classificando, assim, a envoltória do edifício no Nível C de eficiência energética.

Tabela XI. Limites de intervalo de nível de eficiência. Fonte: [Autor]

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 3345,25	> 3678,32	> 4011,39	> 4344,46
Limite inferior	< 3345,25	≤ 3678,32	≤ 4011,39	≤ 4344,46	-

2) Condicionamento de ar

Foi realizado o cálculo da média de eficiência dos condicionadores de ar, através de uma ferramenta *online* [17], representados na Fig.2, obtendo-se como resultado uma eficiência média de 5,27, o que classifica o sistema como pertencente à classe A. Além disso, procedeu-se à verificação dos requisitos mínimos para validar essa classificação, realizando-a *in loco*. Com base nas Equações 7 e 8, foram obtidos os valores de CCAREAL e CCAREF, que correspondem a 752,25 kWh/ano e 1.609,05 kWh/ano, respectivamente.

Fig. 2. Avaliação do condicionamento de ar. Fonte: Adaptado de [18]

Condicionamento do Ar

Pré-Requisitos Gerais

☒ Possui isolamento de tubulações
☐ Não possui isolamento de tubulações

Condicionadores de ar etiquetados

	Ambiente	Nº. de Unidades	Tipo	Capacidade [BTU/h]	Eficiência [W/W]	Etiqueta
1	Loja	2	split	18000	5,27	A
			split	18000		

Condicionadores de ar não etiquetados

	Condicionador de ar	Capacidade [BTU/h]	Nível de eficiência
1			A

AU 61,54 m²
AC 39,47 m²

Calcular Eficiência Limpar

A

3) Iluminação

Com base na abordagem metodológica das atividades, a Tabela XII contém a AI atribuída a cada ambiente analisado, acompanhada do DPIL para nível A e nível D.

Tabela XII. Área de ambientes e seus limites máximos de DPIL. Fonte: Adaptado de [9]

Ambiente/Atividade	Área (m²)	DPIL Nível A (W/m²)	DPIL Nível D (W/m²)
Banheiro	3,36	9,15	13,73
Depósito	2,10	4,95	8,00
Loja	39,47	7,65	15,36
Cozinha	16,61	11,40	17,12

Através das Equações 10 e 11, determinam-se as potências de referência para os níveis D e A, respectivamente. Ao calcular os valores de PILD e PILA, é possível então encontrar o valor do intervalo i, fixado em 140,37. Esses valores são utilizados na parametrização dos limites presentes na Tabela XIII.

$$PI_{LD} = \sum (A_i * DPI_{LD}) = 953,55 \text{ W} \quad (10)$$

$$PI_{LA} = \sum (A_i * DPI_{LA}) = 532,44 \text{ W} \quad (11)$$

Tabela XIII. Limites de intervalo de iluminação. Fonte: [Autor]

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 532,44	> 672,81	> 813,18	> 953,55
Limite inferior	< 532,44	≤ 672,81	≤ 813,18	≤ 953,55	-

Realizado o cálculo da potência instalada de iluminação na Tabela XIV, foi possível obter o Nível A para o sistema de iluminação.

Tabela XIV. Potência instalada de iluminação. Fonte: [Autor]

Atividade	Quantidade	Potência unitária (W)	Potência Instalada total (W)
Banheiro	1	15	15
Depósito	1	15	15
Loja	9	6	54
	8	9	72
	5	13	65
Cozinha	4	15	60
TOTAL			281

Ao encontrar o valor da potência instalada total (PIT), é possível calcular os valores de CILREAL e CILREF, que são de 755,33 kWh/ano e 2563,14 kWh/ano, respectivamente. Esses cálculos são feitos com base nas Equações 12 e 13 e consideram um uso diário de 8 horas e ocupação por 336 dias ao longo do ano.

$$C_{IL,real} = PI_T * (h * N_{ano}) = 281 * 336 * 8 * \frac{1}{1000} \quad (12)$$

$$= 755,33 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{IL,ref} = PI_{LD} * (h * N_{ano}) = 953,55 * 336 * 8 * \frac{1}{1000} \quad (13)$$

$$= 2563,14 \text{ kWh/ano}$$

4) Equipamentos

O cálculo do consumo de energia elétrica dos equipamentos foi realizado usando a Equação 9. O CEQ, juntamente com as características dos equipamentos, é apresentado na Tabela XV.

Tabela XV. Características dos equipamentos. Fonte: [Autor]

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Horas (h)	Dias	CEQ (kWh/ano)
Computador	1	300	8	336	806,4
Impressora laser	2	900	1	336	604,8
Microondas	1	1000	2	336	672
Freezer vertical	2	300	24	365	5256
Freezer horizontal	3	500	24	365	13140
Liquidificador	1	300	2	336	201,6
TOTAL					20680,8

5) Classificação geral

É necessário obter o Consumo Estimado de Energia Elétrica (CTEE) para a devida avaliação do CEP. A Equação 14 estabelece o consumo de referência, enquanto a Equação 15 realiza a conversão em energia primária. É importante destacar que, nesse contexto específico, não são considerados o aquecimento de água ou a geração de energia elétrica renovável, resultando em valores nulos para CAAE e GEE. O fator de conversão (fcE) considerado será de 1,6.

$$CTE_{EREF} = C_{IL,ref} + CCA_{REF} + CAA_E + CEQ - GE_E \quad (14)$$

$$= 24852,99 \text{ kWh/ano}$$

$$CEP_{REF} = (CTE_{EREF} * fcE) = 39764,78 \text{ kWh/ano} \quad (15)$$

De maneira análoga, estabelece-se a relação dos consumos na condição real por meio da Equação 16, enquanto a Equação 17 realiza a conversão em energia primária.

$$CTE_{EReal} = C_{IL,real} + CCA_{real} + CAA_E + CEQ - GE_E \quad (16)$$

$$= 22188,38 \text{ kWh/ano}$$

$$CEP_{REAL} = (CTE_{EReal} * fcE) = 35501,40 \text{ kWh/ano} \quad (17)$$

Através dos dados provenientes de CEPREF e CEPREAL, torna-se viável a determinação do intervalo, o qual é calculado empregando a Equação 3. Tal cálculo resulta em um valor de $i = 1.905,39$, que é posteriormente empregado para preencher a Tabela XVI. Assim, é realizada a comparação entre os valores da situação concreta e os valores limite. O REDCEP da edificação é de 10,72%. A partir desta avaliação, a construção é categorizada como possuidora de eficiência energética no Nível B.

Tabela XVI. Limites para a classificação geral. Fonte: [Autor]

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 34048,61	> 35954	> 37859,39	> 39764,78
Limite inferior	< 34048,61	≤ 35954	≤ 37859,39	≤ 39764,78	-

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A otimização do consumo energético em edifícios representa uma prática eficaz para minimizar as perdas de energia, resultando em aprimoramentos tanto no desempenho das edificações quanto nas redes de transporte e distribuição de energia. Adicionalmente, esse enfoque contribui para a redução de custos e tem como foco a obtenção de benefícios como a diminuição das despesas energéticas e o refinamento das operações dos dispositivos [15].

Sendo assim, no decorrer da avaliação deste trabalho, foi observado que a edificação comercial foi categorizada com nível C para sua envoltória, ao passo que o sistema de condicionamento de ar conquistou uma avaliação de nível A. Esses resultados convergem para uma classificação global de nível B. Além disso, é importante destacar que essa classificação global apresenta uma redução significativa de 10,72% no consumo de energia primária em comparação com o estado de referência da mesma edificação.

O método INI-C desempenhou um papel significativo na avaliação do desempenho energético da edificação, ao fornecer resultados quantitativos essenciais. No que diz respeito ao envoltório, foi possível determinar um consumo real de 3.964,38 kWh/ano. Quanto ao sistema de condicionamento de ar, a classificação na categoria A baseou-se em verificações realizadas no local, com valores específicos de CCAREAL (752,25 kWh/ano) e CCAREF (1.609,05 kWh/ano). Para otimizar a iluminação, procedeu-se à definição das potências, contribuindo para a delimitação de limites. Além disso, o método permitiu analisar o consumo global dos equipamentos (20.680,8 kW/ano), aspecto não abordado, por exemplo, no método RTQ-C.

Essa análise sugere também que a edificação já exibe um desempenho energético considerável, entretanto, há espaço para melhorias adicionais mediante o aprimoramento da eficiência da envoltória. Uma abordagem recomendada abrange a otimização do isolamento térmico das paredes, janelas e cobertura, visando a minimização das perdas de energia e a maximização da utilização eficiente dos recursos disponíveis.

Recomenda-se também, para trabalhos futuros, a consideração de eventuais revisões no Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, que está sujeito a atualizações. Além disso, a modelagem do edifício de estudo por meio de plataformas como Revit ou Sketchup é uma opção viável, possibilitando análises de desempenho subsequentes com o auxílio de ferramentas como DesignBuilder e EnergyPlus [2]. A adoção de *softwares* de

simulação resulta em aprimoramentos na precisão das análises, impactando positivamente a qualidade dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- [1] PBEEDIFICA, Interface Web. **Eletrobras – PROCEL Edifica**. 2020. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/node/24>>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- [2] LIMA, K. S. **Análise comparativa de métodos de avaliação da eficiência energética em uma edificação comercial no semiárido potiguar**. 2020. 12 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6368/1/KelianySL_ART.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2023.
- [3] BEN 2022, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2022, ano base 2021**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- [4] LADE, Interface Web. **O que é eficiência energética em edificações**. Disponível em: <<https://lade.ufms.br/oi/duvidas/o-que-e-eficiencia-energetica-em-edificacoes/>>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- [5] MISK, A. F. **Avaliação de medidas de eficiência energética na envoltória de um edifício de escritórios por meio de um método simplificado**. 2019. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/202840>>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- [6] BRASIL. Lei nº. 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Poder legislativo, Brasília, DF, 17 out 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em 27 jul. 2023.
- [7] BRASIL. Decreto nº 9.864, de 27 de junho de 2019. **Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dispõe sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 jun. 2019. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-9.864-de-27-de-junho-de-2019-179415481>>. Acesso em: 27 jul. 2023.
- [8] CB3E, Interface Web. **Novo método de avaliação energética de edificações com base em energia primária**. Disponível em: <<https://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- [9] Portaria n.º 42, de 24 de fevereiro de 2021. INMETRO – Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **INIC – C**. Rio de Janeiro, 2021.
- [10] INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Condicionador de ar split hi-wall**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionador_de_ar_split_hi_wall.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- [11] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.
- [12] PBE EDIFICA, Interface Web. **Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/inic>>. Acesso em: 26 jul. 2023.

- [13] INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/>>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- [14] LABEEE/UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Web Prescritivo**. 2013. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 06 ago. 2023.
- [15] SANTOS, A. C. **Análise de otimização energética de um edifício comercial e residencial**. 2020. 71 p. Dissertação (Mestrado em Energias Sustentáveis) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2020. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/16726/1/DM_AfonsoSantos_2020_MES.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- [16] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.
- [17] PBEEDIFICA, Interface Web. **Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2021. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- [18] LABEEE/UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Web Prescritivo**. 2013. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 07 ago. 2023.