DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA À NZEB: AVALIAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO EDUCACIONAL PELO METÓDO SIMPLIFICADO DA INI-C

Artur Kamimura (1); Veronica Gnecco (2); Michele Fossati (3); Renata de Vecchi (4); Roberto Lamberts (5)

(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, arturkamimuras@gmail.com

(2) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, veronicamgnecco@gmail.com

(3) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, michele.fossati@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

(4) PhD, redevecchi@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

(5) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

RESUMO

A normatização e a etiquetagem de eficiência energética de edificações são instrumentos para a melhoria da eficiência e redução da demanda energética e das emissões de carbono das edificações. A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e Residenciais (INI-R) tem papel fundamental nesse desafio. Na INI-C, publicada em fevereiro de 2021, houve a introdução dos conceitos de Edificações de Energia Quase Zero (NZEB) e de Edificações de Energia Positiva (EEP). Neste artigo, o método simplificado da INI-C e seus conceitos de NZEB, EEP e Potencial de Geração de Energia (PG_E) foram aplicados a uma edificação educacional, comparando o modelo real e o modelo de referência a partir da redução no consumo e nas emissões. A edificação analisada obteve classificação de eficiência A para envoltória, iluminação e para a edificação geral, e, aplicados sistemas fotovoltaicos, foi possível atingir os conceitos de NZEB e EEP. Assim, no caso base houve redução de consumo e de emissões de CO_2 de 30% em relação à edificação de referência e, aplicados os sistemas fotovoltaicos em duas situações da edificação real, obteve-se mais 51% de redução de consumo e de emissões para a NZEB e 100,50% para a EEP.

Palavras-chave: Edificação de Energia Quase Zero, Edificação de Energia Positiva, Classificação Energética de Edificações.

ABSTRACT

Regulation and labelling programmes are tools to improve buildings' energy efficiency by reducing the energy consumption and the CO_2 emissions. The Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, and Public Service Buildings (INI-C) and Residential (INI-R), has an important role to reach these goals. In the last version, published in February 2021, the concepts of Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) and Energy Positive Buildings (EEP) are introduced. In this article, the INI-C simplified method and its concepts of NZEB, EEP and Power Generation Potential (PG_E) were applied to an educational building by comparing the energy consumption and CO_2 emissions from the real building condition to its benchmark. The analysed building obtained an efficiency rating A for envelope, lighting and for the entire building. The concepts of NZEB and EEP were achieved with the incorporation of a photovoltaic system. A reduction of 30% in the energy consumption and CO_2 emissions was observed from the base case to its benchmark. After the photovoltaic systems incorporation in the base case an additional of 51% reduction in consumption and emissions for NZEB and 100.50% for EEP were registered.

Keywords: Nearly Zero Energy Building, Positive Energy Building, Buildings Energy Performance Certification.

1. INTRODUÇÃO

As edificações e o setor da construção civil são, juntos, responsáveis por 36% do consumo global de energia final e por 39% das emissões diretas e indiretas de gases do efeito estufa (IEA, 2019a).

Para reduzir o consumo energético de edificações, um dos instrumentos mais difundidos e reconhecidos internacionalmente é o uso de normas e regulamentações para a avaliação e classificação de edifícios em termos de eficiência energética (FOSSATI et al., 2016). A etiquetagem e certificação energética de edificações também são ferramentas úteis para a promoção de ações e políticas de eficiência energética. Olofsson, Meier e Lamberts (2004) reafirmam a importância da contínua melhoria da eficiência energética das edificações e que uma classificação energética somente é bem-sucedida quando baseada em estratégias de avaliação adequadas.

Em países como a Alemanha e Estados Unidos, o desenvolvimento das primeiras normas para incentivar a eficiência energética em edificações e seu aperfeiçoamento ocorreu notadamente após crises energéticas importantes, como a crise do petróleo dos anos 70 e a crise energética americana dos anos 2000 (CUNHA; VAUPEL; LÜCKING, 2008; SISSINE, 2007). Segundo Wong e Krüger (2017), a partir de 1990, as classificações energéticas e ambientais de edificações foram inseridas com maior intensidade no mercado imobiliário de países desenvolvidos, já com o objetivo de reduzir o consumo e as emissões de CO_2. No Brasil, uma das iniciativas pioneiras visando a eficiência energética data de 1984, a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que inicialmente fornecia aos consumidores informações sobre a eficiência energética dos eletrodomésticos. Em 2001, como consequência principalmente da crise energética vivida no país, foi publicada a Lei 10.295, chamada "Lei de Eficiência energética"; a partir da qual houve importantes avanços, o que possibilitou, dentre outras ações, a criação de metodologias para a avaliação da eficiência energética de edificações (INMETRO, 2021a). Especificamente para as edificações, a avaliação da eficiência energética iniciou em 2009 com a publicação do Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C (BRASIL, 2009), seguido pelo Regulamento para Edificações Residenciais – RTQ-R, publicado em 2010 (BRASIL, 2012). Estes textos apresentam o método para a avaliação e classificação de edificações, mas não fazem menção aos índices mínimos de eficiência, obtenção de edificações de alta eficiência ou edificações que produzem sua própria energia.

Visando a melhoria contínua e atualização dos métodos de avaliação, a partir de 2014 foi iniciado o processo de revisão dos RTQs do PBE Edifica. Agora chamados de Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e Residenciais (INI-R), os textos apresentam diversas melhorias em relação ao método anterior. Duas delas são a inclusão dos anexos D e E, que tratam, respectivamente, da geração local de energia renovável e das emissões de dióxido de carbono (BRASIL, 2021). Estas avaliações colocam a INI em sintonia com a tendência internacional de avaliar o balanço energético entre geração e consumo na edificação e avaliar as emissões de gases causadores do efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas.

Apesar dos primeiros usos do termo *Zero Energy Building* (ZEB), ou edificações de energia zero, datarem dos anos 1970 (ESBENSEN, KORSGAARD 1977; BESANT, et al 1979), o termo passou a ter grande destaque após importantes crises energéticas ocorridas nos anos 2000. Torcelini et al. (2006) apresentaram as variadas definições conhecidas de ZEB à época e ainda hoje não há consenso na definição e na nomenclatura utilizada para as edificações que apresentam balanço energético próximo de zero, zero ou positivo (WILLIAMS et al, 2016; CELLURA et al., 2017; WELLS; RISMANCHI; AYE, 2018; D´AGOSTINO; MAZZARELLA, 2019). Em linhas gerais, as ZEBs minimizam o consumo de energia por meio da implementação de estratégias de eficiência energética e geram, a partir de fontes renováveis locais, pelo menos a quantidade de energia que consomem em um ano.

A maneira que os conceitos são apresentados em cada país depende de decisões projetuais relacionadas às edificações, das legislações locais e políticas governamentais. No Brasil, adotou-se a nomenclatura Edificações de Energia Quase Zero (NZEB, do inglês *Nearly Zero Energy Building*) e Edificações de Energia Positiva (EEP), que caracterizam as edificações que comprovam elevada eficiência (classe A) e, dependendo do seu potencial de geração local de energia renovável, podem ser classificadas como NZEB (geração de 50% ou mais de sua demanda anual de energia) e EEP (geração superior à demanda anual de energia).

A implementação e a difusão desses conceitos são apontadas por diversos autores como as melhores soluções para suprir a demanda de energia das edificações e para a mitigação de suas emissões de gases de efeito estufa (MARSZAL et al., 2011; DENG; WANG; DAI, 2014; CAO; DAI; LIU, 2016). Também a Agência Internacional de Energia (IEA), elaborou um conjunto de 25 recomendações para auxiliar governantes na promoção de medidas de eficiência energética em seus países. Quanto às edificações, a IEA recomendou, dentre outras medidas, a exigência de que novos edifícios cumpram padrões mínimos de desempenho, o estímulo à construção de edificações de balanço de energia zero, e a exigência da certificação energética (IEA,

2011). A IEA dispõe ainda que, dentre os principais objetivos para o aperfeiçoamento do setor da construção civil na América Latina, deve haver o estabelecimento de metas para que as edificações atinjam o patamar de Edificações de Energia Zero até 2050 (IEA, 2020).

No projeto de edificações NZEB ou EEP, a associação de dois fatores é fundamental: a aplicação de medidas de eficiência, através de soluções arquitetônicas e inclusão de sistemas eficientes, e a geração de energia renovável (BELUSSI et al, 2019). Embora uma edificação possa atingir balanço de energia zero apenas com a introdução de sistemas de geração de energia renovável, as estratégias de eficiência energética são precedentes à instalação desses sistemas, visto que facilitam a implementação de edificações NZEB e EEP, além de serem soluções mais baratas visando a redução do consumo energético e de emissões de CO2 (MARSZAL et al., 2011; FERREIRA; ALMEIDA; RODRIGUES, 2016; CABEZA; CHÀFER, 2020).

Edificações de ensino possuem grande representatividade no consumo de um município, não por um alto consumo individual, mas sim pelo grande número de unidades. Em Florianópolis, as escolas representaram 36,64% do consumo de energia elétrica do município em 2018 (CBCS, 2018). Além disso, escolas infantis são edificações de baixa complexidade, pelos sistemas existentes, e com baixa demanda energética, fator que facilita a implantação NZEBs. Essas edificações, em geral, possuem também grande área de cobertura, por serem majoritariamente edificações térreas, o que facilita instalação de sistemas de geração de energia solar, como painéis fotovoltaicos, suficientes para suprir seu consumo.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a viabilidade de classificação de uma edificação educacional, localizada na cidade de Florianópolis, enquanto NZEB ou EEP, verificando seu potencial de redução de emissões de CO_2 a partir da aplicação do método simplificado apresentado na INI-C.

3. MÉTODO

Neste estudo foi aplicado o método simplificado da INI-C para a avaliação da eficiência energética de uma edificação educacional da cidade de Florianópolis. A fim de avaliar sua eficiência energética, essa edificação foi comparada com a edificação na condição de referência, que possui a mesma forma, área, volume e ambientes, mas difere quanto às propriedades térmicas da envoltória e iluminação. A comparação foi realizada quanto ao potencial de geração de energia por fontes renováveis e em termos de emissões de CO_2. Para a edificação na condição real, através da proposição de dois diferentes sistemas fotovoltaicos, analisou-se também o potencial de sua classificação como NZEB e EEP.

3.1 Edificação estudada

Para aplicação do método proposto, um projeto de uma edificação hipotética, baseada nas edificações de ensino infantil de Florianópolis, foi elaborado. Para tanto, tomou-se como base oito projetos de escolas públicas de ensino infantil, obtidos na Prefeitura Municipal de Florianópolis através do projeto "Cidades Eficientes" (CBCS, 2019). As características médias encontradas foram reproduzidas na edificação simulada. A edificação possui área total de 540 m² e espaços destinados às salas de aula e à administração da escola. Seu consumo energético devido à carga térmica, equipamentos e iluminação foram calculados conforme a disposto na INI-C, para posterior classificação. Para a carga térmica foi utilizado o metamodelo[1] disponibilizado para o método simplificado da INI-C (BRASIL, 2021), considerando as características construtivas, dimensões e orientações dos elementos da edificação. A Figura 1 apresenta a planta baixa da edificação analisada.

[1] http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html



Figura 1– Planta baixa da edificação analisada

A edificação tem cobertura de telhas de fibrocimento do tipo colonial na cor branca e forro de PVC, paredes internas e externas em bloco cerâmico de nove cm com 25 mm de argamassa em cada lado e pintadas de branco, piso cerâmico bege, janelas dos tipos correr e pivotante com fator solar 0,52 e transmitância térmica de 5,4 W/(m².K), e portas em madeira. Assumiu-se que os equipamentos de condicionamento de ar instalados nessa edificação possuem Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) A e Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) igual a 5,5. A densidade de potência de iluminação (DPI) considerada foi de 8,7 W/m², valor relativo à classe A de eficiência para escolas e universidades, conforme descrito na INI-C. A carga de equipamentos (DPE) adotada foi de 15 W/m², conforme designado na Instrução Normativa para edificações escolares de ensino infantil; o sistema de aquecimento de água na edificação é inexistente e, por essa razão, não foi avaliado.

3.2 Avaliação pelo método simplificado da INI-C

Para a avaliação da edificação foi aplicado o método simplificado da INI-C, em sua versão aprovada pela Portaria Nº. 42 do Inmetro, de 24 de fevereiro de 2021 (BRASIL, 2021). O método de avaliação dessa Instrução Normativa baseia-se na comparação da edificação em sua condição real (nesse caso uma edificação hipotética) com a mesma edificação em uma condição de referência, que possui parâmetros definidos por tipologia equivalentes à classificação D. Para a determinação da classificação final de eficiência energética geral da edificação, avalia-se a redução da energia primária demandada anualmente quando a edificação real é comparada à referência (Figura 2).

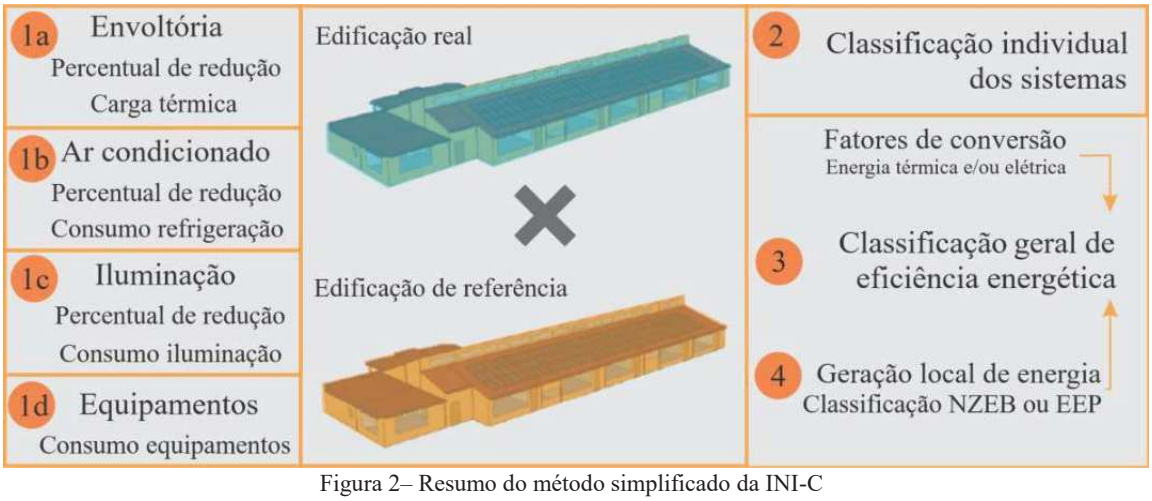

Figura 2– Resumo do método simplificado da INI-C

Para a aplicação do método simplificado, inicialmente foram avaliados os limites estabelecidos para o método, e, em seguida, foi realizada a divisão dos espaços condicionados em zonas, conforme critérios

estabelecidos na INI-C. Uma vez divididas as zonas e obtidos os dados sobre as características construtivas da edificação, foi utilizado o metamodelo da Instrução Normativa para a estimativa da carga térmica total anual (CgTT) dessa edificação em sua condição real e de referência. Assim, a partir das cargas térmicas, foi determinada a classe de eficiência energética da envoltória. Essa classificação depende da redução de carga, mas também do fator de forma da edificação e do grupo climático em que ela está inserida. Para o caso estudado, tem-se um fator de forma de 0,57, que para a cidade de Florianópolis (grupo climático 1-B), o que resulta em um coeficiente de redução de carga térmica anual da classificação D para a A (CRCgTTD-A) de 0,19.

A divisão dos espaços condicionados para a inserção no metamodelo é apresentada na Figura 3.

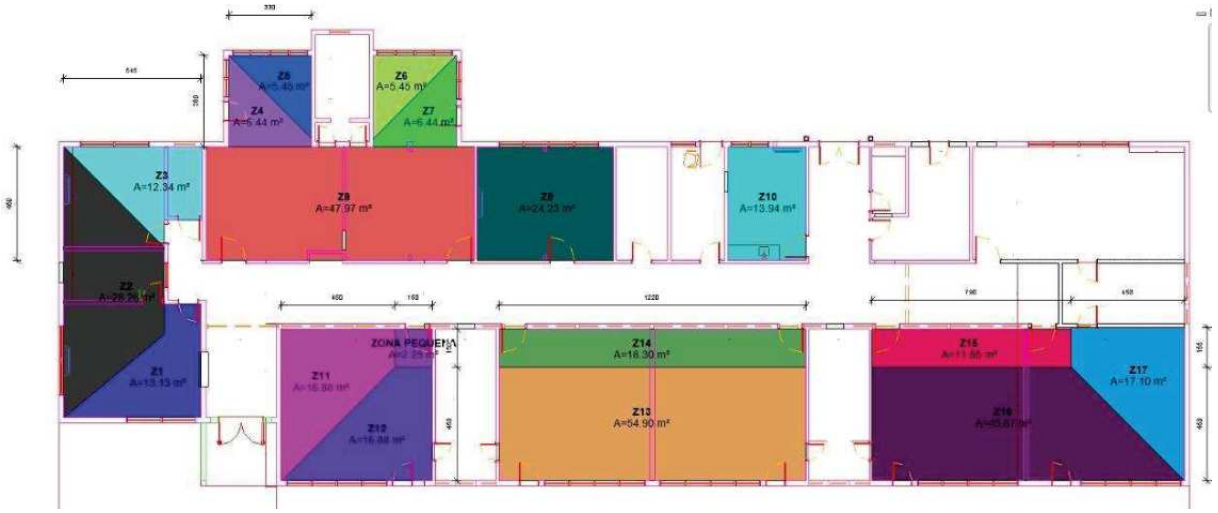

Figura 3– Divisão das zonas condicionadas conforme metodologia da INI-C

Após a classificação da envoltória, procedeu-se com a avaliação do sistema de iluminação. Nesse estudo, optou-se por utilizar a densidade de potência de iluminação (DPI) de 8,7 W/m². Para a determinação da eficiência da iluminação, a DPI foi comparada com aquela estabelecida para a edificação de referência (15,5 W/m²). Já para a estimativa do consumo da iluminação, esse valor foi então multiplicado pela área iluminada, pelos dias e horas ocupados (nesse caso, 200 dias por ano e 8 horas diárias, conforme verificado na tabelaA.2 do Anexo A da INI-C).

O consumo para condicionamento foi determinado a partir da divisão das cargas térmicas pelo IDRS, que nesse caso foi adotado 5,5, valor mínimo para a classificação de aparelhos com ENCE A. Em seguida foi calculado o consumo para os equipamentos, a partir da Densidade de Potência de Equipamentos (DPE), que é de 15 W/m² para as condições real e de referência. Essa DPE foi também multiplicada pelos espaços onde há equipamentos e pelas horas de uso diário e dias do ano com ocupação.

Assim, a partir dos consumos para condicionamento, iluminação e equipamentos, foi calculada a energia primária total para as condições real e de referência, utilizando o fator de conversão de energia elétrica em energia primária, que conforme indicado pela INI-C equivale a 1,6.

A comparação do consumo anual em energia primária para a classificação geral da edificação na condição real e de referência também depende do fator de forma da edificação e do grupo climático em que ela está inserida, resultando em um coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A ($CRCEP_{D-A}$) de 0,29.

3.3 Potencial de geração, NZEB e EEP

A fim de aplicar o método descrito na INI-C para sistemas de geração de energia local e renovável, foi calculado um sistema fotovoltaico para a edificação na condição real visando suprir 50% (NZEB), e outro para suprir mais de 100% (EEP) da sua demanda. Essa análise está condicionada à obtenção da classificação de eficiência A. A escolha pelo sistema fotovoltaico se deu pela grande área de cobertura da edificação e disponibilidade e difusão da tecnologia mundialmente (FRAUNHOFER, 2019). O potencial de geração de energia elétrica (PG_E), valor que representa o percentual da energia consumida pela edificação atendido pela energia gerada por meio de fontes locais renováveis foi calculado conforme a Equação 1.

$$PG_E = \frac{G_{EE}}{C_{EE\ real}} x\ 100$$ Equação 1

Onde:
P_{GE} é o potencial de geração de energia (%);
G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);
$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano).

Na edificação estudada, a cobertura direcionada a norte é a mais favorável para produção de energia solar, e possui aproximadamente 236 m² disponíveis para a implantação de módulos fotovoltaicos. Assim, foram estimados sistemas fotovoltaicos para duas situações: uma em que a edificação real poderá ser classificada como NZEB e outra em que ela será EEP. A Figura 4 representa uma ilustração da disposição de módulos fotovoltaicos na cobertura da edificação.



Figura 4 – Ilustração da edificação estudada com módulos fotovoltaicos dispostos na cobertura

A geração de energia pelos sistemas fotovoltaicos descritos foi calculada conforme a Equação 2.

$$P_{Fv} = \frac{E.G_{STC}}{H_{TOT}.P_r}$$ Equação 2

Onde:
P_{Fv} é a potência de pico desejada do sistema (kWp);
E é a energia elétrica consumida mensalmente (kWh/mês);
G_{STC} é a irradiância de referência (1000 kWh/m²);
H_{TOT}: irradiância mensal no plano dos módulos (kWh/m²/mês);
Pr é a eficiência média do sistema (75%).

A estimativa da irradiância mensal no plano inclinado da cobertura proposta (17º de inclinação com desvio azimutal de 0°) foi calculada a partir de dados do Atlas solarimétrico brasileiro (PEREIRA et al., 2017) e corrigida com o uso do *software* Radiasol (BUGS, 2010).

3.4 Emissões de CO_2

Para o cálculo das emissões, os consumos energéticos foram multiplicados por seus respectivos fatores de emissão de CO_2[2]. Para esse estudo, como há apenas fontes elétricas, o fator de emissão de CO_2 considerado foi de 0,09 kg.CO_2/kWh. Os sistemas de geração de energia renovável, que produzem energia elétrica, tiveram sua geração descontada desse montante com o uso do mesmo fator de emissão de CO_2 utilizado para as fontes elétricas, e, conforme método da INI-C. Esse desconto ocorreu apenas para a edificação real, já que na edificação de referência a geração de energia renovável não é considerada.

[2] http://www.pbeedifica.com.br/node/134

4. RESULTADOS

4.1 Consumos e classificação

O consumo estimado para o condicionamento das edificações na condição real e de referência foi, respectivamente, de 6.149 kWh/ano e 10.631,45 kWh/ano, e a envoltória da edificação real foi classificada como A. Para o sistema de iluminação em suas condições real e de referência, as respectivas potências instaladas foram de 3,3 kW e de 5,89 kW e o consumo total de iluminação foi de 7.516,8 kWh/ano e de 13.392 kWh/ano. Desta forma, o sistema de iluminação da edificação real, com 43% de redução de consumo em relação à edificação de referência, obteve a classificação A de eficiência. A potência instalada e o consumo total relativos aos equipamentos foram de 6,65 kW e de 10.632 kWh/ano, tanto para a edificação na condição real, quanto para a condição de referência, tendo em vista que, segundo o método da INI-C, a DPE é padrão para ambas edificações. Finalmente, somados todos os consumos, a edificação na condição real obteve como consumo de energia anual de 24.297,81 kWh e a edificação na condição de referência, 34.655,45 kWh. Convertido esse consumo para energia primária, obteve-se, 38.876,49 kWh/ano e 55.448,71 kWh/ano, respectivamente.

Assim, diante dos resultados apresentados, a edificação analisada obteve classificação A de eficiência energética, uma vez que seu consumo foi abaixo do limite inferior para a classe A, conforme intervalo estabelecido na Tabela 8.1 da INI-C, e ilustrado na Figura 5. A edificação na condição real apresentou redução de 30% do consumo de energia primária em relação à edificação na condição de referência, superior aos 29% exigidos para atingir a classe de eficiência A.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 39.368,59	> 44.728,63	> 50.088,67	> 55.448,71
Limite inferior	≤ 39.368,59	≤ 44.728,63	≤ 50.088,67	≤ 55.448,71	-

Figura 5 – Classificação da edificação analisada; os valores do consumo de energia primária são expressos em kWh/ano

4.2 Estimativa de geração, NZEB e EEP

Uma vez que a análise realizada apontou que a edificação possui classificação geral A, realizou-se a estimativa de um sistema de geração de energia renovável visando a aplicação dos conceitos de NZEB e EEP.

Para a estimativa do sistema foi escolhido um módulo fotovoltaico de 1,675 x 0,992 m, com potência nominal de 285 W, e eficiência média do sistema estipulada em 75%. O número mínimo de módulos necessários para cada caso, a geração energética e o potencial de geração de energia elétrica pelo uso de fontes locais de energia renovável (PG_E), calculado segundo a Equação 1, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Potencial de Geração de Energia para a edificação real

Caso	Número de módulos	Área ocupada (m²)	Geração anual de energia, em energia final (kWh/ano)	Geração anual de energia, em energia primária (kWh/ano de EP)	Potencial de Geração (PG_E)
(1) EEP	67	111,33	24.297,81	39.074,79	100,50%
(2) NZEB	37	56,49	12.395,78	19.833,24	51%

Sendo a edificação avaliada com classe A e com produção maior que 100% do consumo de energia primária anual, o sistema estimado permite que a edificação seja classificada como EEP no caso do sistema 1, e segundo os critérios estabelecidos na INI-C. Quando a geração supera o consumo em 50%, como no caso 2, a edificação é classificada como NZEB.

4.2 Emissões de CO_2

Para fins de comparação, primeiramente foram estimadas as emissões de CO_2 desconsiderando os sistemas fotovoltaicos. Os resultados para a edificação real e condição de referência são apresentados na Tabela 2. Uma vez que a edificação real tem 30% de redução de consumo energético, essa redução ocorre com igual percentual para as emissões de CO_2, visto que ambas utilizam apenas fontes elétricas.

Tabela 2– Emissões de CO_2 sem a consideração do sistema fotovoltaico

Caso	Consumo anual de energia elétrica (kWh/ano)	Emissões de CO_2 (tCO2 /ano)	Diferença %
Edificação real	24.421,74	2,19	30%
Edificação referência	31.111,40	3,11	

Quando se consideram os sistemas fotovoltaicos que geram 51% e 100,5% da demanda anual, os resultados para as emissões de CO_2 são apresentados na Tabela 3. Como a energia renovável gerada localmente representa um consumo que deixará de ser proveniente da rede, este deixará, portanto, de resultar em emissões de CO_2. Assim, ao comparar a edificação com e sem sistemas de geração fotovoltaica, verifica-se que no caso da edificação com sistema fotovoltaico, os resultados de emissões são inferiores. Nesse estudo houve 100,50% de redução de emissões quando instalado um sistema fotovoltaico suficiente para EEP e 51% de redução quando instalado um sistema suficiente para NZEB.

Tabela 3 – Emissões de CO_2 considerando os sistemas fotovoltaicos para a edificação real

Caso	Emissões de CO_2 (tCO_2 /ano)	Redução em relação à edificação analisada sem sistema fotovoltaico (tCO_2/ano)
EEP real	0,00	2,19
NZEB real	1,07	1,12

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho avaliou a viabilidade da aplicação do método da INI-C em uma edificação educacional para a cidade de Florianópolis, assim como a classificação da edificação em NZEB ou EEP, dependendo do seu potencial de geração energética. Os resultados obtidos demonstraram a possibilidade da aplicação do método e também a viabilidade da classificação da edificação estudada como NZEB e EEP. Para ser classificada como NZEB ou EEP, foram necessários sistemas fotovoltaicos com 34 e 67 módulos, respectivamente, segundo as características especificadas. Caso a edificação analisada possuísse maior consumo energético, seria necessário empregar maior quantidade de módulos fotovoltaicos, para que se alcançasse as exigências NZEB e EEP.

Quando comparadas as emissões de CO_2 da edificação real com a de referência, existe uma diferença percentual de 30% de redução, sem a consideração do sistema fotovoltaico. Quando são inseridos módulos fotovoltaicos na edificação real, há, em relação à mesma edificação de referência sem a geração de energia renovável, a redução das emissões em 100,50% e 51% quando considerados, a EEP e a NZEB, respectivamente, indicando que o sistema fotovoltaico pode reduzir consideravelmente ou até compensar totalmente as emissões advindas do consumo energético da edificação. Quanto às emissões, é importante salientar que sua redução depende não só da redução do consumo final em energia primária, mas também das fontes energéticas empregadas, já que fontes abastecidas com gases derivados do petróleo tem menores fatores de conversão em energia primária, mas maiores fatores de emissão de CO_2, quando comparados às fontes elétricas brasileiras.

Na edificação analisada nesse trabalho foi possível atingir o conceito de EEP, e ainda houve área livre na cobertura para a instalação de mais módulos, o que poderia aumentar o excedente gerado. Assim, essas tipologias podem ser importante instrumento para políticas públicas que visem a instalação de sistemas de geração de energia, já que essa energia, em situação de geração excedente, pode ser contabilizada em diferentes edificações do mesmo ente público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELUSSI, L. et al. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. **Journal of Building Engineering**, v. 25, n. December 2018, p. 100772, 2019.

BESANT, R. W.; DUMONT, R. S.; SCHOENAU, G. The Saskatchewan conservation house: Some preliminary performance results. **Energy and Buildings**, v. 2, n. 2, p. 163–174, 1979.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Brasília, 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Brasília, 2012.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro. Portaria n° 42, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2021.

BUGS, Rodrigo Carvalho. Radiasol 2-Software para geração de dados horários de radiação solar. **Salão de Iniciação Científica** (22.: 2010 out. 18-22: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2010., 2010.

CABEZA, L. F.; CHÀFER, M. Technological options and strategies towards zero energy buildings contributing to climate change mitigation: A systematic review. **Energy and Buildings**, v. 219, p. 110009, 2020.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089

CBCS [Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis]. Projeto Cidades Eficientes: Capacitação de Gestores Públicos - Florianópolis/SC. Florianópolis. 2018. Disponível em: <http://cidadeseficientes.cbcs.org.br/wp-content/uploads/pdf/Analise-dados-edificios_FLP.pdf>.

CBCS Projeto Cidades Eficientes 2019 – Florianópolis. 2019. Disponível em: http://cidadeseficientes.cbcs.org.br/ Acesso em: 04/03/2021.

CUNHA, Eduardo Grala da; VAUPEL, Karin; LÜCKING, Rolf-Michael. 48-Análise da Norma de Eficiência Energética Alemã EnEV 2007 e Apresentação de Possíveis Contribuições para o Caso Brasileiro Analysis of the German Efficient Energy Standard EnEV 2007 and Presentation of Possible Contributions to the Brazilian Case.

DENG, S.; WANG, R. Z.; DAI, Y. J. How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research. **Energy**, v. 71, n. 2014, p. 1–16, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.007

ESBENSEN, T. V.; KORSGAARD, V. Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark. **Solar Energy**, v. 19, n. 2, p. 195–199, 1977.

EUROPEAN UNION. **DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010.Official Journal of the European Union**. 2010.

FERREIRA, M.; ALMEIDA, M.; RODRIGUES, A. Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. **Energy and Buildings**, v. 133, n. November 2014, p. 724–737, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.017>

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

FRAUNHOFER**. Photovoltaics Report 2019 from FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS**. Disponível em: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf.

IEA Agência Internacional de Energia. **25 Energy Efficiency Policy Recommendations; 2011**. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/25recom_2011.pdf. Acesso em: 28 jan. 2021

IEA Agência Internacional de Energia. **Global status report for buildings and construction**, 2019a. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019. Acesso em: 5 jan. 2021

IEA Agência Internacional de Energia**. CO2 and methane reductions in the Bridge Scenario and Sustainable Development Scenario**, 2019b. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-and-methane-reductions-in-the-bridge-scenario-and-sustainable-development-scenario-relative-to-the-new-policies-scenario-2010-2040. Acesso em: 6 jan. 2021

IEA, Agência Internacional de Energia. Roadmap for Buildings and Construction in Latin America, 2020. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2.%20GlobalABC_Regional_Roadmap_for_Buildings_and_Construction_in_Latin_America_2020-2050.pdf. Acesso em: 1 fev. 2021

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE**, 2021a. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/imprensa/releases/pbe.asp

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, de Serviços e Públicas**, p. 9 e 10, 2021b. Disponível em: < https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/INIC_Dez_2020.pdf>

KOLOKOTSA, D. et al. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3067–3084, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.09.001>

LAUSTSEN, J. Energy Efficiency Requirements in Building Codes , Energy Efficiency Policies for New Buildings. **Buildings**, n. March, p. 1–85, 2008. Disponível em: http://www.iea.org/g8/2008/Building_Codes.pdf

MAGRINI, A.; LENTINI, G.; CUMAN, S.; BODRATO, A.; MARENCO; L. Developments in the Built Environment From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. **Developments in the Built Environment**, v. 3, n. March, p. 2–12, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100019

MARSZAL, A. J. et al. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 971–979, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>

MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURELLE, J. S.; MUSALL, E.; VOSSA, K.; SARTORI, I.; NAPOLITANO,A.

Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 971–979, 2011. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022

OLOFSSON, Thomas; MEIER, Alan; LAMBERTS, Roberto. Rating the energy performance of buildings. **The International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings**, v. 3, 2004.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar** – 2a Edição. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. E-book.

SISSINE, Fred. Energy Independence and Security Act of 2007: a summary of major provisions. **Library of Congress Washington DC Congressional Research Service**, 2007.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M.; CRAWLEY, D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. **ACEEE Summer Study Pacific Grove**, n. November 2014, p. 15, 2006.

WELLS, L.; RISMANCHI, B.; AYE, L. A review of Net Zero Energy Buildings with reflections on the Australian context. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 616-628, 2018.

WILLIAMS, J.; MITCHELL, R.; RAICIC, V.; VELLEI, M.; MUSTARD, G.; WISMAYER, A.; YIN, X.; DAVEY, S.; SHAKIL, M.; YANG, Y.; PARKIN, A.; COLEY, D. Less is more: A review of low energy standards and the urgent need for an international universal zero energy standard. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 65-74, 2016.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento desta pesquisa.