ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação da eficiência energética de um edifício escolar por meio de simulação no método Procel INI-C

Assessment of the energy efficiency of a school building through simulation using the Procel INI-C method

Marcela Mazzine Bonisem
Instituição Federal do Espírito Santo, IFES| Vitória-ES | Brasil | mmazziny@gmail.com
Saulo Vieira de Oliveira Silva
Instituição Federal do Espírito Santo, IFES| Vitória-ES | Brasil | saulovieira@ifes.edu.br
Marcio Almeida Có
Instituição Federal do Espírito Santo| Vitória - ES | Brasil | marcio@ifes.edu.br
Pablo Rodrigues Muniz
Instituição Federal do Espírito Santo| Vitória - ES | Brasil | pablorm@ifes.edu.br

Resumo

A Instrução Normativa Inmetro para edificações comerciais, de serviço e públicas (INI-C) estabelece critérios para a avaliação da eficiência energética e é relevante para promover a sustentabilidade. Em escolas, um espaço sustentável deve propiciar aspectos que contribuem com o aprendizado, como confortos lumínico e térmico. Os objetivos deste estudo foram avaliar a eficiência energética da Escola de Ciência-Física, localizada em Vitória – ES, por meio da metodologia de certificação do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE-Edifica). A metodologia envolveu pesquisa bibliográfica, documental e visita técnica, além de estudo de caso com uso da ferramenta *Natural Comfort* e do método simplificado para avaliar a envoltória. Os resultados revelaram redução significativa na carga térmica total anual do edifício quando comparado a uma edificação de referência, com parâmetros mínimos da norma ABNT NBR 15575, o que garantiria a classificação A da envoltória. Os resultados evidenciaram a eficácia de estratégias passivas para a eficiência energética do edifício avaliado. A aplicação de sistemas de certificação é relevante para a conscientização ambiental e o conforto dos usuários.

Palavras-chave: PBE-Edifica. INI-C. Envoltória. Escolas. Eficiência energética.

Abstract

The Inmetro Normative Instruction for commercial, service, and public buildings (INI-C) establishes criteria for assessing energy efficiency and is relevant for promoting sustainability. In schools, a sustainable space should provide aspects that contribute to learning, such as luminous and thermal comfort. The objectives of this study were to evaluate the energy efficiency of the School of Physics Sciences, located in Vitória – ES, through the certification methodology of the Brazilian Building Labeling Program (PBE-Edifica). The methodology involved bibliographic and documentary research, technical visits, as well as a case study using the Natural Comfort tool and a simplified method to assess the building envelope. The results

Como citar:
BONISEM, M. M. et. al. Avaliação da eficiência energética de um edifício escolar por meio de simulação no método Procel INI-C. ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

revealed a significant reduction in the building's total annual thermal load compared to a reference building with minimum parameters from Standard ABNT NBR 15575, which would ensure an A classification for the envelope. The results highlighted the effectiveness of passive strategies for the energy efficiency of the evaluated building. The application of certification systems is relevant for environmental awareness and user comfort.

Keywords: PBE-Edifica. INI-C. Envelope. Schools. Energy efficiency.

INTRODUÇÃO

A Sustentabilidade tem ganhado relevância nos meios empresarial, acadêmico e científico [1]. O conceito evoluiu por décadas, passando por diversos marcos históricos como a publicação de *Silent Spring*, a fundação do Clube de Roma (1968), a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro (1992), dentre outros [2]. Um marco notável foi a publicação do Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (o Relatório de Brundtland, em 1987), que enfatiza o caráter amplo e multidisciplinar para o desenvolvimento sustentável ao incluir aspectos como a orientação para exploração de recursos, investimentos governamentais, desenvolvimento tecnológico e atendimento às necessidades humanas [3].

Atualmente, entende-se que o conceito de Desenvolvimento Sustentável está atrelado às questões ambiental, econômica e social ao reconhecer os benefícios do progresso, porém salientando o planejamento do crescimento econômico e o controle dos impactos ambientais. Em 2015, mais de 190 países se comprometeram com os 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), também conhecidos como Objetivos Globais, até 2030 [4].

Uma arquitetura adequada a esses conceitos deve promover o equilíbrio entre os objetivos econômicos, a preservação ambiental, as necessidades humanas e sociais, ao reduzir o impacto negativo ao meio ambiente, minimizar o consumo de recursos naturais e de energia, bem como criar ambientes saudáveis e inclusivos. Para que a arquitetura seja sustentável, é preciso que seja capaz de solucionar problemas de naturezas distintas [5].

Por isso, na arquitetura sustentável, elaboram-se projetos que visam otimizar o uso de recursos naturais e suavizar os impactos ambientais causados pelas construções. Trata-se de uma busca pela conformidade com princípios como uso de energias renováveis, materiais recicláveis, entre outros aspectos. Pelo fato de que toda edificação tem um impacto ambiental, desde a obra até sua utilização, são fundamentais as estratégias que resguardem a eficiência desse processo a fim de colaborar na preservação ambiental [6]. Ademais, atrelado à redução dos impactos, está a melhoria da qualidade dos ambientes internos [5].

Neste contexto, uma arquitetura inadequada, do ponto de vista do projeto e construtivo, é aquela que possui grande demanda de equipamentos para condicionamento térmico na busca pelo conforto em seus ambientes internos [7]. Sendo assim, edifícios devem proporcionar ambientes que tenham qualidade e que, além disso, sejam eficientes energeticamente e sustentáveis [8].

Ambientes de qualidade são aqueles que se atentam para os diversos fatores, de ordem biológica, química ou física, que podem afetar os ocupantes nos quesitos conforto, bem-estar, desempenho e saúde. Tais aspectos são estudados por disciplinas como Conforto Visual, Conforto Lumínico, Conforto Térmico, Conforto Ergonômico e a Qualidade do Ar Interior, e compõem um relevante campo de estudo da Arquitetura, denominado Qualidade Ambiental Interna (*Indoor Environmental Quality – IEQ*) [9] [10].

Em edificações educacionais, a busca pela adequada Qualidade Ambiental Interna é imprescindível, pois, do contrário, as condições ambientais podem causar prejuízos ao conforto, atenção, destreza e demais atributos essenciais ao desempenho no processo de aprendizagem [7] [10].

O trabalho de Karapetsis e Alexandri avaliou escolas da Grécia por meio de monitoramento de parâmetros ambientais, como temperatura, umidade, intensidade luminosa e ventilação, além da aplicação de questionários aos usuários. Seu estudo aponta que os desconfortos térmico e lumínico foram as duas maiores causas de insatisfação dos respondentes, com 64% e 54% das opiniões, respectivamente [10].

Resultados semelhantes foram obtidos na pesquisa de Coelho *et al.* [11], em escolas de Belo Horizonte, que apresentou dados sobre a relevância da percepção do desconforto térmico em sala de aula, ratificando a importância do ambiente para o desempenho escolar. Entre os estudantes, 70% opinaram que suas atividades são prejudicadas em sala de aula, e 80% sinalizaram o uso de equipamentos artificiais como necessidade para melhoria do conforto térmico.

Tendo em vista o atendimento simultâneo de requisitos de redução no consumo de energia e a construção de edificações com ambientes confortáveis, a utilização de sistemas passivos, ou seja, aqueles que tiram proveito dos recursos naturais de energia e iluminação provenientes da luz solar, como também da ventilação natural, são vantajosos do ponto de vista da eficiência energética e da sustentabilidade. Isso é adequado, mesmo que necessitem de complementação por sistemas ativos com uso de equipamentos eletromecânicos para obtenção do conforto e da adequabilidade dos ambientes para o uso humano [12].

CERTIFICAÇÕES

Para alcançar essas finalidades, as certificações podem ser ferramentas importantes para impulsionarem o emprego de soluções sustentáveis, levando arquitetos e engenheiros a adotarem estratégias mais eficientes. O possível resultado são edifícios que otimizam a demanda por recursos naturais, suavizam os impactos ambientais e incorporam tecnologias energéticas avançadas. No mundo todo, os sistemas de certificação e as diretrizes de sustentabilidade abordam questões similares: a excelência na qualidade ambiental interna e a redução dos impactos ambientais [5].

Nesse sentido, edifícios elegíveis para certificação são aqueles que incluem a análise do clima local, da orientação do edifício, com objetivo de embasar estratégias bioclimáticas adequadas ao sítio, desde a fase de projetos até a de uso e operação [12]. Estratégias passivas na arquitetura, como a utilização de iluminação e ventilação

naturais, representam um papel fundamental na redução do consumo de energia em edificações, além de se destacarem como medidas eficazes para promover o bem-estar no ambiente construído, fundamental para o bom desempenho de estudantes e professores no processo de ensino e aprendizagem.

Nas últimas décadas do século XX, desenvolveram-se as primeiras ferramentas de classificação de certificação de sustentabilidade, por exemplo, a Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED) e a Metodologia de Avaliação Ambiental de Estabelecimento de Pesquisa de Edifícios (BREEAM), que possibilitam a avaliação quantitativa da sustentabilidade de diferentes tipos de edifícios [5].

No Brasil, após a crise energética de 2001, conhecida como a “crise do apagão”, foi implementada a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, pelo Governo Federal. Nesse contexto, foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, um Grupo Técnico para tratar da eficientização em edificações, e definida a responsabilidade pela implementação e fiscalização dos programas de avaliação de conformidade ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) [13].

Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e gerido pela Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) promove, atualmente, programas de uso racional de energia elétrica. O que se aplica a edificações é o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, o PBE Edifica [13].

Existem duas instruções normativas do Inmetro com critérios e métodos para classificação de edificações: a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Em ambas, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) apresenta níveis que vão de A (mais eficiente) até E (menos eficiente), podendo ser fornecida para o projeto ou para a edificação construída [13] [14].

Sendo assim, a INI-C estabelece critérios para avaliação da eficiência energética para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, como também para obtenção da ENCE, de grande relevância para a promoção da sustentabilidade no setor da construção civil [14]. Este é um tipo de avaliação aplicável ao caso de escolas.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência energética e o desempenho térmico da Escola de Ciência-Física, espaço de referência para popularização do conhecimento científico de estudantes e comunidade geral, localizada na zona urbana do Município de Vitória – ES, na Zona Bioclimática 8 (ZB8), a partir da metodologia de certificação do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE-Edifica), a INI-C.

MÉTODO

A metodologia adotada envolveu uma abordagem mista, qualitativa e quantitativa, que combinou pesquisa bibliográfica, visita técnica e pesquisa documental, além de estudo de caso. Nas três primeiras ações, levantaram-se dados da edificação, como as características da envoltória do edifício, orientação solar, geometria, tipos e espessuras de elementos construtivos e acabamentos, além das estratégias de iluminação e ventilação natural. Para o estudo de caso, utilizou-se a INI-C para avaliação com foco no sistema de envoltória de uma escola pública, conforme a metodologia de certificação do PBE Edifica.

OBJETO DE ESTUDO

A escola avaliada é a Escola de Ciências-Física, localizada à Rua Vinte e Três de Maio, Parque Moscoso, Centro, Vitória – ES. Este Município se situa na Latitude -20.32° e Longitude -40.34°, no fuso horário UTC -3 [15], e na Zona Bioclimática 8 (ZB8) [16]. A Figura 1 mostra o posicionamento do edifício no Parque e a visão imediata de suas fachadas.

Figura 1: Posicionamento da Escola de Ciências no Parque Moscoso. Vistas externas do edifício.



Fonte: os autores (2024), adaptado de Google *Earth*.

Trata-se do antigo Jardim de Infância Ernestina Pessoa, hoje Escola de Ciência-Física, cujo projeto, de 1952, é de autoria do arquiteto Francisco Bolonha, com linguagem característica da Escola Carioca de Arquitetura, vinculada à Arquitetura Moderna [17]. É um projeto que busca a funcionalidade e racionalidade, que apresenta estrutura independente, planta livre e plasticidade nos volumes.

No que concerne à avaliação da edificação, percebe-se a adoção da ventilação natural, por meio de elementos vazados e aberturas protegidas por elementos sombreadores, como brises e cobogós, estrategicamente posicionados para prevenir problemas relativos à insolação, numa combinação eficiente entre edificação e meio ambiente. Reforça-se, portanto, que o partido arquitetônico evidencia o uso de estratégias passivas: elementos de proteção solar; soluções de iluminação natural, distribuição e posicionamento das janelas; ventilação natural; influência da implantação e orientação; barreiras de vento; ventilação cruzada e ventilação noturna. Observa-se que no edifício escolar Escola de Ciência-Física, cada fachada foi individualmente

trabalhada, provocando um contexto de aplicabilidade dos princípios da arquitetura bioclimática.

VISITA TÉCNICA

Para a realização das visitas, fez-se autorização específica junto à Prefeitura Municipal de Vitória, para acesso aos ambientes e projetos. No local, o objetivo foi o levantamento de medidas e registros fotográficos, pelo qual obtiveram-se diversos dados referentes ao edifício, como: características da cobertura, tipos de forro, tipos e espessuras de paredes internas (paredes para divisão de ambientes) e externas (paredes da envoltória), bem como seus acabamentos, aberturas para ventilação, entre outros.

INSTRUÇÃO NORMATIVA DO INMETRO INI-C

A Eletrobras/Procel fez parceria com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – CB3E e, de acordo com Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC), publicados na Portaria n° 309 de 06 de setembro de 2022, elaborou-se um conjunto de manuais aplicáveis ao método de avaliação de edificações comerciais, de serviços e públicas.

De acordo com o Manual INI-C, do Inmetro para o método simplificado,

> *[...] caso a edificação seja ventilada naturalmente ou híbrida (item B.I.2.3), e especificamente de tipologia de escritório ou educacional, ela pode ser avaliada pelo método simplificado, respeitando os limites apresentados no item 6.2 da INI-C. O Manual da INI-C da ferramenta Natural Comfort apresenta a aplicação deste método.* [18, p.24]

Por isso, optou-se pela utilização desse método para o presente artigo.

FERRAMENTA *NATURAL COMFORT* – PARTE 1

A ferramenta *Natural Comfort* foi desenvolvida como um caminho de conformidade simplificado para edifícios com ventilação natural, objetivando aprimorar o programa de rotulagem de desempenho de edifícios comerciais do Brasil. Em vez de se fornecer uma solução apenas para edifícios com ar-condicionado, considera-se que as soluções passivas podem ser ainda mais eficientes.

Para o estudo de caso, considerando que a edificação funciona a partir da combinação de ventilação natural e condicionamento artificial, foi estimado o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOCT) utilizando-se a ferramenta *Natural Comfort*, que levou à necessidade de cálculo da carga térmica total (CgTT) pelo método simplificado.

No conjunto de manuais que dão suporte à aplicação das Instruções Normativas Inmetro – (INIs) para avaliar a eficiência energética de edificações, estão incluídos o Método Simplificado e o Método Simplificado Edificações Ventiladas Naturalmente ou Híbridas – Ferramenta *Natural Comfort*.

Essa ferramenta foi desenvolvida por Rackes, Melo e Lamberts, através da análise dos resultados de simulações energéticas. Com ela, calcula-se o percentual de horas

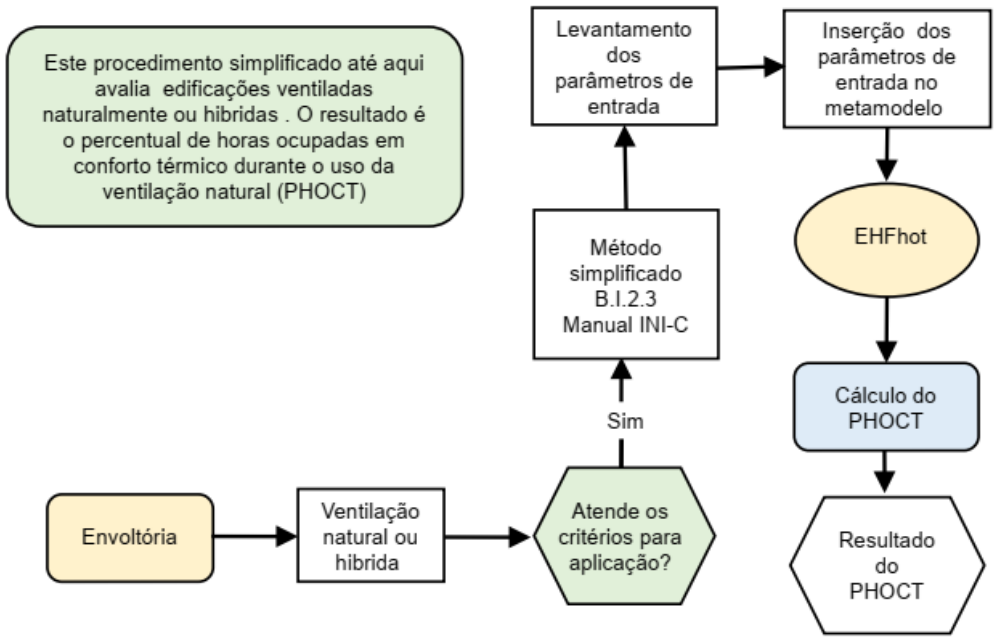
excedentes em calor (*Excedance Hour Fraction: hot – EHFhot*), conforme o método de conforto adaptativo, considerando 80% de satisfação dos ocupantes [19] [20].

Para a aplicação da ferramenta alguns critérios devem ser respeitados:

- Tipologia de escritório ou escolar;
- Geometria quadrada ou retangular;
- A edificação não deve exceder a 16,00 m de altura;
- Horários de ocupação conforme tabela do Anexo A, da Portaria Inmetro Nº 309 [21];
- Espaços internos com divisão e área (m²) semelhantes (tolerância de 10%);
- Aberturas para ventilação em todas as áreas de permanência prolongada;
- Estar dentro dos limites da Tabela 1, extraída do item 6.2 da INI-C [14] [20], que trata dos limites dos parâmetros de avaliação da envoltória a serem atendidos pelo método simplificado para aproveitamento de ventilação natural.

Após verificação dos critérios e limites para a aplicação da ferramenta *Natural Comfort*, realizou-se o levantamento dos parâmetros de entrada, que foram inseridos no metamodelo. Em seguida, obteve-se o percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor, o *EHFhot* e, com ele, calculou-se o PHOCT, que é o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico durante o uso da ventilação natural. A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas descritas neste subitem.

Figura 2: Fluxograma inicial para aplicação da ferramenta Natural *Comfort*



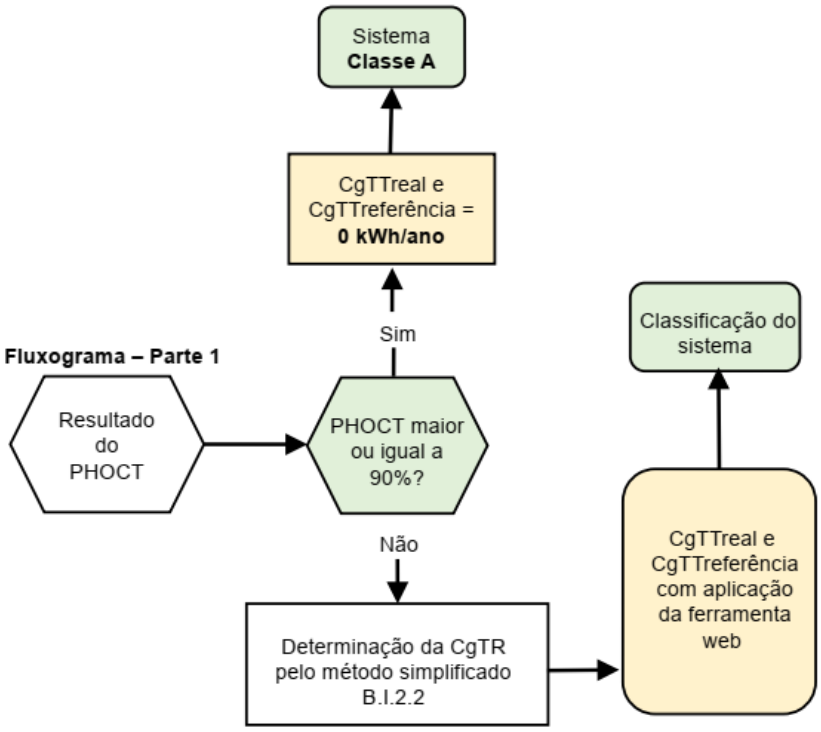
Fonte: os autores (2024).

Se o PHOCT for maior ou igual a 90%, ou seja, se no mínimo em 90% das horas ocupadas a edificação estiver com as temperaturas satisfatórias utilizando apenas a

ventilação natural, a Carga Térmica Total Anual (CgTT da edificação, CgTTreal e CgTTreferência) será igual a zero e a edificação recebe a classificação A para a envoltória.

Caso o PHOCT seja menor que 90%, deve ser calculada a Carga Térmica Total de refrigeração (CgTR) da edificação real e da edificação de referência, pelo método simplificado. Conforme mostra o fluxograma da Figura 3, este procedimento requer preenchimento de parâmetros em ferramenta disponível em interface web.

Figura 3: Fluxograma para estimativa de Carga Térmica Total

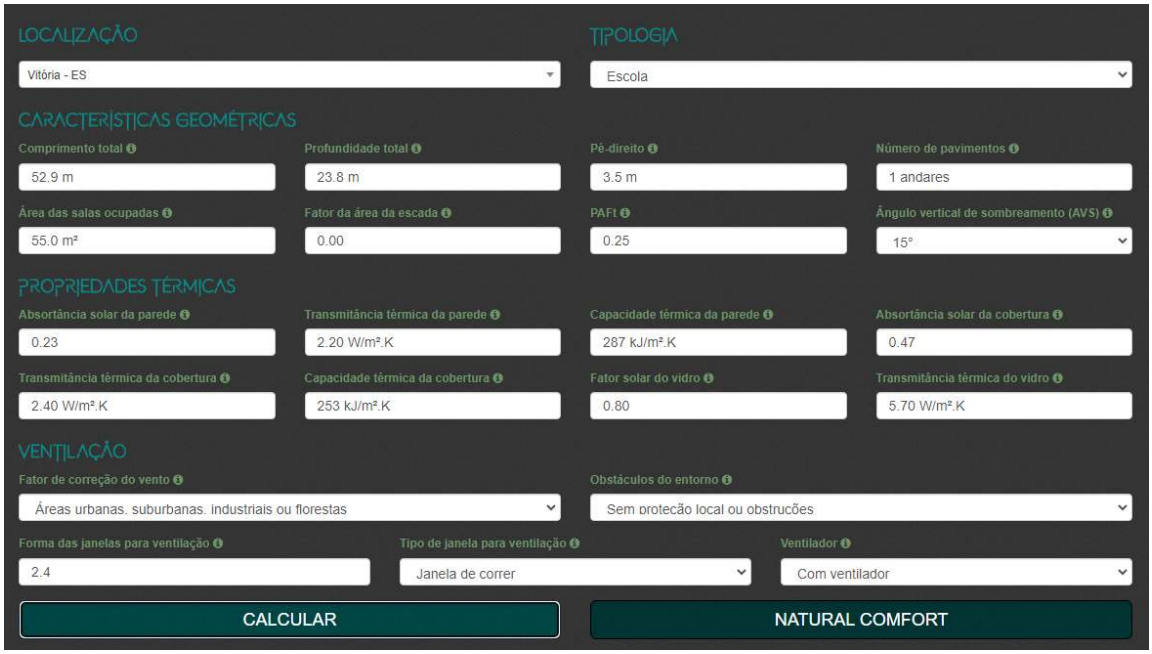


Fonte: os autores (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicou-se a ferramenta *Natural Comfort* com parâmetros relacionados ao clima, à geometria, às paredes externas, cobertura, vidros e sombras e ao entorno. A Figura 4 mostra os valores utilizados.

Figura 4: Metamodelo preenchido – *Natural Comfort*



Fonte: os autores (2024)

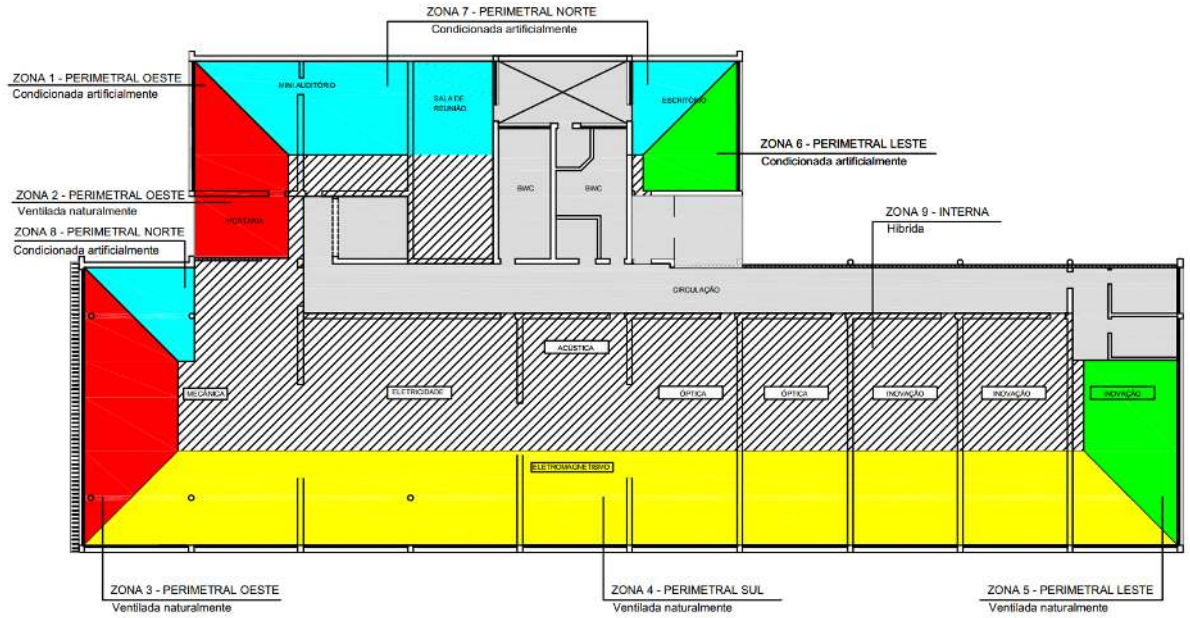
Observou-se que o valor do *EHFhot* (percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor), e a FHdesc (fração de horas excedente por calor) resultou em 45%. A partir disso, calculou-se o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico durante o uso da ventilação natural (PHOCT), a partir da equação abaixo:

$$\mathbf{PHOCT = 100 - EHFhot}$$

Com este primeiro resultado, tem-se o PHOCT menor que 90%. Desta forma, foi necessário aplicar o procedimento do método simplificado para classificação da envoltória, com objetivo de avaliar a parcela condicionada artificialmente, obtendo-se a Carga Térmica Total de Refrigeração (CgTR) da edificação.

Para esta nova simulação, as exigências de aplicabilidade foram todas atendidas. Foram utilizados dados de parâmetros referentes à tipologia, à divisão em zonas térmicas (Figura 5) e ao clima. A divisão em zonas térmicas é uma das diferenças entre as duas ferramentas, pois na ferramenta *Natural Comfort* não existe a separação do edifício em zonas térmicas, pelo fato de a edificação ser considerada um bloco único, com parâmetros de entrada calculados para a edificação como um todo.

Figura 5: Divisão de zonas térmicas



Fonte: os autores (2024).

Os dados e informações levantadas da edificação foram aplicadas na ferramenta web para a classificação da edificação real. Já para a edificação de referência, foram utilizados valores preestabelecidos de acordo com a tipologia do Anexo A da INI-C [14] [18], que considera a de referência equivalente ao nível D de classificação de eficiência energética.

Obteve-se a classificação A, com o resultado CgTTreal = 131.389 kWh/ano e a CgTTreferência = 211.551 kWh/ano. Na INI-C, a classificação da envoltória é definida com base no percentual de Redução de Carga Térmica Total anual da edificação real (RedCgTT), em comparação com a carga térmica total anual da edificação de referência. Estes resultados são apresentados na Figura 6, incluindo, em porcentagem, a redução da carga térmica real em relação à carga térmica de referência.

Figura 6: Resultado da simulação da classificação da eficiência energética



Fonte: os autores (2024).

Para a obtenção do RedCgTT em suas condições real e de referência, utilizou-se a equação B.I.1. [14]:

$$\mathbf{RedCgTT = ((CgTTrefD - CgTTreal) / CgTTrefD).100}$$

Com este cálculo, ratificou-se o resultado apresentado na Figura 6. Como resultado, observou-se que o edifício Escola de Ciência-Física obteve uma redução de carga térmica, na avaliação da sua envoltória, e em relação à edificação de referência no valor de 38%.

Para além da classificação A da envoltória, em relação à condição de referência, obtida como resultado na interface web, retornou-se à ferramenta *Natural Comfort* e calculou-se uma nova CgTTreal, considerando-se o desconto da ventilação natural, o PHOCT de 55%.

Assim, obteve-se:

$$\mathbf{CgTTreal = 131.389\ kWh/ano\ x\ 0,45(FHdesc) = 59.125,05\ kWh/ano}$$

Retomada a equação B.I.1 do INI-C, obteve-se o valor de RedCgTT de 72% de redução. Portanto, observou-se a ampliação da diferença entre CgTTreal e a CgTTreferência, quando o resultado da RedCgTT passa de 0,38 para 0,72. Este resultado indica que o uso da ventilação natural no condicionamento térmico do edifício é uma estratégia relevante para redução da carga térmica.

A ferramenta *Natural Comfort*, em sua simplificação, omite a avaliação de elementos construtivos importantes, como a ventilação natural existente, por período contínuo, através das venezianas e dos cobogós do edifício, os quais podem colaborar, inclusive, para o resfriamento do edifício durante a noite.

No entanto, quando não se consegue o PHOCT maior ou igual a 90%, necessário para a certificação A, a própria ferramenta indica a utilização de outros parâmetros para a conclusão da análise. Esses parâmetros, tais como, orientações das fachadas, os ângulos horizontais de sombreamento (AHS), a separação em zonas térmicas e suas especificidades, a orientação solar, a distinção entre paredes externas ou internas, dentre outros, se encontram no procedimento de simulação do método simplificado para edificações condicionadas artificialmente.

Com base nos resultados finais obtidos, é possível observar que a eficiência energética revelou-se significativamente alta do edifício escolar, por meio da avaliação segundo o método Procel INI-C. A aplicação da ferramenta *Natural Comfort* indicou, inicialmente, um percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) inferior a 90%, o que exigiu a utilização do método simplificado para avaliação da envoltória. A simulação subsequente, que incluiu parâmetros mais detalhados e a divisão em zonas térmicas, resultou em uma classificação A para a envoltória, com uma redução de 38% na carga térmica total anual em comparação à edificação de referência. Quando incorporada a ventilação natural, a eficiência aumentou, alcançando uma redução de 72% na carga térmica.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados positivos obtidos na simulação, a Escola de Ciência-Física pode ser considerada um caso de aplicação de soluções adequadas para a arquitetura sustentável e eficiência energética. A comprovação passou pela avaliação para certificação de eficiência energética utilizando a metodologia PBE-Edifica.

Os resultados evidenciam a importância da ventilação natural no condicionamento térmico e destacam a eficácia do método Procel INI-C na avaliação e classificação da eficiência energética de edificações, inclusive escolares. A análise detalhada e a consideração de diversos parâmetros construtivos reforçam a necessidade de estratégias integradas para otimização do desempenho energético dos edifícios.

Considera-se relevante o uso de métodos simplificados para avaliação de eficiência energética para edifícios com ventilação natural, visando melhorar o programa de rotulagem de desempenho de edifícios comerciais do Brasil, para além das soluções que envolvam apenas condicionamento ativo. Com isso, pretende-se encorajar gestores, arquitetos e engenheiros a considerarem a viabilidade de soluções passivas ainda mais eficientes.

Com o estudo, percebeu-se ainda que estimular o uso do método de simulação pode ser uma estratégia para compreender o comportamento da arquitetura frente a dinâmica do clima, sua operação e, com isso, entender problemas, prever estoque de energia térmica e, por fim, auxiliar em decisões para *retrofit*.

Para novas pesquisas, recomenda-se a utilização de simulação termo-energética possa reforçar a avaliação das estratégias de projeto de edifícios no potencial de integração de todos os elementos construtivos, incluindo os fatores externos relacionados ao clima e ao entorno.

Este estudo despertou o interesse pela produção de trilhas de aprendizagem na própria Escola de Ciência-Física envolvendo os conceitos de eficiência energética e arquitetura bioclimática em uma edificação real, que deve contribuir para a difusão de conhecimento, estimulando hábitos sustentáveis no uso racional de energia, além de proporcionar espaço lúdico ao processo de ensino e aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Não declarado.

REFERÊNCIAS

[1] PONTELLI, G. E.; AQUINO, K. S.; KNEIPP, J. M. Práticas Sustentáveis e Gestão Ambiental nas Instituições de Ensino Superior: um Estudo Bibliométrico na Web of Science. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 7, n. 1, p. 71-81, jun. 2021. DOI: https://doi.org/10.48075/gdemrevista.v7i1.27467.

[2] OLIVEIRA, L. R.; MARTINS, E. F.; LIMA, G. B. A. Evolução do conceito de Sustentabilidade: um ensaio bibliométrico. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v.10, n.04, 2010. Universidade Federal Fluminense. Disponível em: http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume102010/RelPesq_V10_2010_04.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

[3] WCED. World Commission on Environment and Development: our common future. Oslo: WCED, 1987. Disponível em: http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I. Acesso em: 22 nov. 2023.

[4] PIMENTA, M. F. F.; NARDELLI, A. M. B. Desenvolvimento sustentável: os avanços na discussão sobre os temas ambientais lançados pela conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável, Rio+20 e os desafios para os próximos 20 anos. **Perspectiva**, v. 33, n.3, 2015. DOI: https://doi.org/10.5007/2175-795X.2015v33n3p1257.

[5] KEELER, M.; VAIDYA, P. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. 2a ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. ISBN 978-85-8260-470-0.

[6] CARVALHO, A. M; GRABASCK, J. R. **Arquitetura sustentável**. Porto Alegre: SAGAH, 2019. ISBN 978-85-335-0010-5.

[7] KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar:** o projeto do ambiente de ensino. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. ISBN: 978-85-7975-011-3.

[8] TOYINBO, O. **Chapter 4 - Indoor Environmental Quality**. Sustainable Construction Technologies. Oxônia, Reino Unido: Butterworth-Heinemann, 2019. ISBN 9780128117491. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811749-1.00003-1. Acesso em: 10 ago. 2021.

[9] AKANMU, W. P.; NUNAYON, S. S.; EBOSON, Uche C.. Indoor environmental quality (IEQ) assessment of Nigerian university libraries: A pilot study. **Energy and Built Environment**, 2020. ISSN 2666-1233. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.07.004. Acesso em: 28 set. 2020.

[10] KARAPETSIS, A.; ALEXANDRI, E. Indoor Environmental Quality and its Impacts on Health – Case Study: School Buildings. In: **5th International Conference "Energy in Buildings 2016"**, v. 1, p. 78-81, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317888474_Indoor_Environmental_Quality_and_its_Impacts_on_Health_-_Case_Study_School_Buildings. Acesso em: 26 nov. 2020..

[11] GOMES MARÇAL, V.; DE SOUZA, H. A.; FONSECA DE MELO COELHO, F.; SOUSA MARÇAL, C. C. Relevância e percepção do conforto térmico no processo de aprendizagem em sala

de aula. **Boletim Técnico do Senac**, [S. l.], v. 44, n. 2, 2018. DOI: https://doi.org/10.26849/bts.v44i2.693.

[12] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL: Ministério de Minas e Energia, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/publicacoes/livros. Acesso em: 23 abr. 2024.

[13] SILVA, M. K. P. da. **Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem do Procel Edifica**. 2019. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) –Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/node/829. Acesso em: 12 nov. 2023.

[14] INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **INI COMERCIAL**: Instrução Normativa para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas. Rio de Janeiro: Inmetro, 2023. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/INIC_Portaria_309_de_2022_COM%20CAPA.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

[15] IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa Municipal**. 2021. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2020/ES/vitoria/3205309_MM.pdf. Acesso em: 17 abr. 2024..

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

[17] FERREIRA, A. L. T. D.; MIRANDA, C. L.; GONÇALVES, L. C. A Arquitetura Moderna dos edifícios escolares da década de 1950 em Vitória. In: Arquitetura, cidade, paisagem e território: percursos e prospectivas/ I Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. – Rio de Janeiro, ANPARQ, 2010.

[18] INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Manual de Aplicação da INI-C**. Rio de Janeiro: Inmetro, 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/inic. Acesso em: 18 set. 2023.

[19] RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, v. 174, p. 256-274, jul. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.081.

[20] INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Manual INI-C Natural Comfort**. Rio de Janeiro: Inmetro, 2023. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual%20INI-C_Natural%20Comfort-AGO-23.pdf. Acesso em: 19 set. 2023.

[21] INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria Nº 309, de 06 de setembro de 2022**. Rio de Janeiro: Inmetro, 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/portariaconsolidada. Acesso em: 19 set. 2023.