

INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DA ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SALAS DE AULA COM BASE NO MÉTODO SIMPLIFICADO DO PBE EDIFICA (INI-C)

MARTINS, Lúcia Helena Aires¹ (lucia.martins@ifs.edu.br); LOMARDO, Louise Land Bittencourt² (louiselbl@gmail.com);

¹Universidade Federal Fluminense (UFF), Instituto Federal de Educação de Sergipe, Brasil

²Universidade Federal Fluminense (UFF), Brasil

Palavras-chave: envoltória, INI-C, salas de aula, eficiência energética, conforto térmico

Resumo

A temática voltada para o conforto térmico e eficiência energética de edificações vem ganhando destaque em todo mundo, sendo objeto de pesquisa de grandes instituições, com o intuito de reduzir o consumo de energia e a busca por soluções arquitetônicas que proporcionem um melhor desempenho térmico e energético para o ambiente construído. A normatização e a etiquetagem da eficiência energética de edificações são instrumentos voltados para a melhoria da eficiência e redução da demanda energética das edificações. A Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) trata-se de uma revisão do RTQ-C do PBE Edifica e apresenta dois métodos de avaliação, o simplificado e o da simulação. O presente artigo tem como objetivo analisar a influência de elementos da envoltória na classificação da eficiência energética de salas de aulas a partir da aplicação do método simplificado da INI-C. A edificação em estudo localiza-se no município de Estância, Sergipe, caracterizado pelo clima tropical quente e úmido. Os elementos analisados foram o percentual de abertura da fachada (PAF), o fator solar do vidro (FS) e o sombreamento das aberturas, e os parâmetros analisados foram: percentual de horas em conforto térmico, a classificação da eficiência energética da envoltória e o percentual de redução da carga térmica de resfriamento. As salas de aula analisadas apresentaram um valor de 61% de fração de horas em desconforto térmico ao longo do ano e a envoltória obteve classificação A em relação a sua eficiência energética. A partir da variação nos elementos da envoltória, conclui-se que as estratégias mais eficazes foram as que protegem o edifício da radiação solar, como o uso de sombreamento nas janelas e a adoção de um tipo de vidro com menor fator solar, como o laminado.

1 INTRODUÇÃO

O ambiente construído influencia direta e indiretamente a qualidade de vida das pessoas, dentro dessa perspectiva, pode-se destacar a importância da qualidade dos espaços escolares no correto desenvolvimento de suas atividades acadêmicas. Nesse sentido, é essencial que as edificações escolares sejam projetadas e construídas com critérios que garantam a sua adequação ao clima em que se inserem, ampliando a possibilidade de conforto térmico e bem-estar, fatores importantes para o desempenho e satisfação dos usuários.

Em se tratando de espaços escolares, a qualidade do ambiente interno e a conservação de energia são desafios complexos, a sua estrutura física e suas características arquitetônicas interferem no conforto térmico, acústico e visual e são aspectos fundamentais para garantia da qualidade ambiental dos espaços (Kowaltowski, 2011). Ressalta-se a importância de estudos voltados para o conforto e bem estar dos usuários nas salas de aula, visto que eles passam várias horas do seu dia dentro desses espaços. Hwang, Liao e Chen (2022) destacam que o desconforto

térmico derivado de temperaturas altas ou baixas afetam o desempenho acadêmico dos alunos, incluindo concentração, cognição e pontuações de testes.

Cabe destacar ainda que, é uma prática comum no âmbito dos projetos institucionais, a desconsideração das diversidades climáticas das regiões, tais como os critérios de aproveitamento da ventilação natural e da insolação, entre outros. Essa temática se torna ainda mais necessária de ser trabalhada nas regiões de clima tropical, como por exemplo o clima tropical quente e úmido, clima característico do Estado de Sergipe, local de estudo da pesquisa. Segundo Hertz (2003) é fato que nos climas tropicais a radiação solar incidente é alta, seja como radiação direta em dias ensolarados, seja em forma de radiação difusa durante os dias nublados.

O incentivo à normatização e etiquetagem de eficiência energética de edificação representa um grande passo nesse contexto de busca por ambientes mais eficientes, destaca-se a Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que entrou em vigor recentemente em 2022. A INI-C consiste na revisão do Regulamento Técnico para Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) publicado em 2009. A aplicação desses métodos tem como objetivo obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), após a análise as edificações são classificadas numa escala de A (para mais eficiente) até E (para menos eficiente).

Nesse contexto foi proposto o desenvolvimento da presente pesquisa, que objetivou avaliar a eficiência energética de um bloco composto por três salas de aula de uma instituição pública federal, a partir do método simplificado proposto pela INI-C. Com base nesse modelo analisado, foi proposta a análise de variações na envoltória com vista a melhorar o conforto térmico e a eficiência energética da envoltória

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar a influência de elementos relacionados à envoltória de salas de aula no seu desempenho térmico e eficiência energética, tendo como base o método simplificado do INI-C.

3 METODOLOGIA

Para desenvolvimento da presente pesquisa foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos: 1. Caracterização do objeto de estudo; 2. Aplicação do método simplificado da INI-C; 3. Variação nos elementos da envoltória. 4. Análise dos resultados.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

3.1.1 Contexto climático

A edificação em estudo localiza-se no município de Estância, região sul do Estado de Sergipe. De acordo com a NBR 15.220-3/2005 a região pertence a Zona Bioclimática 8. O município de Estância (latitude sul 10°92" e longitude oeste 37°05") não possui dados climáticos disponibilizados na plataforma INMET, dessa forma, utilizou-se a caracterização climática do município de Aracaju (latitude sul 10°91" e longitude oeste 37°07"). A temperatura média anual é de 26°C, verifica-se que os meses com temperaturas mais amenas se localizam na estação do inverno, nos meses de junho até setembro, período onde também é registrado o maior percentual de chuvas. Em se tratando da umidade relativa média anual, ela apresenta valores relativamente

altos, na ordem de 74%, variando entre a mínima média de 71% no mês de abril e a máxima média de 80%, no mês de janeiro (PROJETEEEE, 2022).

3.1.2 Descrição do objeto de estudo

O Campus onde está localizado o bloco de aulas em estudo possui uma área total construída de aproximadamente 5.000,00 m², as salas de aula são distribuídas em 4 blocos, possuem formato retangular e são interligados pela cobertura que se prolonga pela área de circulação. Cada bloco possui 3 salas de aula com dimensões internas de 7,0 m x 8,0 m, totalizando uma área útil construída de 56,00 m², cada. A edificação tem cobertura de telhas de cerâmica do tipo colonial na cor natural, forro de PVC na cor branca e não possui laje. O pé direito interno das salas de aula é de 3,25 m. As paredes externas se prolongam formando uma grande platibanda, na fachada voltada para a circulação não existe platibanda e o telhado se prolonga, formando um grande beiral. (Figura 1 e 2).



Figura 1. Vista do corredor de acesso às salas de aula



Figura 2. Vista externa do bloco de salas de aula

Nesse estudo, pelo seu direcionamento à avaliação do conforto em salas de aula, destaca-se o bloco A, especificamente as salas 1, 2 e 3, destacada na figura 3. As paredes internas e externas são em bloco cerâmico de 09 cm x 14 cm x 24 cm, com 25 mm de argamassa em cada lado e revestidas com revestimento cerâmico, internamente na cor branca com tamanho de 30 cm x 45 cm e externamente com cerâmica de 10 cm x 10 cm, sendo uma parte na cor branca e outra na cor verde escuro. As aberturas estão localizadas nas fachadas Nordeste e Sudoeste, esta última não possui nenhum dispositivo de proteção solar. Na fachada nordeste, onde estão localizadas as portas e janelas, o telhado se prolonga e cobre a área de circulação entre as salas e os demais blocos do Campus, funcionando como um grande beiral.

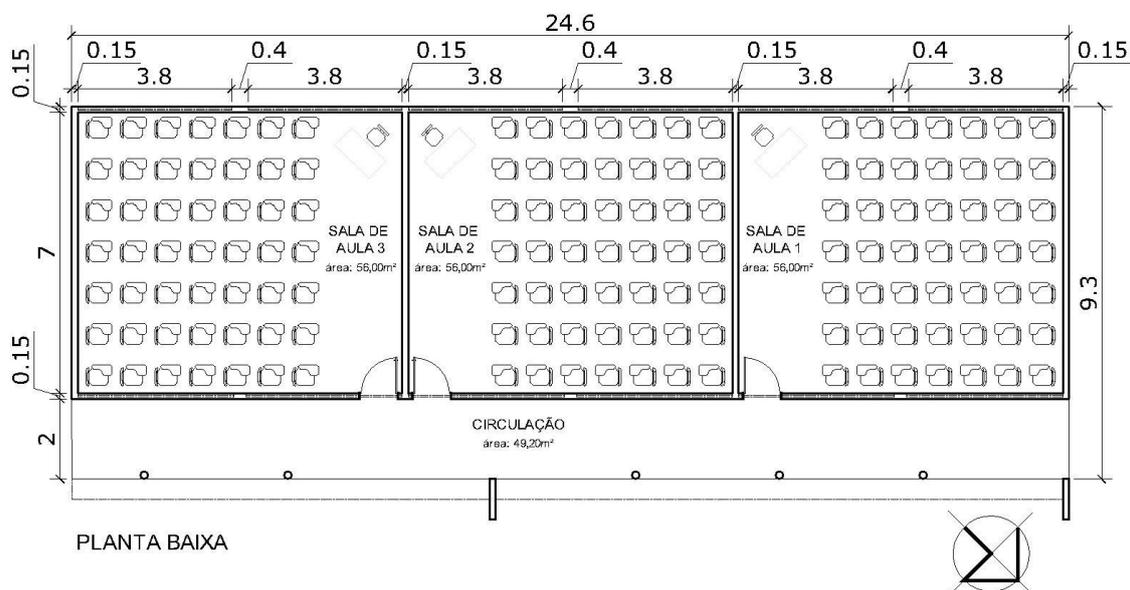


Figura 3. Planta Baixa do bloco de aulas analisado.

As portas são de madeira lisa semi-oca e as janelas são do tipo basculante com estrutura de alumínio na cor natural e vidro simples incolor. As esquadrias seguem o mesmo padrão em todas as salas de aula e nos demais blocos do Campus, cada sala possui dois módulos de janelas de cada lado, e cada módulo é composto por três folhas. O módulo da janela possui 3,80 m de comprimento, 0,60 m de altura e peitoril de 2,40 m.

3.2 Método simplificado da INI-C

O bloco de aulas em estudo atendeu a todos os limites definidos pelo item 6.2 da INI-C para aplicação do método de avaliação simplificado. As salas de aula possuem um aparelho de ar condicionado cada, além de dispor de janelas altas em duas paredes distintas, dessa forma pode-se classificar como uma edificação híbrida, em determinadas épocas do ano e horário do dia é possível utilizar apenas a ventilação natural, já em outros momentos o uso das salas com o mínimo de conforto térmico só é possível com o uso do ar condicionado. Dessa forma, o presente estudo realizou a aplicação do método simplificado da INI-C para os dois cenários: com ventilação natural e com ar condicionado.

Para tanto, são necessários dados de entrada da edificação para que a predição destas variáveis seja realizada. Alguns parâmetros são levantados de acordo com a edificação completa, e outros são definidos para cada zona térmica. A cidade de Aracaju será utilizada como parâmetro de localização nos dois cenários, em função da inexistência do município de Estância no banco de dados da interface. De acordo com as características provenientes da edificação e com as instruções da INI-C, os parâmetros da condição real para a inserção na interface, estão na tabela 1, juntamente com os valores da condição de referência considerando a tipologia de escolas, extraídos da Tabela A.2 do Anexo A da INI-C. A densidade de iluminação do modelo real foi calculada a partir do levantamento físico das áreas avaliadas, já a densidade de equipamentos foi adotada o valor estabelecido no anexo A da INI-C para edificações escolares.

Tabela 1. Características do objeto de estudo

Tipo	Característica	Unidade	Modelo real	Modelo de referência
Uso	Horas de ocupação	h	8	8
	Densidade de potencia de equipamentos	(W/m ²)	15	15
	Densidade de potencia de iluminação	(W/m ²)	8,57	15,5
Materiais	Fator solar do vidro	-	0,80	0,82
	Transmitância vidro	(W/m ² K)	5,70	5,70
	Absortância cobertura	-	0,75	0,80
	Transmitância cobertura	(W/m ² K)	1,75	2,06
	Capacidade térmica cobertura	(W/m ² K)	21	233
	Absortância parede	-	0,20	0,50
	Transmitância parede	(W/m ² K)	2,27	2,39
	Capacidade térmica parede	(W/m ² K)	150	150
	Percentual de abertura da fachada total	%	8	40
	Percentual de abertura da fachada	%	17	40
	Ângulo vertical de sombreamento - AVS	°	60*	0

*O AVS está presente apenas nas janelas voltadas para a fachada nordeste da edificação

3.2.1 Cenário com ventilação natural

De acordo com a INI-C, edificações totalmente ventiladas naturalmente, ou que funcionam a partir da combinação entre a ventilação natural e unidades condicionadoras de ar (ventilação híbrida), devem ser analisadas em função do percentual de horas ocupadas em conforto térmico durante o uso da ventilação natural (PHOCT). O *natural comfort* é uma ferramenta que fornece uma estimativa do somatório anual das horas de desconforto térmico por calor em edifícios comerciais (escritórios) e educacionais (escolas) ventilados naturalmente. A estimativa é feita com base nos limites para 80% de aceitabilidade térmica dos ocupantes provenientes do modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2020).

A estimativa do percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) deve ser obtida por meio da fração de horas excedentes por calor (FHdesc) ao longo de um ano, calculada em relação às horas de ocupação para toda a edificação com o auxílio da interface *natural confort*. O PHOCT é obtido pela diferença entre 100 e a fração de horas excedentes por calor.

Os parâmetros da edificação real descritos na tabela 1 foram utilizados como os dados de entrada na interface. Considerou-se que na edificação não há obstruções relativas ao entorno, e, portanto, trata-se de uma área rural plana e com proteção local leve com poucas obstruções. Também foi adotada a opção sem ventilador e o tipo de janela basculante. Destaca-se que o percentual de janela na fachada (PAF) utilizado é o total, que de acordo com o manual de definições da INI-C é realizado a partir das medidas externas de todas as fachadas da edificação, sendo o valor encontrado para o modelo em questão de 8%. Convém ressaltar que, a análise nesse cenário considera a edificação como um todo, sem divisões internas.

3.2.2 Cenário com ar condicionado

O método simplificado de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações condicionadas artificialmente se baseia na predição da carga térmica. Esta predição se dá por meio de um metamodelo, desenvolvido com base em resultados de milhares de simulações computacionais. Na INI-C a classificação é realizada com base no consumo de energia primária,

comparando-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D.

A carga térmica total de refrigeração (C_{gTT}) é determinada com base em parâmetros construtivos físicos, geométricos e de carga interna da edificação. A INI-C determina a separação de áreas condicionadas e áreas de permanência transitória, que geralmente não são condicionadas, dessa forma, a área de circulação não será considerada nessa avaliação, além disso, quando a largura ou o comprimento do espaço a ser analisado for inferior a 9,00 m, têm-se apenas zonas perimetrais, o que corresponde ao estudo em questão, como pode ser observado na Figura 4. A característica do percentual de abertura na fachada, nesse cenário é utilizado o PAF de cada zona térmica onde está localizada a janela, diferentemente o método do cenário anterior. Dessa forma o valor encontrado para o modelo real é de 17%.

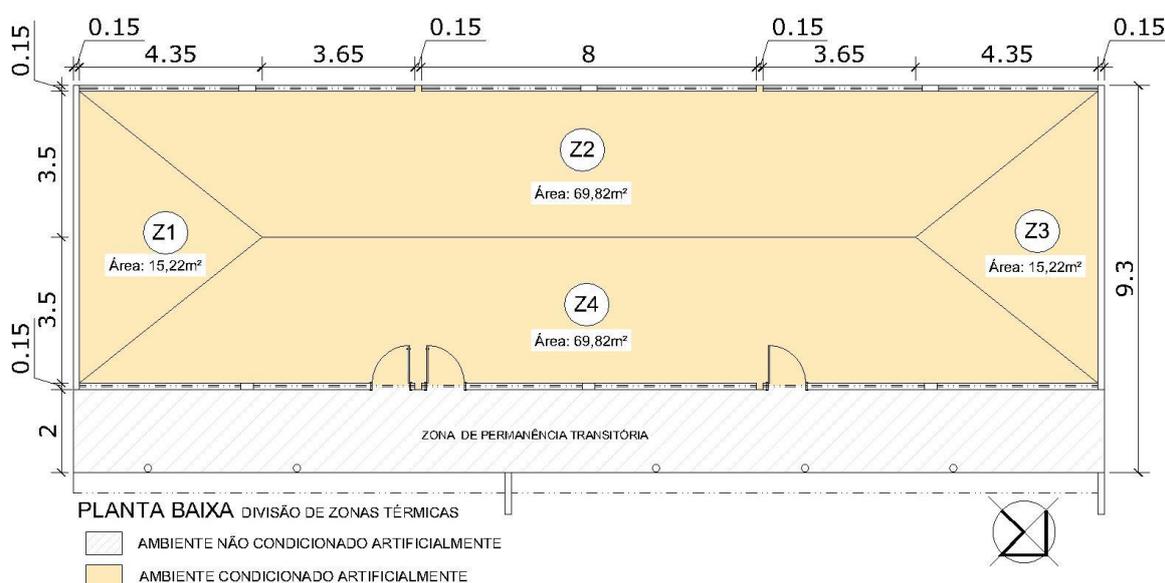


Figura 4. Planta baixa com divisões das zonas térmicas

3.3 Variações dos elementos da envoltória

Inicialmente as características da edificação analisada basearam-se no modelo real (Tabela 1) e no modelo de referência D da INI-C para tipologia de edificações educacionais. A partir do modelo real realizaram-se variações a fim de avaliar a influência desses elementos no desempenho e classificação da eficiência energética da envoltória.

As variáveis analisadas foram o tipo de vidro (simples – FS 0,80; laminado – FS 0,27), percentual de abertura na fachada (PAF real, 40% e 70%), além do elemento de sombreamento vertical sobre a abertura, medido pelo ângulo vertical de sombreamento (AVS 0°, 15°, 30° e 45°). A análise da variação do AVS compreendeu apenas as janelas voltadas para o lado oposto a circulação (fachada sudoeste), visto que as janelas voltadas para o corredor já têm a proteção pelo prolongamento do beiral na área de circulação entre as salas. A variação do PAF compreendeu para o modelo real dois valores diferentes para cada cenário, de acordo com a INI-C, para análise do ambiente com ventilação natural é adotado o PAF total, já para o cenário com uso do ar condicionado o PAF de cada zona térmica.

4 RESULTADOS

A aplicação do método simplificado da INI-C apresenta resultados que proporcionam uma compreensão básica das condições de conforto térmico, bem como a predição de valores relacionados a carga térmica necessária para refrigeração do ambiente. Os resultados serão apresentados em duas etapas, primeiramente compreende a aplicação do método para o cenário do ambiente com ventilação natural, através do uso da *interface natural comfort*, em seguida, será apresentado os resultados do cenário com o uso do ar condicionado.

4.1 Cenário com ventilação natural

A análise dos resultados iniciou-se pela análise do modelo real e do modelo de referência. A fração de horas em desconforto térmico (FHdesc) encontrada para modelo real foi de 0,61, que representa 61%, dessa forma, as salas de aula permanecem em situação de conforto térmico apenas 39% do tempo ao longo do ano. O modelo de referência apresentou resultado ainda pior, FH de desconforto de 0,80, o que representa apenas 20% das horas do ano em conforto térmico. A Figura 5 sintetiza os resultados obtidos para cada variável analisada, os melhores resultados foram apresentados pelos modelos que utilizaram o fator solar do vidro no valor de 0,27, correspondente a um vidro laminado. Considerando que o modelo real possui o vidro simples, com valor do fator solar de 0,80, observou-se que o uso dos elementos de proteção solar (AVS) impactou positivamente, aumentando progressivamente os valores de PHOCT. Dessa forma, quanto maior a projeção do ângulo vertical de sombreamento das aberturas, melhor o conforto térmico do ambiente interno.

O modelo real compreende o FS 0,80, AVS_30 e PAF 8% e apresentou valor de 39%, para a mesma configuração, aumentando apenas o valor do PAF, observa-se que o PHOCT diminuiu, sendo assim, o aumento da dimensão das aberturas não representa, necessariamente, uma melhoria no conforto térmico do ambiente interno. Para todos modelos analisados com o FS 0,80, ao aumentar o PAF o PHOCT diminuiu, sendo o menor valor de 16%, apresentado pelo modelo sem proteção solar (AVS_0) e PAF de 70%. O modelo com FS 0,80 que apresentou melhor desempenho foi o que adotou AVS de 45° e PAF de 8%, que obteve um valor de 44% de PHOCT. Ressalta-se o impacto positivo observado pelo uso do vidro laminado (FS 0,27), onde aliado ao uso de proteção solar proporciona uma elevação de até 22% do PHOCT em relação ao modelo real. Os modelos com FS 0,27 que apresentaram os melhores resultados entre as variações do PAF, compreendeu o PAF de 40%, onde o modelo sem proteção apresentou 57%, o com AVS 15°, 58%, AVS 30°, 60% e o modelo com melhor desempenho, o com AVS 45°, 61% de PHOCT. Quanto maior o ângulo de sombreamento da janela, melhor o conforto térmico, dessa forma os modelos com AVS apresentaram os melhores resultados em todas as combinações realizadas.

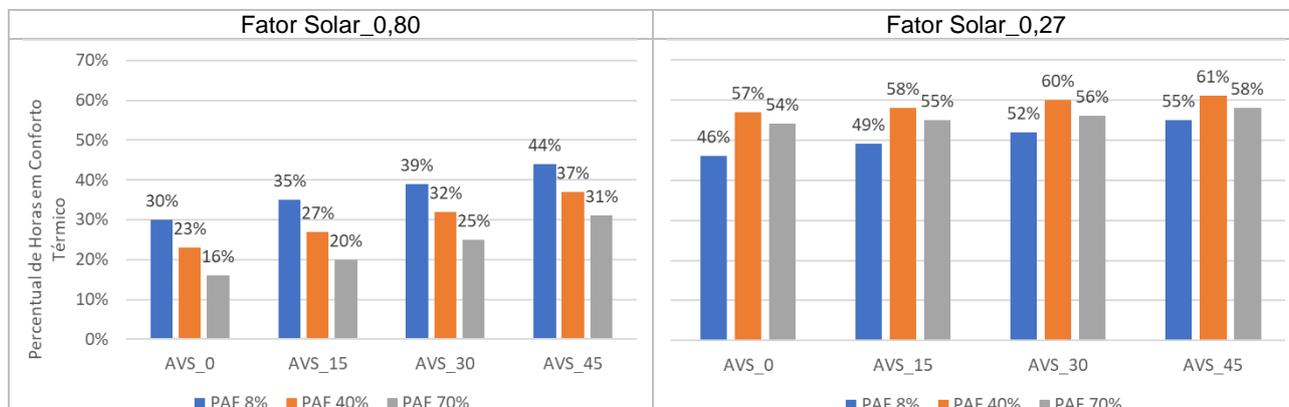


Figura 5. Resultados do percentual de horas em conforto térmico (POCHT)

4.2 Cenário com ar condicionado

O cenário com ar condicionado apresentou resultados da carga térmica para refrigeração e a classificação da eficiência energética da edificação. Como observado no cenário anterior, os modelos com o FS menor, apresentaram os melhores resultados, a maior diferença encontrada foi entre o modelo com PAF 40% e AVS 15°, onde o modelo com FS 0,80 apresentou uma carga térmica de 6.174,67 kWh/ano a mais que o modelo com FS 0,27.

O PAF possui relação direta com o aumento das cargas térmicas no interior das edificações, visto que os elementos translúcidos permitem a incidência direta da radiação solar, os resultados apresentaram que quanto maior o PAF, maior será a carga térmica para refrigeração. Tanto os modelos com fator solar 0,80, quanto 0,27 apresentaram essa mesma tendência.

O impacto positivo do uso de maiores ângulos de sombreamento também foi encontrado nesse cenário, o uso do ângulo de 45° representou uma diminuição de 1.226,91 kWh/ano no modelo com PAF 17%, 1.791,34 kWh/ano no modelo com PAF 40% e, 2.997,59 kWh/ano, no modelo com PAF 70%.

O reconhecimento da influência dos elementos de proteção no consumo de energia obtido no presente estudo condiz com os resultados apresentados por Oliveira e Lunardi (2018), onde seus resultados apresentaram que é possível reduzir o consumo anual de eletricidade quando se utiliza dispositivos com maiores ângulos verticais de sombreamento, uma redução de até 7,81% com o uso de elementos arquitetônicos com 60° de ângulo de sombreamento vertical.

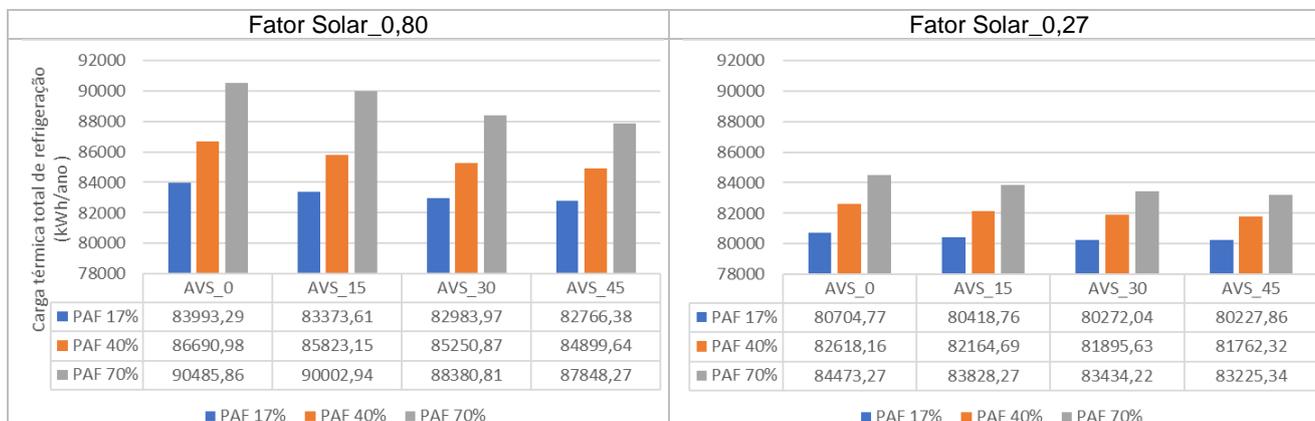


Figura 6. Resultados da carga térmica total de refrigeração (kWh/ano)

As cargas térmicas totais anuais da condição real e da condição de referência devem ser comparadas para obtermos a classificação do nível de eficiência energética da envoltória de acordo com o percentual de economia da condição real em relação à condição de referência, segundo a escala de valores. O resultado obtido no presente estudo pode ser observado na Figura 7, a envoltória da edificação do modelo real obteve a classificação A e o percentual de economia em relação ao nível D é de 10,00% (destaque em azul).

Para os modelos com FS 0,80, os melhores resultados foram obtidos pela combinação do PAF 17% com AVS de 30° ou 45°, já os modelos que apresentaram os piores resultados foram os que utilizaram o PAF 70% e AVS 0° e 15°, apresentando uma redução de apenas 4% em relação ao modelo de referência, todos os modelos com PAF 40% obtiveram classificação B e os com PAF 70%, classificação C. O uso do FS baixo (0,27) proporcionou excelentes resultados em todas as combinações, onde obtiveram classificação A, com exceção do modelo com PAF 70% e sem proteção solar, que se classificou como B.

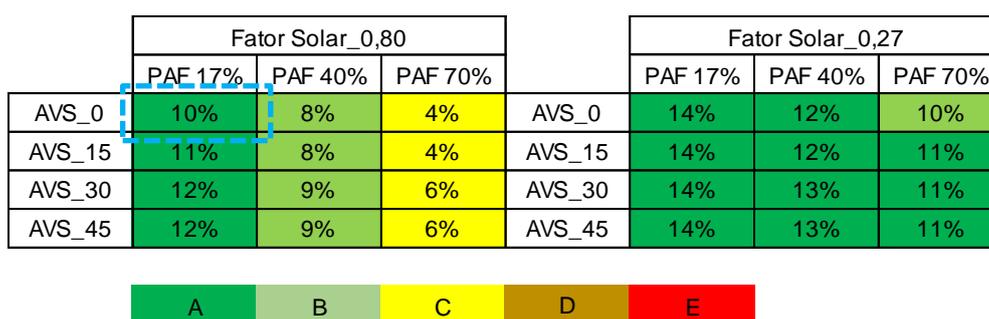


Figura 7. Percentual de redução da carga térmica total de refrigeração e classificação da envoltória

5 CONCLUSÕES

Este estudo avaliou e classificou a eficiência da envoltória de salas de aula a partir da aplicação das técnicas do método simplificado da nova INI-C. A implementação da etiquetagem de edificações representa um grande passo no contexto de incentivo à produção de edificações mais eficientes.

Os resultados encontrados na presente pesquisa apresentaram que as salas de aula analisadas obtiveram a classificação nível A na envoltória. A avaliação da eficiência energética é feita pelo percentual de economia gerado e os resultados mostraram que a edificação na condição real apresentou redução de 10% do consumo de energia primária em relação à edificação na condição de referência. Considerando que a edificação de referência possui classificação D, um valor de apenas 10% de redução é pouco.

A edificação analisada obteve uma boa classificação, porém, convém destacar que ao considerar o cenário com condicionamento passivo, com o uso da ventilação natural, o resultado foi de 61% de fração de horas em desconforto térmico, ou seja, os usuários desse espaço passam mais da metade de um ano em situação desconfortável, o que acarreta, na maioria das vezes, o uso do ar condicionado.

Ao analisar a variação na envoltória das edificações, observou-se que o uso de dispositivos com maiores ângulos verticais de sombreamento proporciona um melhor desempenho, tanto no cenário com ventilação natural, quanto com ar condicionado. Além disso, destaca-se a importância da correta especificação e escolha do tipo de vidro a ser utilizado nas esquadrias, visto que a propriedade do fator solar é um elemento preponderante no comportamento da radiação solar dentro dos ambientes, onde vidros com baixo fator solar proporcionam aumento nas horas de conforto térmico e uma diminuição na carga térmica para resfriamento, nas situações com o uso do ar condicionado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2005). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro.

ASHRAE Standard. 55-2020. (2020) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE.

Brasil. (2022). Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro. Portaria nº 309, de 06 de setembro de 2022. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2022. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/inic>.

Kowaltowski, D. C. C. K. (2011) Arquitetura escolar e o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de textos.

Hertz, John B. (2003). Ecotécnicas em Arquitetura: Como projetar nos Trópicos Úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.

Hwang, Ruey-Lung; LIAO, Wen-Jye; Chen, Wei-Na (2022). Optimization of energy use and academic performance for educational environments in hot-humid climates. Building and Environment, v. 222, p. 109434.

Oliveira, Paolo Américo de; Lunardi, Diana Gonçalves. (2018). Influência da envoltória no desempenho termoenergético de edificações institucionais no semiárido. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 9, n. 4, p. 276-289.

Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (2022). Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/sobre-o-projeteee/>.