

DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR DE HIS CONSIDERANDO ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO

**Maria Andrea Triana (1); Matheus K. Bracht (2); Matheus Geraldi (3); Matheus Bavaresco (4);
Ana Paula Melo (5); Roberto Lamberts (6)**

(1) Dra, arquiteta, mandreatriana@gmail.com.

(2) Me, engenheiro civil, matheus.bracht@gmail.com.

(3) Dr, engenheiro civil, matheus.s.geraldi@gmail.com.

(4) Dr, engenheiro civil, bavarescomateus@gmail.com.

(3) Dra, professora do Departamento de Engenharia Civil, a.p.melo@ufsc.br.

(4) PhD, professor de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br.

Universidade Federal de Santa Catarina, CTC / ECV / Laboratório de Eficiência Energética em Edificações,
Bloco B - Sala 401B, Campus Universitário, Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade,
Florianópolis - Santa Catarina – Brasil, CEP 88040-900, Tel.: (48) 3721-3021

RESUMO

Em habitações de interesse social (HIS), o custo se apresenta como um fator chave na hora da decisão dos projetos e como limitante na incorporação de estratégias de eficiência energética. O objetivo do artigo é mostrar uma metodologia para escolha de estratégias de eficiência energética de uma edificação multifamiliar de HIS, com base em análise de custo-benefício. O método engloba análise de desempenho termo energético e análise de custo/benefício das estratégias de eficiência energética aplicadas ao projeto. Toma como ponto de partida as características do caso de referência da NBR 15575 para um projeto multifamiliar de tipologia linear na cidade de Olinda, no Nordeste do Brasil, comparando o desempenho obtido com a incorporação de cada estratégia de forma individual em relação a três indicadores: o PHFT (Percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa considerada em conforto), a carga térmica anual e o custo incremental, aplicando uma análise multicritério. Os resultados mostram a importância do sombreamento e elevado fator de ventilação como estratégias com melhor relação de custo-benefício para a cidade em estudo. A metodologia proposta contribui na tomada de decisão de projetistas e para políticas públicas com relação à melhoria do desempenho termo energético de HIS.

Palavras-chave: habitação de interesse social, eficiência energética, custo.

ABSTRACT

In social housing, cost is a key factor and a limiting one for the incorporation of energy efficiency strategies. The main goal of this paper is to show a methodology for choosing energy efficiency strategies for a multifamily social housing building based on a cost-benefit analysis. The method encompasses thermal energy performance analysis and cost/benefit analysis of energy efficiency strategies applied to the project. It takes as a starting point the characteristics of the reference case of NBR 15575 for a multifamily project of linear typology in the city of Olinda in Northeast Brazil, comparing the performance obtained with the incorporation of each strategy individually in relation to three indicators: the thermal autonomy, the annual thermal load and the incremental cost, applying a multicriteria analysis. The results show the importance of shading and a high ventilation factor as strategies with the best cost-benefit ratio for the city under study. The proposed methodology contributes to the decision making of designers and to public policies regarding the improvement of the thermal energy performance of social housing.

Keywords: social housing, energy efficiency, cost.

1. INTRODUÇÃO

O setor residencial no Brasil apresenta o maior consumo de energia entre as edificações, sendo 10,9% da energia primária e 26,4% do consumo de eletricidade (EPE, BRASIL, 2022). Neste setor, as habitações de interesse social têm grande relevância por conta do déficit habitacional, estimado em aproximadamente 5,8 milhões de habitações (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2021). Pesquisas no país têm mostrado o baixo desempenho termo energético presente em geral nos projetos de habitações de interesse social, assim como o potencial de estratégias de eficiência energética para melhoria do desempenho das habitações do setor (SIMÕES e LEDER, 2022; TUBELO et al. 2018; TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015, 2018). Dada a importância das habitações de interesse social e a necessidade de uma base sólida como apoio a uma política pública nacional, foi promovido no país o projeto “Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em habitações de interesse social” financiado pela GIZ e realizado pelo Laboratório de Eficiência Energética - LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – para dar subsídio à Secretaria Nacional de Habitação no seu programa habitacional. O objetivo foi o desenvolvimento de diretrizes economicamente viáveis em climas brasileiros, considerando as oito zonas bioclimáticas estabelecidas no país pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), para tipologias típicas de HIS: casa unifamiliar, casa geminada e edificação multifamiliar em formato H. A atual política habitacional no país estabelece que as habitações devem atender aos critérios de desempenho mínimo da Norma de Desempenho – NBR 15575-1:2021, englobando-se os requisitos de desempenho térmico (ABNT, 2021). A norma permite avaliar as unidades habitacionais considerando um nível de desempenho mínimo, intermediário ou superior. Considera-se um avanço no setor a exigência do nível mínimo; entretanto, essa exigência não garante necessariamente conforto térmico dos usuários, o que pode acarretar o uso de condicionamento artificial das habitações durante sua operação. No projeto financiado pela GIZ, as diretrizes propostas para a melhoria do desempenho termo energético visaram alternativas com desempenho superior na Norma de Desempenho – NBR 15575-1:2021 considerando custos e benefícios no ciclo de vida das edificações, servindo de base para a política pública proposta - Portaria Nº 532 de 23 de fevereiro de 2022 (BRASIL, 2022a), e estabelecendo uma “Cartilha com casos otimizados”. O estudo mostrou a importância da incorporação de critérios de eficiência energética nos projetos e a sua justificativa desde uma perspectiva do ciclo de vida (LABEEE, SNH, 2021). Embora haja concordância nas pesquisas nacionais do potencial e importância de estratégias de eficiência energética no setor de habitações de interesse social, ainda existem barreiras para sua implementação efetiva. A pesquisa de Cristino et al. (2021) levantou por meio de revisão de literatura 27 barreiras para implementação de estratégias de eficiência energética no setor classificadas em 6 categorias, sendo identificadas como as mais importantes as correspondentes às categorias governamental/político/regulatória e a financeiro/econômica. A questão econômica é apontada por várias pesquisas como um tema central de aprofundamento (LAMBERTS et al. 2021; TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2021; TUBELO et al. 2018; KOWALTOWSKI e GRANJA, 2011), considerando-se, portanto, importante aprofundar na análise de custo-benefício de habitações mais eficientes para ver de forma mais detalhada quais estratégias frente ao critério de custos promovem, de forma mais efetiva, melhor desempenho das habitações e conforto aos usuários.

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é apresentar uma metodologia para escolha de estratégias de eficiência energética com base em uma análise de custo-benefício para uma edificação multifamiliar de interesse social na faixa de menor renda.

3. MÉTODO

O método toma como ponto de partida as características do caso de referência da NBR 15575-1:2021 para uma habitação multifamiliar de tipologia linear na cidade de Olinda (zona bioclimática 8 conforme a NBR 15220-3) no Nordeste do Brasil comparando o desempenho obtido com a incorporação de cada estratégia de forma individual em relação a três indicadores: o PHFT – Percentual de horas numa faixa de temperatura operativa considerada em conforto, a carga térmica e o seu custo incremental, aplicando uma análise multicritério. Os primeiros dois indicadores estão presentes na metodologia da NBR 15575-1:2021. Para o método, foram consideradas as seguintes etapas: (1) definição do projeto e do caso de referência; (2) escolha das estratégias de eficiência energética aplicadas, (3) análise de desempenho termo energético (4) análise de custo e (5) análise de custo/benefício das estratégias. Cada uma das etapas do método será descrita a seguir.

3.1. Definição do projeto e do caso de referência

Em 2021, e como parte do projeto EEDUS – Eficiência Energética para Desenvolvimento Sustentável, parceria da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH junto à Secretaria Nacional de Habitação, foi realizado um concurso de arquitetura “Habitação de Interesse Sustentável” – Concurso Nacional de Ideias em Arquitetura para Eficiência Energética em Habitação de Interesse Social. O objetivo foi promover projetos de arquitetura para o setor de interesse social na faixa de menor renda, de forma que incorporassem estratégias de eficiência energética. O concurso exigia num nível de detalhamento de um estudo preliminar, projetos de edificações multifamiliares para a zonas bioclimáticas 3 e 8 do Brasil. Os projetos deveriam incorporar as diretrizes construtivas e de desempenho da “Cartilha de casos otimizados” desenvolvida pelo LabEEE para o projeto “Análise de custo-benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS” (LABEEE, SNH, MDR, 2021). Nessa cartilha, são definidos parâmetros com relação às propriedades térmicas da envoltória de forma a que sejam projetadas edificações com desempenho no nível superior na NBR 15575-1:2021 e com menor custo no ciclo de vida da edificação. Os ganhadores do concurso seriam selecionados para desenvolver projetos em 3 cidades do país para que idealmente fossem executados junto às prefeituras. Um dos projetos ganhadores foi desenvolvido para a cidade de Olinda (Figura 1). Informações sobre os projetos ganhadores do concurso encontram-se em Archdaily (2021).



Figura 1 – Projeto para Olinda (BRASIL, 2022b).

O Projeto é composto por oito blocos, de quatro pavimentos, ocupando o perímetro do terreno com 150 unidades habitacionais (UH) de 51,76 m². Conforme colocado pelos autores do projeto, a ocupação periférica e a disposição entre os blocos favorecem a iluminação e ventilação dos apartamentos. A disposição resultou na implantação de uma sequência de espaços públicos trazendo para o miolo da quadra a ideia de continuidade do chão urbano. No térreo, foram reservadas áreas para lojas comerciais e/ou espaços institucionais. O pavimento tipo contém uma tipologia de 2 dormitórios, todos os apartamentos são voltados para as faces leste e norte, e uma grande circulação avarandada (nas faces oeste e sul) realizando a conexão horizontal entre os apartamentos. Uma caixa com escada e elevador conecta os quatro pavimentos na vertical. Foi proposta uma cobertura metálica elevada como sombreamento para melhorar o desempenho térmico das edificações. O sistema construtivo é em bloco estrutural de concreto associado, quando necessário, no térreo a um sistema convencional de vigas e pilares e lajes painel. Possui elementos de proteção além da cobertura, sendo venezianas móveis que conforme os autores possibilitam variar pela disponibilidade econômica e as possibilidades da indústria local. As paredes e coberturas são de cor branca.

Para as análises foi considerado somente um módulo (Figura 1) já detalhado em nível executivo, considerado representativo para toda a edificação. O módulo em questão, foi modelado utilizando o software *Energy Plus*, considerando o contexto como sombreamento, e tem como orientação principal Leste – Oeste. Por este motivo também foi analisado por considerar-se que estava numa situação de localização onde recebe radiação intensa nestas fachadas (Leste-Oeste) ao longo do dia em todo o ano (Leste de manhã e Oeste de tarde). Desta forma, estratégias aplicadas aos módulos e unidades habitacionais em outras orientações poderiam ser potencializadas. Benincá et al. (2023) mostraram que a otimização da orientação solar poderia reduzir a demanda total de consumo energético em 22% para um edifício de tipologia linear de HIS isolado no terreno e em até 8%, considerando-o com entorno de várias edificações próximas.

As características principais do projeto são conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Dados projeto real

Dados unidade habitacional	
Área unidade habitacional - UH	51,76 m ²
Pé-direito ponderado na UH	2,87 m
Transmitância térmica (U) da cobertura	0,80 W/m ² K
Absortância da cobertura	0,30
Transmitância térmica (U) da parede externa	3,01 W/m ² K
Capacidade térmica da parede externa	131 kJ/(m ² .K)
Absortância parede externa	0,30
% de elementos transparentes (sala)	20%
% de elementos transparentes (dormitório 1)	32%
% de elementos transparentes (dormitório 2)	28%
Fator de ventilação das aberturas* (sala e dormitórios)	90%
Pé-direito (módulo comercial)	2,45m

*As janelas da sala e dormitórios apresentam venezianas/brises externos móveis em chapa perfurada metálica.

Conforme a NBR 15575-1:2021, para avaliação do desempenho termo energético de uma edificação por meio do método de simulação deve ser considerado o modelo real (proposto), com todas as suas unidades habitacionais, e comparado com um modelo de referência. O modelo de referência conta com as características volumétricas do modelo real, contudo, não são considerados os elementos de sombreamento e são consideradas diferentes características da envoltória, conforme Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Dados do projeto de referência

Tipologia	PAREDES	COBERTURAS	VIDROS	ABSORTÂNCIA
	Caso Base	Caso Base	Caso Base	Caso Base
Multifamiliar	Concreto 10 cm U = 4,4 W/m ² K	Telha de fibrocimento + câmara de ar + forro de laje em concreto em 10 cm (U = 2,06 W/M ² k) + considerar sobre a laje o uso de isolamento com resistência térmica igual a 0,67 (m ² .K)/W para a ZB8	3 mm fator solar 0.87 (sem sombreamento)	0,60

3.2. Estratégias de eficiência energética aplicadas

Uma primeira aproximação dos custos do projeto foi realizada por meio da análise do módulo detalhado original dos projetistas, mostrando um custo para o projeto superior ao limite estipulado pela Portaria N° 532 de 23 de fevereiro de 2022 (BRASIL, 2022a). Desta forma, a metodologia proposta busca auxiliar na escolha das medidas que apresentem melhor relação do custo-benefício ao projeto. Para tanto, foi decidido analisar a incorporação de estratégias partindo do caso referência, sendo testadas uma a uma para depois poder decidir pela análise em conjunto as que apresentam melhor custo-benefício. Foram consideradas estratégias que fossem importantes para as características climáticas do local, tendo relação com a melhoria do desempenho da envoltória (paredes, cobertura e esquadrias), aumento da ventilação natural e incremento do sombreamento. A definição das estratégias levou também em consideração os critérios presentes na “Cartilha de casos otimizados” (LABEEE, SNH, MDR, 2021), para a tipologia multifamiliar e a zona bioclimática 8. A Figura 2, mostra todas as recomendações para essa zona e tipologia, indicando diretrizes geométricas e construtivas.

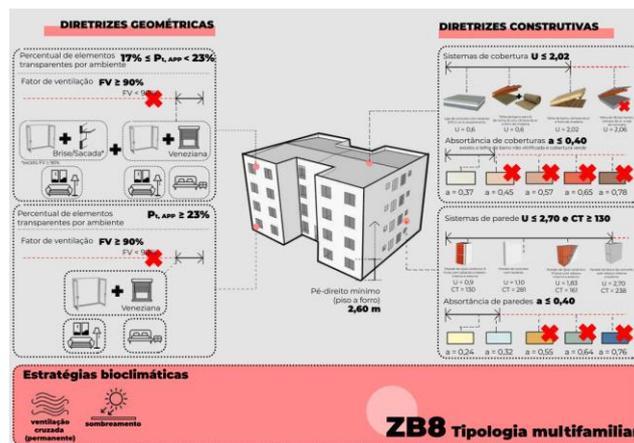


Figura 2 – Diretrizes para tipologia multifamiliar na zona bioclimática 8 conforme “Cartilha de casos otimizados” em função do custo-benefício no ciclo de vida (LABEEE, SNH, MDR, 2021).

As estratégias foram aplicadas de forma isolada conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Casos com estratégias

Caso	Descrição
Caso 0	Caso de Referência
Caso 1	Caso 0 + Cor da parede com absorptância baixa ($\alpha=0,30$)
Caso 2	Caso 0 + Cor da cobertura com absorptância baixa ($\alpha=0,30$)
Caso 3	Caso 0 + Parede limite cartilha (bloco concreto 14cm com reboco interno e externo)
Caso 4	Caso 0 + Parede do caso Real (Bloco de concreto de 19cm e de 9cm)
Caso 5	Caso 0 + Maior isolamento na cobertura (lã de rocha 5cm no lugar da manta térmica)
Caso 6	Caso 0 + Cobertura Real (simulada como sombreamento)
Caso 7	Caso 0 + Tamanho da janela real (Vidro 6mm) sem Sombreamento
Caso 8	Caso 0 + Tamanho da janela real (Vidro 6mm) + sombreamento conforme projeto
Caso 9	Caso 0 (FV ¹ 45%, Pt _{APP} ² 17%) + Sombreamento de projeto real
Caso 10	Caso 0 (janelas Pt _{APP} 17% vidro 3mm) + Fator de ventilação 0,90
Caso 11	Caso 0 + janelas FV 90 + sombreamento do projeto real

¹ FV = Fator de ventilação

² Pt_{APP} = Percentual de elementos transparentes em relação ao piso do ambiente de permanência prolongada (APP)

3.3. Análise de desempenho termo energético

Para a análise do desempenho termo energético, foi considerada a metodologia de simulação da NBR 15575-1:2021 e analisados dois dos indicadores estipulados. Conforme a norma, deve ser realizada a simulação tanto do modelo real quanto do modelo de referência considerando duas formas de operação: uma simulação com o uso exclusivo da ventilação natural e outra com uso do condicionamento de ar. Os indicadores de desempenho considerados foram o PHFT (Percentual de horas numa faixa de temperatura operativa considerada em conforto) para o uso exclusivo de ventilação natural e a carga térmica anual (CG_{TT}) para o uso de condicionamento ambiental. Seguindo a metodologia da NBR 15575-1:2021, foram simuladas todas as unidades habitacionais da edificação, sendo avaliados somente os ambientes de permanência prolongada (sala integrada com a cozinha e os dois dormitórios).

3.4. Análise de custo

Inicialmente, a estrutura analítica do projeto (EAP) foi montada para auxiliar na organização dos dados. Em seguida, os levantamentos de quantitativos foram realizados com a utilização de ferramentas computacionais CAD e, também, com a transcrição simplificada da arquitetura para a ferramenta Autodesk Revit 2021. As quantidades foram então inseridas em composições de custo da base do SINAPI ou em adaptações das composições padrões para melhor representar as necessidades do projeto. Foi utilizada a ferramenta Orçafascio para facilitar a pesquisa da base de custo e organização das informações. Os custos considerados foram da base do mês de fevereiro de 2022. O custo de cada estratégia foi apresentado como o custo rateado por unidade habitacional.

3.5. Análise de custo-benefício das estratégias

Para a definição do custo-benefício das estratégias foram considerados os três indicadores normalizados, PHFT, carga térmica anual e o custo da estratégia (por unidade habitacional). Para a análise multicritério foram considerados os pesos para cada critério. Por se tratar de uma análise de custo-benefício de uma HIS, considerou-se 50% de peso para o indicador de custo e 50% para o desempenho termo energético, sendo assim 25% para cada um dos dois indicadores de desempenho (PHFT e carga térmica). Na NBR 15575:2021 os melhores casos apresentam maior PHFT e menor carga térmica em relação ao caso de referência. Para indicar as melhores estratégias de custo-benefício, foi estabelecido um *ranking*, considerando-se o valor médio entre todas as unidades habitacionais para cada caso e cada indicador. Desta forma, para cada caso foi dado um único valor. No *ranking* foi definido que quanto menor o valor do indicador, melhor é o caso considerando os três indicadores e pesos definidos. Por conta disso, no *ranking*, o PHFT foi indicado como o valor de 1 menos o PHFT obtido no caso.

4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados em função de cada uma das etapas proposta na metodologia.

4.1. Projeto e caso de referência

A partir do projeto do caso real (definido para a cidade de Olinda), foi estabelecido o caso de referência conforme metodologia da NBR 15575-1:20021. A cidade de Olinda se encontra no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil, na zona bioclimática 8, zona da ASHRAE 0A, com temperatura média anual de 25,8 °C e 1,451 mm de precipitação anual. O arquivo climático anual usado para as análises aqui apresentadas foi o INMET de 2018 de Recife, por ser a cidade mais próxima com arquivo climático disponível (Figura 3) e por conta da NBR 15575:2021 adotar na sua metodologia o uso do arquivo climático desse tipo e ano.

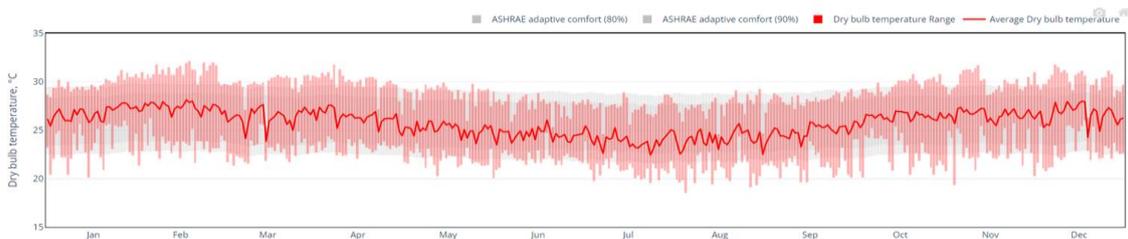
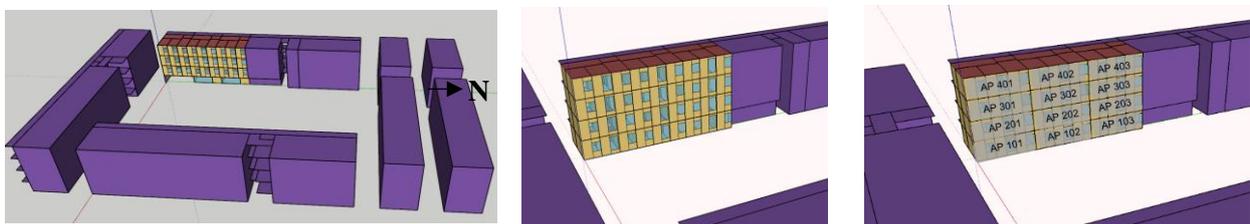


Figura 3 – Temperatura anual. Cidade de Recife. Arquivo INMET 2018. Análise no CBE Clima Tool.

No projeto proposto pelos arquitetos, considerava-se uma parcela do térreo como área comercial e o restante como pilotis (Figura 4(a)). Contudo, após avaliação inicial dos custos, foi considerado que o térreo fosse também constituído por unidades habitacionais (Figura 4(b)), evitando com isso transições estruturais, sendo esse o caso avaliado para todas as estratégias. A Figura 4 apresenta os modelos no *Energy Plus* do módulo avaliado, considerando o contexto e a identificação das unidades habitacionais (Figura 4(c)).



a) Módulo com área comercial no térreo

b) Módulo avaliado considerando unidades habitacionais no térreo

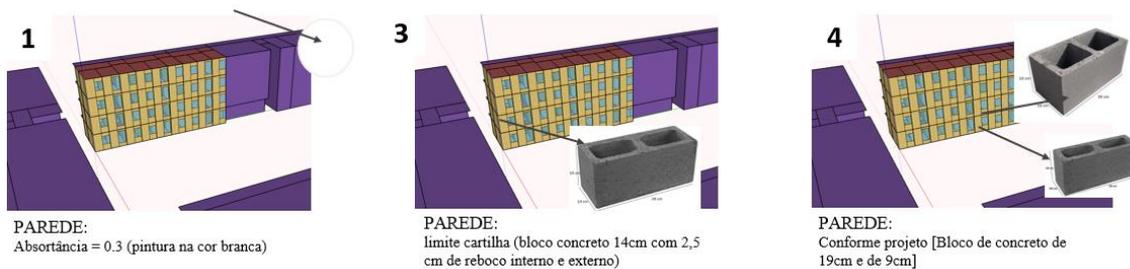
c) Identificação das unidades habitacionais

Figura 4 – Caso de referência. Modelo no Energy Plus.

4.2. Análise de desempenho termo energético dos casos avaliados

Os modelos no *Energy Plus* foram adaptados conforme necessário a cada um dos casos analisados. A Figura 5 mostra os diferentes modelos para cada uma das estratégias. A Figura 5(a) mostra os casos com estratégias relacionadas com a mudança das paredes. A Figura 5(b) apresenta os casos com estratégias em relação a

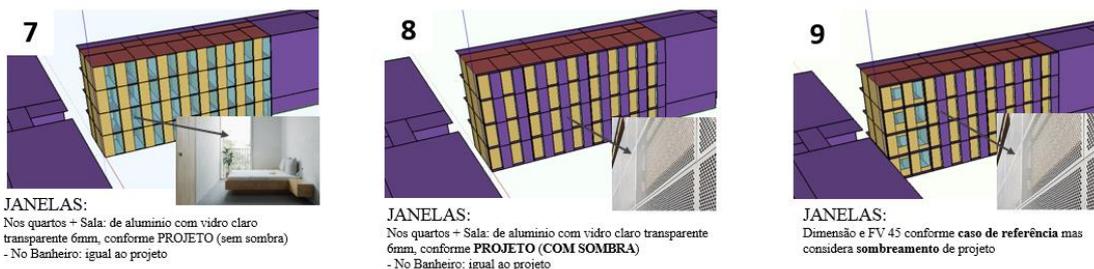
mudança na cobertura e a Figura 5(c e d) os casos que consideram estratégias para as janelas em relação ao fator de ventilação, tamanho e sombreamento e a combinação deles.



a) Casos com medidas de eficiência energética relacionadas às paredes



b) Casos com medidas de eficiência energética relacionadas às coberturas



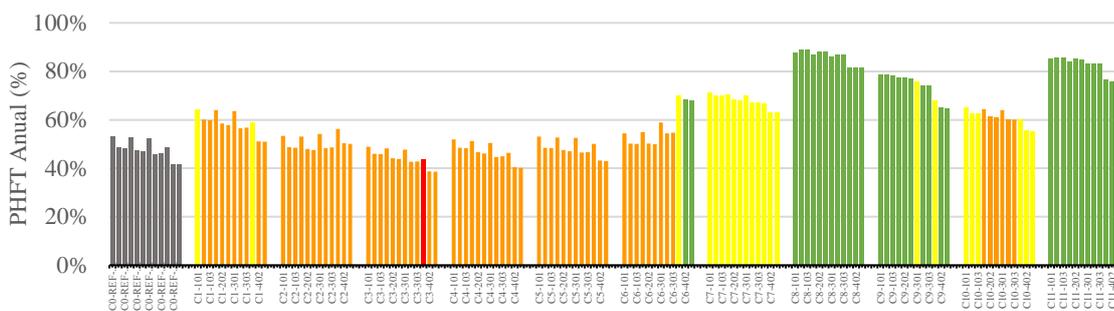
c) Casos com medidas de eficiência energética relacionadas às janelas



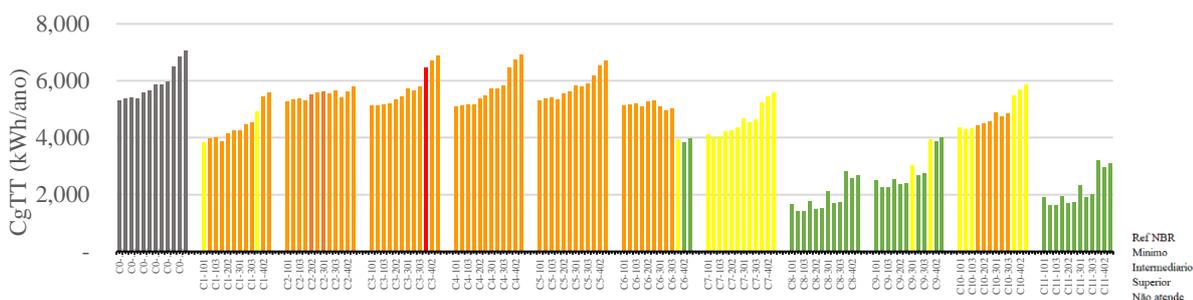
d) Casos com medidas de eficiência energética relacionadas às janelas

Figura 5 – Modelos no Energy Plus para os casos avaliados com estratégias de eficiência energética.

Os resultados dos indicadores de desempenho termo energético de cada um dos casos analisados são observados na Figura 6. Os resultados são mostrados identificando o número do caso para cada um dos 12 apartamentos com relação aos dois indicadores de desempenho (PHFT (Figura 6(a) e carga térmica (Figura 6(b)). Os resultados mostram também o nível obtido em relação à NBR 15575 – desempenho térmico para cada unidade habitacional considerando as cores laranja (nível mínimo), amarelo (nível intermediário) e verde (nível superior). A cor vermelha indica que o caso não atende ao nível mínimo da NBR e a cor cinza identifica o caso de referência.



a) Resultados para o indicador de PHFT (em %)



b) Resultados para o indicador de carga térmica (em kWh/ano)

Figura 6 – Resultados para todas as unidades habitacionais dos casos com estratégias analisadas

Os resultados mostram um melhor desempenho termo energético da edificação para os casos 8, 9 e 11. Estes são casos com medidas de eficiência energética relacionados às esquadrias. O caso 8 apresenta as seguintes variações em relação à referência: janelas maiores para a sala e dormitórios, conforme projeto proposto no concurso; vidro transparente 6mm, mantendo o fator de ventilação de 45% nas esquadrias conforme o caso de referência; e incorporação dos elementos de sombreamento do projeto proposto pelos arquitetos, formados de chapas metálicas perfuradas de correr que permitem abertura para iluminação de 100% do vão. A porcentagem de abertura considerada na simulação para os brises perfurados foi de 21% (média entre opções disponíveis encontradas no mercado). Análises de sensibilidade realizadas com diferentes percentuais de abertura para a chapa perfurada dos brises móveis mostraram que é um fator que influencia significativamente no desempenho. Pelos brises serem móveis, foram modelados como elementos de sombreamento fixos (elemento *shading* no E+), considerando o seu funcionamento atrelado ao horário de ocupação entre as 07 e 18h, sendo este outro fator que se mostrou significativo no desempenho. Esta opção foi considerada porque, ao serem móveis, apresentam essa possibilidade pelo usuário. Outras formas de uso dos brises e sua simulação devem ser exploradas em estudos posteriores. O caso 9 considera as dimensões e fator de ventilação das esquadrias conforme o caso de referência, ou seja, menores; porém, incorpora os brises propostos no projeto do concurso para a janela principal do estar e para ambos os dormitórios. Este caso apresenta a maioria dos apartamentos em nível superior, mas dois apartamentos do terceiro e quarto pavimento (301 e 401) em nível intermediário. O caso 11 considera as janelas do tamanho do caso de referência, contudo com fator de ventilação de 90% para os ambientes da sala e dormitórios e com os brises de chapa perfurada de correr propostos no projeto real do concurso nos mesmos ambientes. Para o caso 8 e o caso 11 todas as unidades apresentam nível de desempenho superior, mostrando-se a importância da maior porcentagem de ventilação associada ao sombreamento para esta zona bioclimática. Todos os apartamentos possuem ventilação cruzada por conta da sua disposição em planta e o corredor que une todos os apartamentos fornece sombreamento aos ambientes da edificação que se encontram no lado oeste. Além disso, as aberturas para a orientação oeste são menores, estando nessa fachada a cozinha e o banheiro.

4.3. Análise de custo-benefício das estratégias

A Tabela 4 mostra os valores para os três indicadores considerando a média entre todos os apartamentos, obtendo-se um único valor por caso. O custo indica o valor rateado por unidade habitacional (em R\$). Na tabela, o PHFT está indicado como o valor de 1 menos o PHFT do caso, pois o que se quer no *ranking* é que os casos com todos os valores menores sejam os que indicam um melhor custo-benefício.

Tabela 4 – Casos com indicadores

Caso No.	Valores nas unidades dos indicadores		
	1-PHFT (%)	CARGA TÉRMICA (kWh/ano)	CUSTO RATEADO POR UNIDADE HABITACIONAL (R\$)
Caso 0	0,52	5.905,92	153.808
Caso 1	0,41	4.443,29	153.754
Caso 2	0,49	5.508,73	155.189
Caso 3	0,56	5.725,43	166.953
Caso 4	0,53	5.737,32	148.922
Caso 5	0,52	5.798,86	154.612
Caso 6	0,43	4.837,81	187.145
Caso 7	0,32	4.594,45	163.966
Caso 8	0,14	1.908,04	177.274
Caso 9	0,26	2.883,89	167.117
Caso 10	0,39	4.836,87	156.571
Caso 11	0,18	2.172,71	169.880

A Figura 7 apresenta o *ranking* das estratégias analisadas considerando os três indicadores: PHFT, carga térmica e custo da unidade habitacional com um peso de 50% para o indicador de custo e de 50% para os indicadores de desempenho termo energético (25% para PHFT e 25% para a carga térmica). As 4 estratégias que apresentaram melhor desempenho no *ranking* foram em primeiro lugar o caso 11, em seguida e com mesma pontuação os casos 8 e 9 e no quarto lugar o caso 1. Os casos 11, 8 e 9 correspondem a estratégias com relação à ventilação e sombreamento das janelas e foram descritos mais detalhadamente na seção anterior. O caso 1 corresponde à estratégia de baixa absorvância das paredes (considerada 0,30). O caso que apresenta a pior pontuação no *ranking* é o Caso 6, que corresponde à cobertura proposta no projeto do concurso (metálica elevada com sombreamento na laje impermeabilizada) e apresenta também o maior custo como estratégia. O segundo caso com pior pontuação no *ranking* corresponde ao Caso 3 (todas as paredes em bloco de concreto de 14 cm). Essa opção é da parede com transmitância térmica limite na “Cartilha de casos otimizados” (LABEEE, SNH, MDR, 2021). A opção da parede proposta no concurso (mistura entre bloco de concreto de 19 cm e bloco de concreto de 9 cm para as paredes externas e internas - Caso 4), tem melhor pontuação no *ranking*. O caso de referência mostra também um dos piores desempenhos no *ranking* proposto. Algumas questões podem alterar a posição das estratégias. O percentual estimado nos pesos dos indicadores, a porcentagem de sombreamento determinada no brise de correr (elemento de chapa metálica), o fator de ventilação considerado com o uso dos brises de correr, que no caso das análises aqui realizadas, não teve nenhum desconto no fator de ventilação das janelas. Essas questões podem ser aprofundadas em futuras pesquisas. Contudo, observa-se a importância das estratégias relacionadas à ventilação e sombreamento da edificação na zona bioclimática 8, onde se encontra a cidade de Olinda, seguida da cor com baixa absorvância solar nas paredes da edificação. A combinação de algumas destas estratégias potencializa e melhora ainda mais o desempenho da edificação, e a proposta do *ranking* mostra o caminho de quais deveriam ser as estratégias a considerar-se em primeiro lugar no projeto para que seja considerado o potencial desempenho termo energético da edificação e o seu custo de implantação, servindo como orientação para os projetistas e políticas públicas no setor de habitação de interesse social.

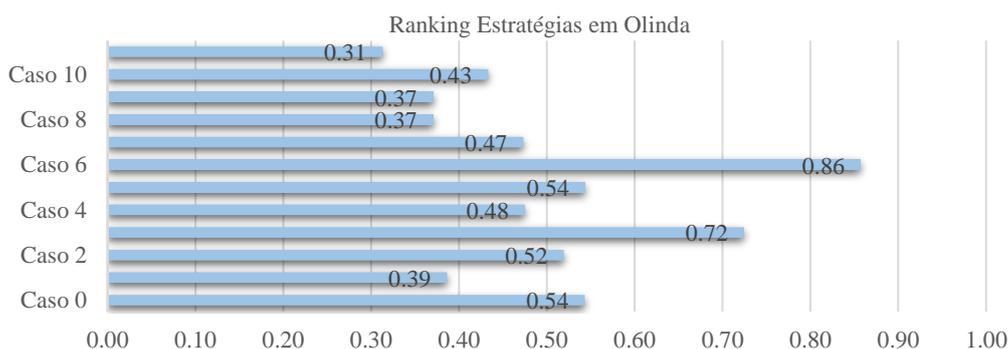


Figura 7 – Resultados para todas as unidades habitacionais dos casos com estratégias analisadas

5. CONCLUSÕES

O artigo apresentou uma metodologia para escolha de estratégias de eficiência energética com base em uma análise de custo-benefício para uma edificação multifamiliar de tipologia linear de interesse social na faixa de menor renda em Olinda, zona bioclimática 8 no Brasil. No método, foi tomado como ponto de partida as características do caso de referência da NBR 15575:2021 comparando-se o desempenho obtido com a incorporação de estratégias de eficiência energética de forma individual em relação a três indicadores: o PHFT (Percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa considerada em conforto), a carga térmica anual e o seu custo incremental, por meio de uma análise multicritério, resultando em um *ranking* que permite a escolha das estratégias com melhor custo-benefício. Os resultados mostraram em especial a importância do sombreamento e elevado fator de ventilação, além da baixa absorvância solar das paredes como estratégias com melhor relação de custo-benefício para a cidade de Olinda na tipologia multifamiliar linear. A metodologia proposta contribui na tomada de decisão de projetistas e para as políticas públicas com relação à melhoria do desempenho termo energético de HIS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1-1:2021 Errata 1:2021**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1-1: Base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. Rio de Janeiro, 2021.
- ARCHDAILY. Resultado do concurso nacional de Habitação de Interesse Sustentável. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/963045/resultado-do-concurso-nacional-de-habitacao-de-interesse-sustentavel>>, 2021.
- BENINCÁ, L.; CRESPO, E.; PASSUELLO, A.; LEITZKE, R.K.; DA CUNHA E. G.; BARROSO, J.M.G. Multi-objective optimization of the solar orientation of two residential multifamily buildings in south Brazil. **Energy & Buildings**, v. 285, p.112838, 2023.
- BRASIL; MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Portaria Nº 532**, de 23 de Fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-532-de-23-de-fevereiro-de-2022-382404602>>. 2022a.
- BRASIL; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Notícias**: Em Olinda (PE), Governo Federal autoriza construção de protótipo de habitação social. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/em-olinda-pe-governo-federal-autoriza-construcao-de-prototipo-de-habitacao-social>>. 2022b.
- CRISTINO, T. M.; FARIA NETO, A.; WURTZ, F.; DELINCHANT, B. Barriers to the adoption of energy-efficient technologies in the building sector: A survey of Brazil. **Energy and Buildings**, v. 252, p. 111452, 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2021 ano 2020**. p. 292, Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>, 2021.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil. 2021** - Dados referentes ao período de 2016-2019. Disponível em: <<http://fjp.mg.gov.br/>>. 2021.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; GRANJA, A. D. The concept of desired value as a stimulus for change in social housing in Brazil. **Habitat International**, v. 35, n. 3, p. 435–446, 2011.
- LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES; SNH - SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO; MDR - MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Cartilha de casos otimizados**. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/node/980>>. 2021.
- LAMBERTS, R.; MELO, A. P.; TRIANA, M. A.; MACHADO, R. M. e S.; KAMIMURA, A.M.; BRACHT, M.K. **Produto 5** – Tarefa VII - **Análise de custo/benefício de parâmetros de EE em HIS**. Projeto Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em Habitações de Interesse Social. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/node/980>>, 2021.
- SIMÕES, G. M. F.; LEDER, S. M. Energy poverty: The paradox between low income and increasing household energy consumption in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 268, 2022.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v. 158, 2018.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Sustainable energy performance in Brazilian social housing : A proposal for a sustainability index in the energy life cycle considering climate change. **Energy & Buildings**, v. 242, p. 110845, 2021.
- TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; GONÇALVES SOARES, J. C. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, n. February, p. 213–227, 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SNH – Secretaria Nacional de Habitação e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio para a realização do projeto.