XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Custo inicial e benefícios no ciclo de vida de habitações multifamiliares de interesse social energeticamente eficientes

Initial cost and life cycle benefits for energy efficient multifamily social housing

Maria Andrea Triana
LabEEE/ UFSC | Florianópolis | Brasil | andrea.triana@posgrad.ufsc.br
Roberto Lamberts
LabEEE/ UFSC | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br
Ana Paula Melo
LabEEE/ UFSC | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br
Fernanda Marchiori
UFSC | Florianópolis | Brasil | fernanda.marchiori@ufsc.br

Resumo

O objetivo é mostrar o aumento no preço total inicial e benefícios no desempenho termoenergetico no ciclo de vida de casos otimizados com eficiência energética para uma edificação multifamiliar de HIS em três cidades e zonas bioclimáticas no Brasil. Foram determinados custos iniciais, operacional e benefícios comparados a um caso típico de HIS. Resultados mostraram o custo do kWh economizado (R$/kWh) em 50 anos, sendo para Florianópolis (ZB3) 0,69, Itumbiara (ZB6) 0,26 e São Luís do Maranhão (ZB8) de 0,34 evidenciando potencial de incorporação de estratégias de eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência energética. HIS. Ciclo de vida. Custo. Desempenho térmico.

Abstract

The main goal is to show increase in total initial price and benefits in thermoenergetic performance in the life cycle of optimized energy efficiency cases for a multifamily building of social housing in three cities and bioclimatic zones in Brazil. Initial and operational costs and benefits were determined compared to a typical building. Results showed the cost of kWh (R$/kWh) saved in 50 years, being 0,69 for Florianópolis (ZB3), Itumbiara (ZB6) 0.26 and São Luís do Maranhão (ZB8) 0.34, showing potential for incorporating energy efficiency strategies.

Keywords: Energy efficiency. Social housing. Life cycle. Cost. Thermal performance.

Como citar:
TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.; MELO, A.P.; MARCHIORI,F. Custo e benefícios no ciclo de vida de habitações multifamiliares de interesse social energeticamente eficientes. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

INTRODUÇÃO

Habitações de interesse social (HIS) vêm sendo contratadas de forma geral no Brasil em função do seu menor custo inicial e não do seu comportamento no ciclo de vida ou conforto dos usuários, resultando em geral em projetos com baixo desempenho termoenergético [1][2][3]. Entretanto, a Norma de desempenho térmico no Brasil, NBR 15575 [4] determina a vida útil das edificações estimada em mínimo 50 anos e coloca a necessidade do desempenho térmico diferenciado considerando requisitos específicos para as 8 zonas bioclimáticas (ZB) do país determinadas pela NBR 15220-3.

Com relação ao desempenho térmico e eficiência energética de edificações alguns autores [5][6] colocam a importância das decisões de projeto nas etapas iniciais considerando tanto o desempenho em longo prazo quanto as mudanças climáticas. A pesquisa de [7] propôs um índice de sustentabilidade para avaliação de estratégias de eficiência energética em HIS no Brasil que incluía indicadores de consumo energético, desempenho térmico, custo e emissões de CO_2 no contexto do ciclo de vida e considerando mudanças climáticas. Na mesma linha, o projeto desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) para a Secretaria Nacional de Habitação (SNH), com apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ) "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS" [8], teve como objetivo estabelecer diretrizes para HIS energeticamente eficientes no Brasil a partir de determinar casos otimizados em função de um alto desempenho termoenergético conforme à NBR 15575 e menor custo no ciclo de vida. Foram levantados custos e benefícios da aplicação de 43 medidas de eficiência energética na envoltória de três protótipos representativos de HIS, a casa unifamiliar, casa geminada e edifício multifamiliar em H[1], considerando as 8 ZBs no Brasil, por meio das cidades representativas consideradas no método de simulação para desempenho térmico da NBR 15575. No estudo, os custos iniciais com incorporação das medidas referem-se ao aumento somente do custo[2] da envoltória das edificações em relação ao caso de referência da NBR 15575, que influencia no desempenho termoenergético. Para políticas públicas, é importante o entendimento do aumento do preço[3] inicial em relação ao total das habitações relacionado com benefícios na operação, com destaque para as edificações multifamiliares por considerar o amplo potencial de expansão no país. Para tanto, o objetivo do artigo é mostrar o aumento no preço total das edificações multifamiliares para os casos otimizados com menor custo inicial determinados no projeto "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS" na ZB3, ZB6 e ZB8 com foco no preço incremental e benefícios em 50 anos de vida útil.

[1] Chamar-se-á, ao longo do texto, de "Projeto "H" o projeto tradicionalmente executado em edificações do tipo HIS multifamiliar, cuja projeção do andar tipo da edificação tem formato de um "H".

[2] No estudo de [8][10] custo inicial da envoltória considera materiais e mão de obra (sem BDI) e incluiu desperdício além do SINAPI e transporte de alguns materiais.

[3] Considerando-se preço igual a custo mais BDI.

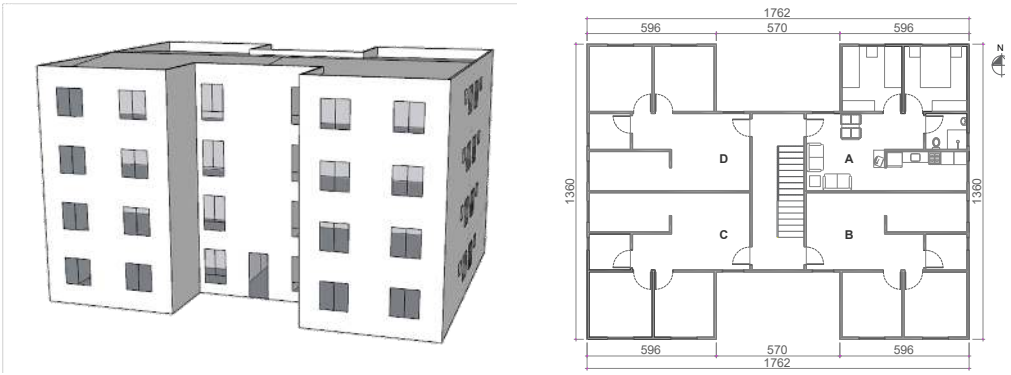
MÉTODO

O método previu o levantamento do preço inicial total do Projeto H definido por [2], relacionando-o ao custo definido na envoltória nos casos otimizados com aplicação de estratégias de eficiência energética conforme [9][10], com foco nos casos otimizados com menor custo inicial. O estudo foi realizado para três cidades representativas de três zonas bioclimáticas no Brasil conforme a NBR 15575 [11], com características climáticas diferenciadas: Florianópolis (ZB3), Itumbiara (ZB6) e São Luís do Maranhão (ZB8).

PROJETO REPRESENTATIVO DE EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

O Projeto H para habitações de menor renda foi definido por [2] com sua volumetria e planta baixa do pavimento tipo (Figura 1). O apartamento tipo tem 43,07 m^2 de área útil e pé direito de 2,50m. O método de simulação da NBR 15575 [11] determina a necessidade de uma edificação de referência e um modelo real que devem ser avaliados com duas formas de operação: uso exclusivo da ventilação natural e uso de condicionamento artificial. O projeto definido por [2] foi adaptado conforme o modelo de referência requerido pela norma [12] considerando percentual de elementos transparentes em relação ao piso para ambientes de longa permanência de 17% ($P_{t\ APP)}$ e uso de materiais conforme referência da NBR 15575 [11]. Paredes em concreto de 10 cm com transmitância térmica (U) de 4,4 W/m²K, cobertura (U de 2,06 W/m²K) em telha de fibrocimento com câmara de ar e forro de laje em concreto em 10 cm. A absortância solar para paredes e coberturas de 0,6 e vidros com 3 mm, fator solar 0.87, sem sombreamento. Para a ZB8 considera sobre a laje da cobertura isolamento com resistência térmica igual a 0,67 (m².K)/W.

Figura 1: "Projeto H" representativo para baixa renda. Volume 3D e planta baixa pavimento tipo



Fonte: Adaptado de [2]

PREÇO TOTAL INICIAL DO PROJETO REPRESENTATIVO

O projeto representativo definido por [2] apresentava características dos componentes e materiais somente da envoltória, sem detalhamento nem consideração de sistemas e instalações, ou outros custos associados inerentes à construção. Para tanto foi realizado um orçamento da edificação referência, com custos diretos e custos indiretos considerando as cidades de Florianópolis, Itumbiara e São Luís do Maranhão. Os custos diretos calculados a partir dos quantitativos de

serviço levantados nos projetos, levando-se em conta as composições unitárias do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) para cada cidade, tendo como data-base outubro de 2020. SINAPI trabalha com custos diferenciados por Estado. Foi considerada também a parcela referente ao Benefício e Despesas Indiretas (BDI), sendo adotado o valor de 22,12%, que é o BDI médio obtido no Acordão 2.622/2013 do Tribunal de Contas da União [13]. Os custos foram mostrados tanto somente o custo direto quanto o preço final (considerando tal BDI), para cada cidade.

ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CASOS OTIMIZADOS

O estudo aqui considerado [14] avaliou 43 estratégias relacionadas à melhoria do desempenho térmoenergético da envoltória relacionadas à redução da radiação direta no verão, (beiral/sacada e/ou uso de venezianas nas esquadrias externas); redução do efeito de ilha de calor, (telhado verde extensivo); aumento da ventilação (diferentes fatores de ventilação e tamanho das esquadrias, e uso do peitoril ventilado); e desempenho térmico dos componentes da envoltória (diferentes componentes de paredes e cobertura), além de considerar o contexto como sombreamento representado por edificações da vizinhança.

Os casos com estratégias de eficiência energética considerados otimizados foram obtidos com indicadores de desempenho térmico e custo. Para desempenho térmico dois dos indicadores anuais presentes na NBR 15575 [11], o PHFT – percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa, define a parcela de tempo em que a edificação se encontra dentro de uma faixa de temperaturas operativas aceitáveis de acordo com a zona bioclimática, com funcionamento exclusivo com ventilação natural; e a carga térmica anual para aquecimento e refrigeração (considera operação com condicionamento artificial). Também foram adotados como indicadores, o menor custo operacional anual, derivado da carga térmica anual convertida em consumo e aplicando tarifas de energia elétrica conforme a cidade, o menor custo inicial, e o menor custo no ciclo de vida, com as quatro etapas previstas, considerando inicial, manutenção e desconstrução, somente dos componentes da envoltória, e a operacional. O valor presente líquido – VPL para 50 anos, foi adotado nas últimas 3 etapas. Para os casos otimizados foram avaliados todos os casos com estratégias de eficiência energética comparando com o caso de referência da NBR 15575. Posteriormente foram selecionados os casos com desempenho superior na NBR 15575 e entre eles, os de custo no ciclo de vida similar ou inferior ao caso de referência. Assim, foram selecionados os casos com menor custo inicial, em torno de 10 por zona bioclimática, sendo considerados casos otimizados. Os relatórios [9] e [10] explicam em profundidade o método usado.

PREÇO INCREMENTAL DOS CASOS OTIMIZADOS

No caso de referência na tipologia para as três zonas bioclimáticas, foi comparado o custo inicial levantado da envoltória, com o preço total da edificação e estimada a % correspondente à envoltória. Para o custo da envoltória dos casos otimizados foi incorporado o BDI e retirados custos com transporte e desperdício, considerando

somente o desperdício presente no SINAPI, para ficar na mesma base de comparação do preço do caso de referência. Os valores de incremento chamados de mínimo e máximo dos casos otimizados, referem-se aos casos otimizados com menor e maior custo inicial incremental (da envoltória conforme [10]) respectivamente em comparação ao preço total da edificação. Os resultados são mostrados por tipologia e cidade. Posteriormente são mostrados os resultados dos casos com menor custo inicial, considerando seu preço, benefícios e o custo do kWh economizado em 50 anos que considera o preço incremental na unidade habitacional em R$ dividido pela economia no consumo energético em kWh em 50 anos.

RESULTADOS

Os resultados consideram o preço total do projeto referência e os casos otimizados com eficiência energética em relação aos benefícios obtidos e seu custo incremental.

PREÇO TOTAL DO PROJETO REPRESENTATIVO

A Tabela 1 mostra o preço total para o projeto representativo considerando as características do modelo de referência da NBR 15575 [11] nas cidades. Os preços são mostrados por unidade habitacional e no total da edificação que se compõe de 16 unidades habitacionais. O preço da unidade habitacional estimado em outubro de 2020, foi R$ 89.621,16 (Florianópolis), R$ 75.981,53 (Itumbiara) e R$ 76.076,43 (São Luís do Maranhão). O preço total inclui os custos diretos mais o BDI considerado de 22,12%.

Tabela 1: Custo total para o projeto de referência multifamiliar em H

Zona bioclimática	Cidade representativa	Custos diretos (R$)	Custos indiretos + lucro (BDI = 22,12%) (R$)	Preço (R$) (Custos diretos + BDI) (R$)	Preço por unidade habitacional (R$/un habit)
ZB3	Florianópolis, SC	1.174.367,26	259.571,38	1.433.938,64	89.621,16
ZB6	Itumbiara, GO	995.610,27	220.094,23	1.215.704,50	75.981,53
ZB8	São Luís do Maranhão, MA	996.876,91	220.346,03	1.217.222,94	76.076,43

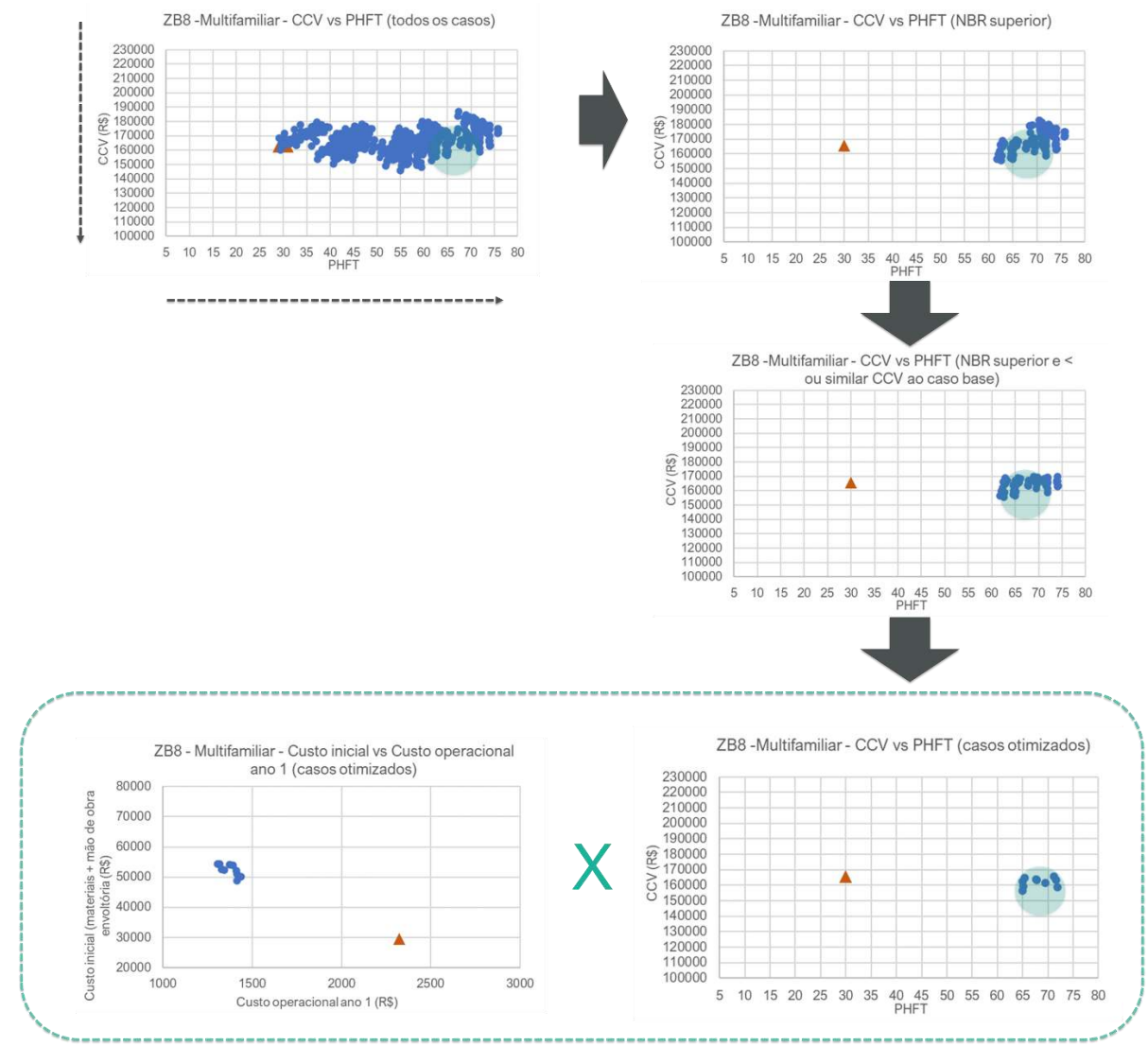
Considera valores de outubro de 2020. Fonte: Os Autores (2020)

CASOS OTIMIZADOS COM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Figura 2 mostra para o caso da ZB8 como foram selecionados os casos otimizados, considerando os quatro indicadores conforme [10]. Na imagem superior à esquerda se observam todos os casos com estratégias de eficiência energética avaliados (azul) junto ao caso de referência (vermelho) para o indicador de custo no ciclo de vida (R$) e PHFT (%). Maior PHFT e menor custo no ciclo de vida, significa melhor desempenho em relação ao custo-benefício (custo aqui referido somente à envoltória). A imagem superior à direita mostra os casos com desempenho superior na NBR 15575 e o caso de referência nos mesmos indicadores. A imagem no centro à direita mostra os casos com desempenho superior na NBR e custo no ciclo de vida menor ou similar ao caso

de referência. Observa-se alguns casos com estratégias de eficiência energética com custo no ciclo de vida inferior ao caso de referência. A imagem abaixo e à direita mostra os casos escolhidos como otimizados frente aos mesmos indicadores, alcançando PHFT entre 65% a 71%, enquanto no caso de referência é de 30%. Os casos otimizados tiveram custo no ciclo de vida similar e inclusive inferior em até 5% quando comparados ao caso de referência. A figura abaixo e à esquerda mostra os casos otimizados e caso de referência em função do custo inicial e custo operacional no ano 1. Observa-se aumento entre 65% e 84% no custo inicial da envoltória em relação ao caso de referência com redução no custo operacional de até 43%.

Figura 2: Seleção dos casos otimizados na ZB 8

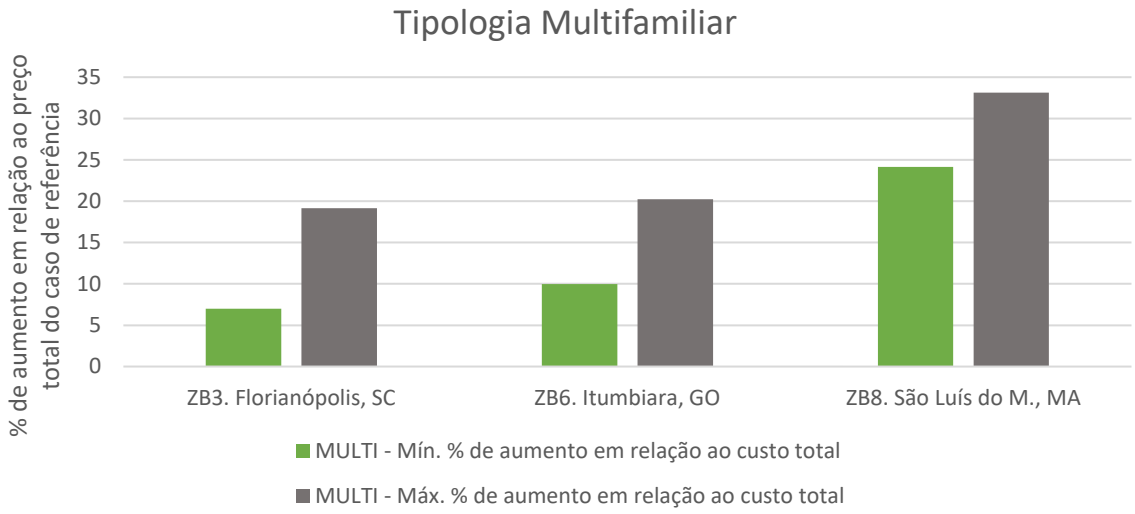


Fonte: Com base em [10]

A Figura 3 mostra o incremento em porcentagem dos casos otimizados com menor custo (barra verde) e maior custo (barra cinza) inicial para as três cidades, mas desta vez considerando o aumento já em relação ao preço total da edificação. Os valores mostrados consideram a unidade habitacional. Os resultados do incremento para os casos otimizados nas zonas bioclimáticas 3 e 6 têm um comportamento similar, tendo os casos otimizados com menor custo aumento ao redor de 7 a 10% enquanto os casos

otimizados com maior custo aumento em torno de 20%. Para a ZB8, se encontram os mais altos valores de incremento, chegando a 24% para o caso otimizado com menor custo e 33% para o caso otimizado com maior custo. Os resultados evidenciam diferença entre as zonas bioclimáticas, que deveriam ser consideradas nas políticas públicas habitacionais.

Figura 3: Porcentagem de aumento em relação ao custo total da unidade habitacional para os casos otimizados com menor e maior custo inicial



Fonte: Os Autores (2022)

CUSTO INCREMENTAL DOS CASOS OTIMIZADOS

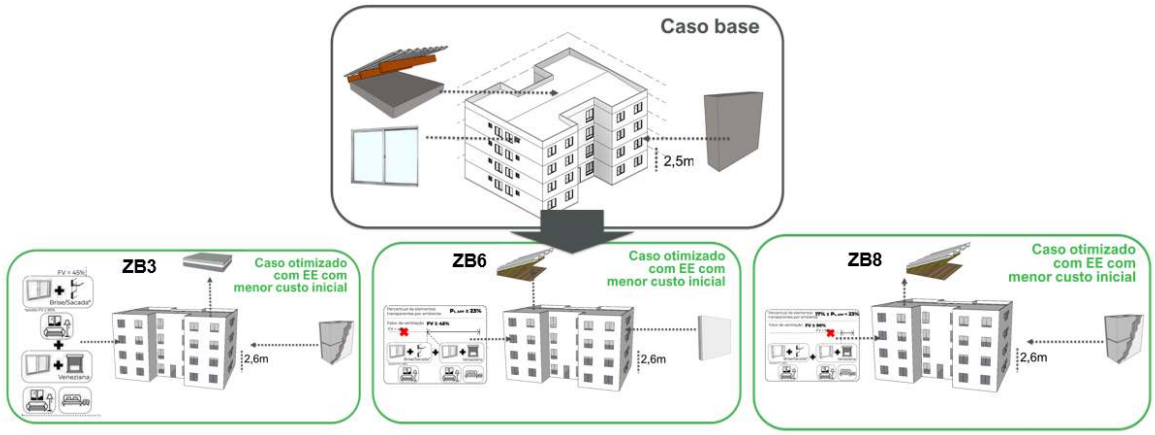
Na ZB3 o caso otimizado com menor custo inicial apresenta uma parede com transmitância térmica (U) de 2,70 W/m^{2}K e capacidade térmica (CT) de 238 kJ/m^{2}K, cobertura com U de 0,60 W/m^{2}K, CT de 360 kJ/m^{2}K e absortância solar de 0,50, porcentagem de elementos transparentes de 17%, fator de ventilação de 45%, brise ou sacada no estar com venezianas nos quartos e estar.

Para a ZB6, o caso otimizado com menor custo inicial mostra uma parede com U de 1,10 W/m^{2}K e CT de 281 kJ/m^{2}K, cobertura com U de 0,70 W/m^{2}K, CT de 19 kJ/m^{2}K e absortância solar 0,3 (cor branca), porcentagem de elementos transparentes de 23%, fator de ventilação de 45%, brise ou sacada no estar com venezianas nos quartos e estar.

E na ZB8, o caso otimizado com menor custo inicial apresenta paredes com U de 2,70 W/m^{2}K e CT de 238 kJ/m^{2}K, cobertura com U de 0,70 W/m^{2}K, CT de 19 kJ/m^{2}K e absortância solar 0,3 e porcentagem de elementos transparentes de 17% com fator de ventilação de 90%, com brise ou sacada no estar e veneziana no quarto e estar.

Todos os casos otimizados possuem absortância solar para as paredes externas de 0,60 e pé-direito de 2,60m. A Figura 4 mostra os componentes dos casos otimizados com menor custo inicial. De forma geral, o aumento no custo total da unidade é devido ao aumento do pé direito, à mudança das paredes, mudança da cobertura e sombreamento das esquadrias, com diferenças por cidade.

Figura 4: Componentes construtivos do caso de referência e caso otimizado com menor custo inicial



	pé direito	Paredes	Cobertura	Esquadrias	NBR superior
caso base	2,50m	Concreto 10 cm (externas e internas)	Telha de fibrocimento com câmara de ar e forro de laje em concreto em 10 cm	Porcentagem de elementos transparentes (17%) – Fator de ventilação de 45% – sem veneziana	não
ZB3 – Otimizado	2,60m	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Par. ext+ int.)	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	Porcentagem de elementos transparentes (17%) – Fator de ventilação de 45% brise/sacada no estar com veneziana nos quartos + estar	sim
ZB6 - Otimizado	2,60m	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm+reboco ext.2cm (Par. ext) e parede em concreto 10 cm (internas)	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	Porcentagem de elementos transparentes (23%) – Fator de ventilação de 45% – brise/sacada no estar com veneziana nos quartos + estar	sim
ZB8 = Otimizado	2,60m	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Par. ext+ int.)	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	Porcentagem de elementos transparentes (17%) – Fator de ventilação de 90% – brise/sacada no estar com veneziana nos quartos + estar	sim

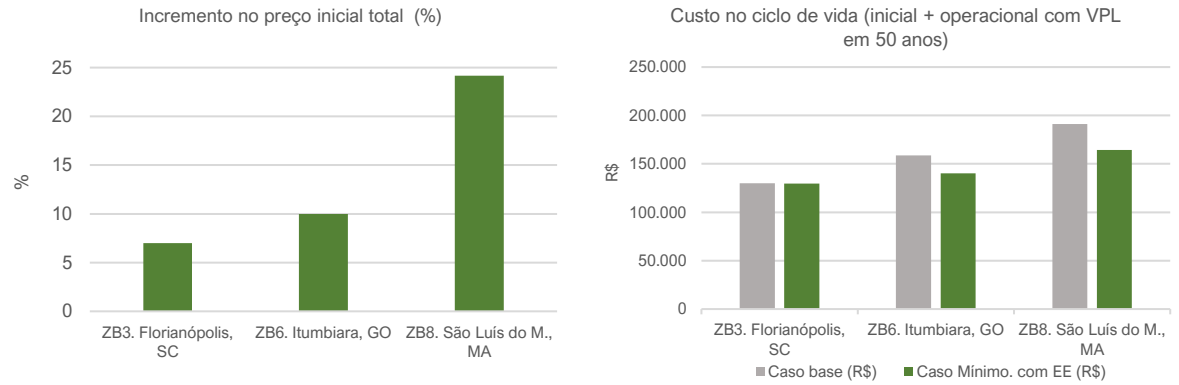
Fonte: Com base em [10]

Os casos otimizados com menor custo inicial representaram um incremento no preço total inicial estimado da habitação de 7% (Florianópolis), 10% (Itumbiara) e 24 % (São Luís do Maranhão).

Isto significou passar do valor inicial da unidade habitacional de R$ 89.621,16 para R$ 95.878,54 (Florianópolis), de R$ 75.981, 53 para R$ 83.572,29 (Itumbiara) e de R$ 76.076,43 para 94.455,38 (São Luís do Maranhão).

Considerando o custo em 50 anos (somente preço inicial + operacional) o caso o caso de referência em Florianópolis apresenta o valor de R$130.114,88 enquanto o otimizado é R$129.688,14. Para Itumbiara e São Luís do Maranhão, os casos otimizados mostram valores menores ainda do que a referência. Para Itumbiara passa de R$158.682,42 para R$140.317,21 e para São Luís do Maranhão passa de R$ 191.190,67 para R$ 164.535,03 (Figura 5).

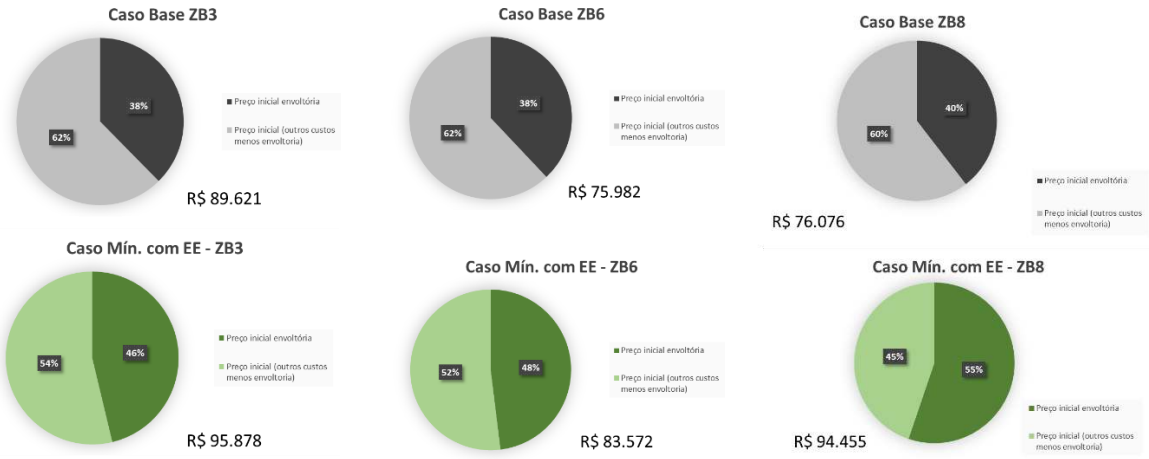
Figura 5: Incremento no preço inicial total da unidade habitacional e custo em 50 anos (preço inicial + custo operacional) para os casos de referência e casos otimizados com menor custo inicial



Fonte: Os Autores (2022)

No caso de referência os componentes da envoltória representam para a ZB3, 38% do preço total de R$ 89.621 estimados para a unidade habitacional, para a ZB6, 38% e para a ZB8, 40%. Já nos casos otimizados com menor custo inicial, o preço com os componentes da envoltória representa 46% na ZB3, 48% na ZB6 e 55% na ZB8 (Figura 6).

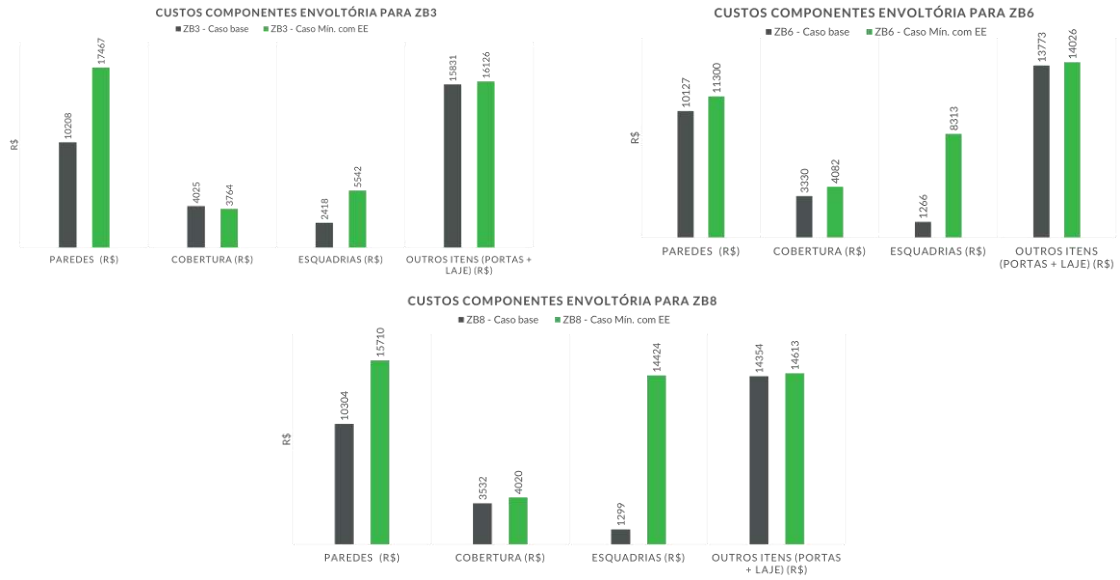
Figura 6: Porcentagem do preço dos componentes da envoltória no preço final do caso de referência e caso otimizado com menor custo inicial



Fonte: Os Autores (2022)

Com base em [10] mostram-se alguns resultados. Comparando o custo dos componentes, o maior incremento para o caso otimizado com menor custo inicial, em relação ao caso de referência se observa em todas as zonas bioclimáticas nas esquadrias. Na ZB3 o aumento corresponde a 129%, na ZB6 a 556% enquanto na ZB8 é o maior aumento, estimado em 1.010% a mais do que o caso referência. Em segundo lugar se destacam as paredes na ZB3 e ZB8 com 71% e 52% de aumento respectivamente (Figura 7).

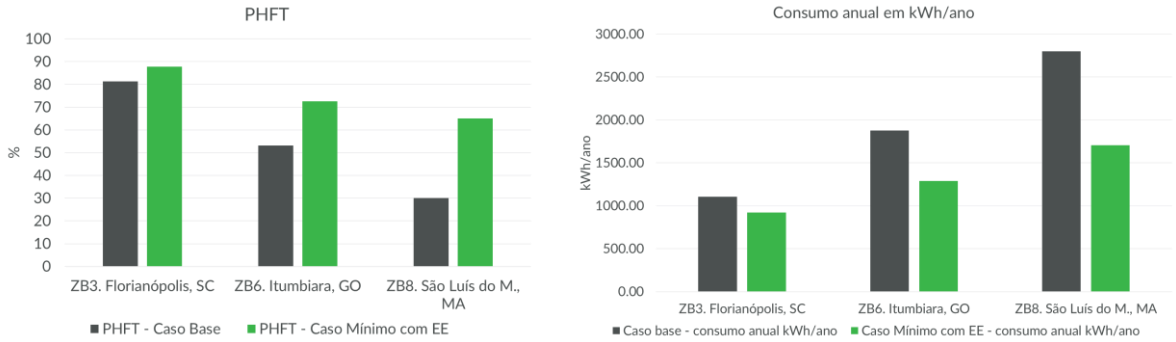
Figura 7: Custos dos componentes da envoltória para caso de referência e caso otimizado com menor custo inicial



Fonte: Com base em [10]

Com relação aos benefícios obtidos no caso otimizado com menor custo inicial frente ao caso de referência, cabe destacar o aumento considerável do PHFT em especial para as zonas 6 e 8 e a redução no consumo operacional previsto do uso de condicionamento ambiental. No caso otimizado com menor custo inicial, a redução no consumo anual em kWh/ano na ZB3 foi de 16,51%, na ZB6 de 31,19% e na ZB8 de 39,12%. O consumo anual considera consumo de energia elétrica operacional com condicionamento ambiental previsto, iluminação e equipamentos. O PHFT entre o caso de referência e o caso otimizado com menor custo inicial passou de 81% a 88% (Florianópolis), de 53% para 72% (Itumbiara) e de 30% para 65% (São Luís do Maranhão). A Figura 8 mostra os resultados para PHFT e consumo energético anual nas três cidades.

Figura 8: Resultados para PHFT e consumo anual de energia elétrica para o caso de referência e caso otimizado com menor custo inicial

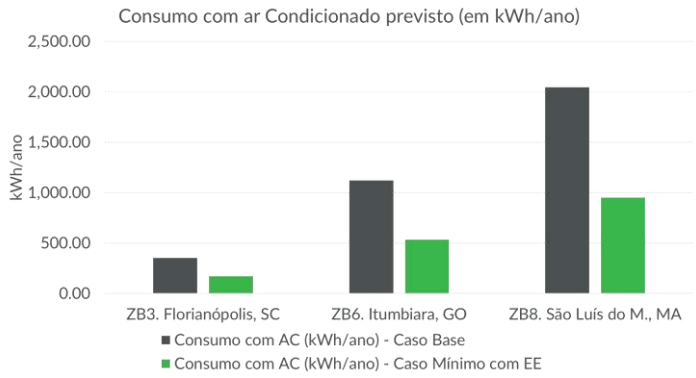


Fonte: Com base em [10]

A Figura 9 mostra o consumo estimado somente com condicionamento ambiental para as três cidades comparando o caso de referência com o caso otimizado com menor custo inicial. Para Florianópolis o consumo passa de 351 kWh/ano com o caso de referência para 169 kWh/ano. Para Itumbiara de 1.122 kWh/ano para 533 kwh/ano e

para São Luís do Maranhão passa de 2.046 kWh/ano no caso de referência para 951 kWh/ano no caso otimizado com menor custo inicial. Significa uma economia em 50 anos de 9.115 kWh para o caso em Florianópolis, de 29.432 kWh em Itumbiara e de 54.757 kWh em São Luís do Maranhão.

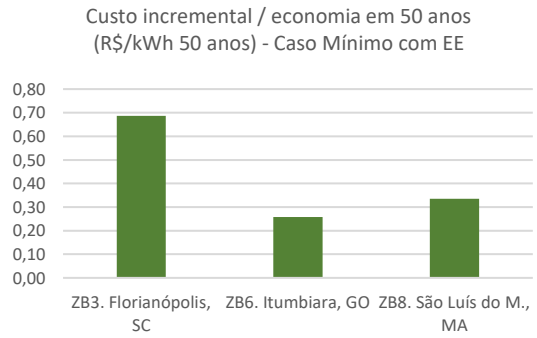
Figura 9: Consumo estimado anual com ar-condicionado no caso de referência e caso otimizado com menor custo inicial



Fonte: Com base em [10]

Finalmente, calculou-se o custo do kWh economizado, que relaciona o incremento do preço inicial com a economia no custo operacional em 50 anos mostrando viabilidade para projetos energeticamente mais eficientes, sendo maior em Itumbiara e São Luís do Maranhão. Para o caso otimizado com menor custo inicial em Florianópolis o custo do kWh economizado é de 0,69 enquanto para o caso em Itumbiara é de 0,26 e para o caso em São Luís do Maranhão de 0,34 (Figura 10).

Figura 10: Custo do kWh economizado considerando 50 anos para o caso de referência e caso otimizado com menor custo inicial

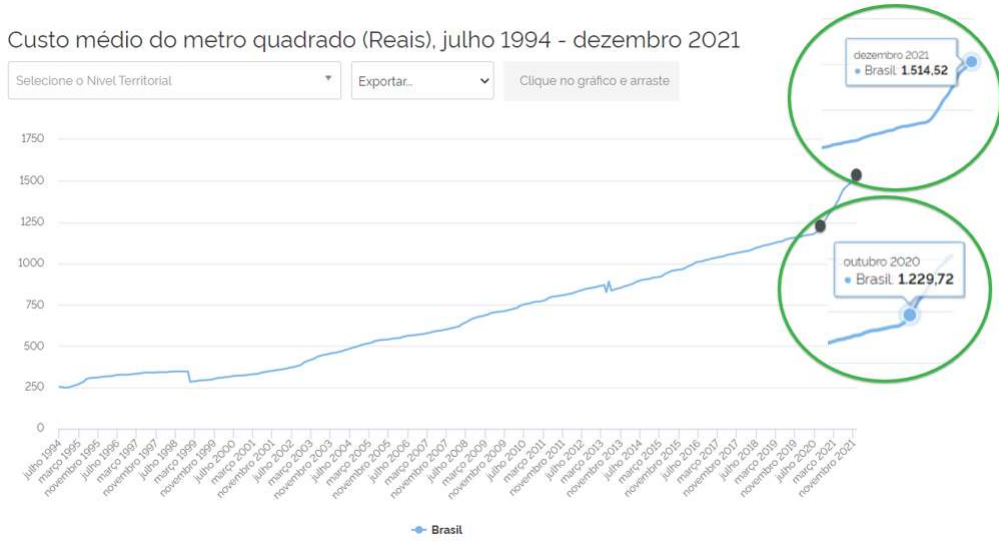


Custo incremental/ economia em 50 anos (R$/kWh 50 anos) (1)/(2) para Caso Mínimo com EE		
Incremento no custo inicial total (R$) (1)	kWh/ano economizado em 50 anos (kWh/50 anos) com Caso Mínimo com EE (2)	Caso Mínimo. com EE (1)/(2)
6.257,38	9.115,58	0,69
7.590,76	29.431,97	0,26
18.378,95	54.757,07	0,34

Fonte: Os Autores (2022)

Os valores apresentados são de outubro de 2020, sendo importante considerar o aumento do preço dos materiais e serviços da construção, principalmente em função da pandemia do Covid 19. O aumento na base do SINAPI entre outubro de 2020 a dezembro de 2021 foi 23% (Figura 11). Sendo, são mais importantes as porcentagens mostradas do que valores absolutos, os quais, caso necessário, podem ser ajustados pelo aumento observado.

Figura 11: Variação SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil entre 10/2020 e 12/2021.



Fonte: Os Autores (2022)

Igualmente devem ser consideradas possíveis mudanças em tarifas de energia e as mudanças climáticas que influenciam diretamente no desempenho termoenergético da edificação, com o qual benefícios da incorporação de estratégias de eficiência energética podem ser potencializados.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram alto potencial com estratégias de eficiência energética em projetos de HIS multifamiliar ao considerar a vida útil para análise do custo e benefício. Os preços por unidade habitacional para o "Projeto H", considerando o modelo de referência da NBR 15575 e outubro 2020 nas três cidades analisadas, variaram entre aproximadamente R$ 76.000 a R$ 90.000. O menor valor correspondeu à cidade de Itumbiara (ZB6) e o maior valor para o caso em Florianópolis (ZB3). Considerando os casos otimizados com eficiência energética que apresentam nível superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso de referência, o aumento do preço inicial em relação ao projeto de referência foi menor na ZB3 e ZB6, com incremento máximo perto de 20%, e maior para a ZB8 onde o incremento do caso otimizado com maior custo inicial foi 33%. Os casos otimizados com menor custo inicial (da envoltória) representaram um incremento no preço total inicial da habitação de 7% para o caso em Florianópolis (ZB3), 10% para Itumbiara (ZB6) e 24% para São Luís do Maranhão (ZB8). O incremento nos casos otimizados nessas três cidades foi devido principalmente ao aumento do pé direito de 2,50m para 2,60m, a mudança das paredes, sombreamento das esquadrias e mudança na cobertura, sendo as esquadrias o componente com maior incremento no custo. Os maiores benefícios tanto no aumento do PHFT quanto na redução do consumo operacional foram observados nas cidades de Itumbiara e São Luís do Maranhão o que foi refletido no custo do kWh economizado considerando 50 anos, que para o caso otimizado com menor custo inicial em Florianópolis representou 0,69, para o caso em Itumbiara 0,26 e para o caso

em São Luís 0,34. Os resultados mostram a importância da incorporação de estratégias de eficiência energética e o potencial de viabilidade nas diferentes zonas bioclimáticas, para projetos da tipologia multifamiliar H, recorrente no âmbito nacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à GIZ pelo apoio ao projeto realizado para a SNH.

REFERÊNCIAS

[1] BODACH, S.; HAMHABER, J. 2010. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, v. 38, Issue 12, p. 7898-7910, dez. 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.009

[2] TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. 2015. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. Energy and buildings, 87, p. 524-541, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041

[3] TUBELLO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOT, M.; GONÇALVES SOARES, J.C. 2018. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v.133, p. 213-227, abr. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.038

[4] ABNT. NBR 15575-1. **Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1 : Requisitos gerais**, 2013

[5] GERCEK, M.; ARSAN, Z.D. 2019. Energy and environmental performance based decision support process for early design stages of residential buildings under climate change. **Sustainable Cities and Society**, V. 48, 101580, jul. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101580

[6] GEORGIADOU, M. C.; HACKING, T.; GUTHRIE, P. 2012. A conceptual framework for future-proofing the energy performance of buildings. **Energy Policy**, v. 47, p. 145–155, ago. 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.039

[7] TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. 2021. Sustainable energy performance in Brazilian social housing: A proposal for a Sustainability Index in the energy life cycle considering climate change. **Energy and buildings**, v. 242, 110845, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110845

[8] LAMBERTS, R. et al. 2021. Projeto: "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS". **Produto 1 – Plano de trabalho: Preparação, estruturação e revisão literária**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/node/980

[9] LAMBERTS, R. et al. 2021. Projeto: "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS". Produto 4 – **Estudo de custo de implementação de melhorias**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/node/980

[10] LAMBERTS, R. et al. 2021. Projeto: "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS". **Produto 5 – Análise de custo/benefício de parâmetros de EE em HIS**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/node/980

[11] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho - Emenda**. Rio de Janeiro, 2021.

[12] LAMBERTS, R. et al. 2021. Projeto: "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS". Produto 2 – **Definição de 3 Unidades Bases Habitacionais, e Linhas de Bases Simuladas de Desempenho Térmico**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/node/980

[13] TCU. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Acórdão 2.622, de 25 de setembro de 2013. Legislativo: Plenário. Brasília, DF. **Definir faixas aceitáveis para valores de taxas de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) específicas para cada tipo de obra pública**. Brasília, DF.

[14] LAMBERTS, R. et al. 2021. Projeto: "Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS". Produto 3 – **Aplicação de parâmetros relevantes a eficiência energética nas 3 "unidades-base" e estudo paramétrico de desempenho térmico e energético**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/node/980