

## Impactos energéticos e econômicos de medidas de eficiência energética em projetos de HIS

María Andrea Triana Montes

*Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis (SC), Brasil*  
[andrea@labeee.ufsc.br](mailto:andrea@labeee.ufsc.br)

Roberto Lamberts

*Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, Brasil*  
[roberto.lamberts@ufsc.br](mailto:roberto.lamberts@ufsc.br)

Paola Sassi

*Oxford Brookes University, School of Architecture, Oxford, United Kingdom*  
[p.sassi@brookes.ac.uk](mailto:p.sassi@brookes.ac.uk)

**RESUMO:** Uma utilização eficiente da energia no setor dos edifícios está sendo colocado como alvo em todo o mundo. Portanto, a avaliação de desempenho termo energético dos edifícios precisa integrar melhor critérios de sustentabilidade através de um pensamento de longo prazo. Brasil apresenta necessidade imediata de expansão de milhares de novas casas para atender o déficit habitacional, concentrado em famílias com renda entre zero a três salários mínimos. O programa Minha Casa, Minha Vida foi criado como uma forma de reduzir este déficit. Muitas casas estão sendo construídas para este programa, mas sem considerações bioclimáticas e eficiência energética, onde custos são vistos como custo inicial, sem considerar-se o ciclo de vida. Assim, o objetivo deste estudo é a análise de estratégias para melhoria da eficiência energética em projetos de habitação social, concentrados em mudanças na cobertura, considerando indicadores térmico, de consumo energético e econômico, no horizonte de 50 anos. Os resultados foram analisados considerando o potencial de redução de graus hora, uso previsto de condicionamento ambiental e as potenciais poupanças econômicas no cenário de mudanças climáticas para a cidade de São Paulo. As medidas avaliadas mostraram melhorias significativas nos cenários climáticos. Na análise econômica a maioria das alternativas analisadas se tornam viáveis já no cenário climático atual, enquanto todas ficam viáveis nos cenários de clima futuro. A aplicação do conceito do ciclo de vida e mudanças climáticas mostra-se uma ferramenta importante na avaliação de projetos com melhoria no desempenho termo energético. Estes resultados fazem parte de uma pesquisa de doutorado.

**Palavras chaves** *Habitação de interesse social, Medidas de eficiência energética, Desempenho termo energético, Análise econômica, Mudanças climáticas, Ciclo de vida.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Plano Nacional de Energia no Brasil - PNE 2030 (BRASIL, MME e EPE, 2007) mostra uma tendência de crescimento na participação da demanda de energia elétrica do setor residencial até 2030, estimado entre 24,3% e 28% da demanda total de energia elétrica. As políticas do governo no país indicam que a conservação da energia se tem tornado um item muito relevante e, no cenário atual e futuro, as habitações de interesse social apresentam-se como uma parcela importante no setor da construção. Isto, devido a sua necessidade urgente de expansão, que está concentrada nas famílias de menor renda e nas regiões Sudeste e Nordeste (BRASIL, 2011). No entanto, um dos critérios do Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV, criado para combater o déficit habitacional é a priorização de projetos para a faixa de menor renda familiar (Faixa 1) considerando o menor valor de aquisição das unidades habitacionais (BRASIL E MINICIDADES, 2011). Com isto, a inclusão de medidas de eficiência energética nos projetos de habitação de interesse social pode ser muitas vezes difícil, resultando por vezes em qualidade de construção e desempenho térmico baixo (ALMEIDA et al., 2013; LINCK et al. 2013; SILVA et al. 2013; CURCIO e DA SILVA, 2013; BODACH e HAMHABER, 2010). Assim, para Kowaltowski e Granja (2011) uma análise do custo-benefício de produtos de habitações sociais mais eficientes, se apresenta como um desafio relevante na atualidade para o país.

De outro lado, Williams et al., 2012 destacam as variações no clima ocasionadas pelas mudanças climáticas como um fator que pode ter grande influência no desempenho térmico e energético das edificações. Neste sentido, estudos para avaliação de medidas de eficiência energética nos edifícios focados em medidas de mitigação e principalmente adaptação às mudanças climáticas estão surgindo principalmente em países de clima frio e considerados com maior desenvolvimento (VAN HOOFF et al. 2014; GUPTA E GREGG, 2012; KERSHAW et al. 2011). Ainda, alguns desses estudos são focados no setor de habitações de interesse social (RODERS e STRAUB, 2014).

Para CIB e UNEP-IETC (2002) “as intervenções de habitações de interesse social buscam custos iniciais baixos por unidade entregue, com mínima consideração pelo custo no ciclo de vida da casa dada aos usuários, à comunidade e sociedade em geral” (CIB e UNEP-IETC 2002, p.30. [tradução nossa]). A análise do custo no ciclo de vida – CCV, é um método econômico de avaliação de projetos que leva em consideração todos os custos das fases do ciclo de vida da edificação, como construção, operação, manutenção e final da vida, sendo especialmente indicado para avaliação de alternativas de projeto de edifícios com diferentes opções (BSI, 2008; SCHADE, 2003). Um dos métodos mais conhecidos para aplicação do CCV é o “Valor Presente Líquido” VPL e mostra-se, segundo Schade (2003), como o mais apropriado para a indústria da construção.

Estudos como o de Griego, Krarti e Hernández-Guerrero (2012) consideraram uma análise para melhoria da eficiência energética em edifícios residenciais, relacionando melhoria no conforto térmico dos usuários com poupanças financeiras e de energia. No Brasil, até o momento não foram encontrados estudos que abordem análise de custo do ciclo de vida junto a mudanças climáticas em relação à incorporação de estratégias de eficiência energética nas habitações. Bodach e Hamhaber (2010) relacionaram uma maior eficiência energética nas habitações de interesse social com redução nas contas de energia, porém somente associando custo capital. Triana e Lamberts (2013) fizeram um estudo para a Companhia de Habitação de Santa Catarina que propunha alterações com relação a

estratégias de uso racional de energia e água para a casa padrão de 36 m<sup>2</sup> da Companhia. Para tanto, foram mostrados impactos com relação ao desempenho termo energético na operação e levantados custos iniciais das ações propostas. De outro lado, Casagrande (2013) abordou cenários de mudanças climáticas para a avaliação de uma tipologia de edifício comercial em diferentes cidades, com o intuito de avaliar o desempenho térmico no clima futuro, considerando o impacto no consumo de energia. O estudo usou dados mundiais disponíveis no centro de dados do IPCC do cenário A2 do SRES considerando os cenários climáticos de 2020, 2050 e 2080. Mais recentemente Alves et al. (2015) avaliaram o desempenho térmico de três unidades residenciais tendo em vista as previsões frente às mudanças climáticas para a cidade de São Paulo, com dados locais e o cenário RCP 8.5 do AR5 do IPCC.

Desta forma, coloca-se a necessidade de um pensamento que englobe o ciclo de vida das edificações para análise dos impactos e benefícios de ações de melhoria nos projetos considerando conceitos da sustentabilidade e mudanças climáticas. Assim, o objetivo deste artigo é analisar estratégias para melhoria do desempenho térmico e energético em um projeto representativo de habitação de interesse social considerando impactos termo energéticos e econômicos no horizonte de 50 anos frente ao cenário de mudanças climáticas para a cidade de São Paulo. As estratégias aqui apresentadas estão relacionadas à mudanças na cobertura. Este estudo é parte de uma pesquisa de doutorado.

## **2. MÉTODO**

A análise foi realizada no projeto representativo para um residencial unifamiliar da Faixa 1 determinado por Triana et al. (2015). No método foram realizadas as etapas de: preparação de arquivos climáticos futuros; levantamento dos dados para a simulação termo energética e levantamento dos dados para análise econômica no ciclo de vida.

### **2.1 Arquivos para cenários climáticos futuros**

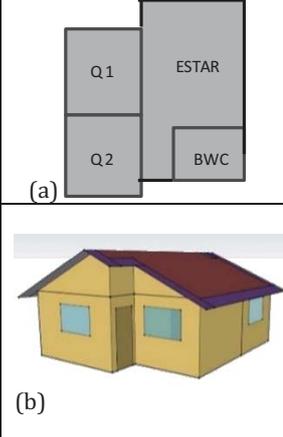
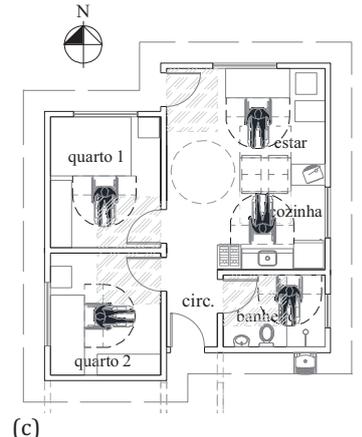
Adotou-se o uso da ferramenta *CCWorldWeatherGen* na versão 1.8, conforme metodologia de Jentsch et al. (2013). A ferramenta usa dados globais do modelo HadCM3 no cenário A2 do terceiro e quarto relatório do IPCC e segundo os autores os resultados obtidos com a ferramenta podem ser considerados como mostrando uma tendência no clima futuro. Para a cidade de São Paulo foi usado o arquivo TRY disponível no site do LABEEE (2015) que representa o período de 1961 a 1990, considerado como cenário climático atual. O arquivo foi convertido para o clima representativo de 2020, que representa o período de 2011 a 2040; e o arquivo de 2050 que representa o período de 2041 a 2070. Considera-se que embora com poucos anos no passado está sendo representada a vida útil de 50 anos da edificação, conforme estimado pela NBR 15575.

### **2.2 Dados para análise termo energética**

O modelo representativo foi determinado pela análise de 11 projetos nacionais de Companhias de Habitação e Agentes Públicos com as características da envoltória e planta como descrito por Triana et al. (2015) (Tabela 1). Foi acrescida na Tabela a imagem com a volumetria do modelo de simulação. A simulação termo energética foi realizada no programa Energy Plus versão 8.2. Para tanto, foi criado um modelo que incluiu cinco zonas térmicas: estar (incluindo cozinha), quarto 1, quarto 2 e banheiro, todos com pé direito de

2,5m. Sendo o ático também modelado como zona térmica. As simulações foram realizadas considerando o Norte na pior situação, pois melhorias observadas nesta situação tendem a incrementar-se com relação a um melhor posicionamento solar.

Tabela 1. Principais características e planta baixa do projeto representativo para a casa unifamiliar do nível de renda 1 conforme Triana et al. (2015)

<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ventilação cruzada;</li> <li>-Beiral: 50 cm;</li> <li>-Pé Direito: 2.50m</li> <li>-Chuveiro elétrico para aquecimento de água, considerando potência do equipamento &gt; 4.600W;</li> <li>-Possibilidade de extensão de um quarto e circulação;</li> <li>-Sem área de convivência externa;</li> <li>-Área de serviço externa;</li> <li>-Piso: piso cerâmico 1cm +2cm argamassa de regularização + 5cm contrapiso + 3 cm colchão de brita;</li> <li>-Paredes: 13cm (Bloco de tijolo cerâmico 9x14x19 com reboco interno e externo) com <math>U=2,43 \text{ W/m}^2\text{K}</math> e Cap. Térmica=<math>132 \text{ kJ/m}^2\text{K}</math>; <math>\alpha=0,6</math>.</li> <li>-Portas:0,80x2,10m, Externas: metálicas; internas: madeira;</li> <li>-Cobertura: 2 águas, telha cerâmica+ ático forro PVC. Inclinação 23,6°. Estrutura telhado em madeira, <math>U=1,75 \text{ W/m}^2\text{K}</math>, Capacidade Térmica=<math>21.4\text{kJ/m}^2\text{K}</math>; <math>\alpha=0,6</math>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Janelas: Estar e quartos: <math>1,50\text{m}^2</math> – 2 folhas de correr, peitoril=<math>1,10\text{m}</math> (FV=<math>0,45</math>, FI= <math>0,8</math>); Cozinha: <math>1,20\text{m}^2</math> – 2 folhas de correr (FV=<math>0,45</math>, FI=<math>0,80</math>); Banheiro: <math>0,48 \text{ m}^2</math> – janela basculante com esquadria, peitoril=<math>1,50\text{m}</math>, FV=<math>0,90</math>; FI= <math>0,65</math> - Sem venezianas</li> <li>-Vidro: 4mm transparente; -Esquadrias em alumínio;</li> </ul>
 <p>(a)</p> <p>(b)</p>	 <p>(c)</p>

OBS: FV=Fator de ventilação; FI= Fator de iluminação a) zonas térmicas, b) modelo de simulação, c) planta baixa

Referências nacionais como o Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo – SINPHA (Brasil et al. 2007), Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD (IBGE, 2013), Censo de 2010 (Brasil e IBGE, 2010), Etiquetagem de Energia (Brasil, 2012) e dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel (ANEEL, 2015), serviram para a definição das cargas internas. Foi estabelecido um consumo de 136,65 kWh/mês para iluminação, eletrodomésticos e chuveiro elétrico. Porém sem considerar o chuveiro elétrico considerou-se um consumo de 72,65 kWh/mês. Não foi considerado consumo em *stand by*. Foram considerados 4 usuários para o estar e dois por quarto com taxa metabólica de 108 e 81W respectivamente. O comportamento do usuário também foi mantido constante. Os padrões de uso de iluminação e ocupação em grande parte com base na Etiqueta de Energia foram mantidos constantes ao longo dos 50 anos e são conforme Figura 1a e b. Foram realizadas dois tipos de simulações. A primeira para operação com ventilação natural considerou a metodologia da Etiquetagem Nacional de Energia do Inmetro.

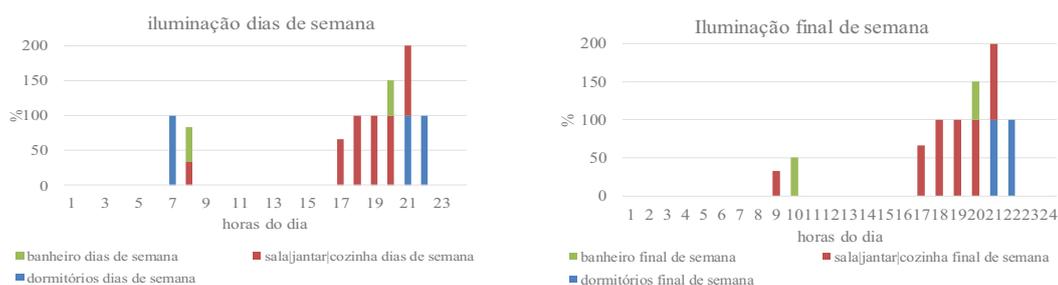


Figura 1a. Padrões de iluminação e ocupação para ambas regiões

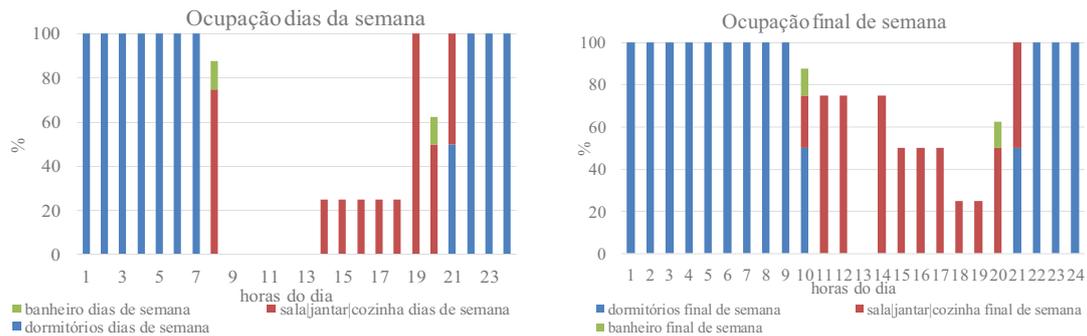


Figura 1b. Padrões de iluminação e ocupação para ambas regiões

A segunda considerou o uso previsto com ar condicionado, tomando como base também a metodologia da Etiqueta de Energia com algumas diferenças. Foi modelada não somente para os quartos mas também para o estar/cozinha usando o objeto *Packaged Terminal Heat Pump* do *Energy Plus*, sendo ligada a um termostato. Com base em De Vecchi et al. (2014) considerou para aquecimento 19,5°C. Com base em Sorgato (2015) considerou-se um termostato para refrigeração a 24°C entre 07h e 24h e 25°C durante a madrugada das 24h até 07h, seguindo a ocupação dos ambientes. O coeficiente de desempenho dos sistemas de refrigeração e aquecimento foi de 3,24 W/W constante em todos os cenários climáticos. Para a temperatura foi usado o objeto integrado no *Energy Plus* através do *Ground Domain Slab*. Os dados da simulação foram analisados com relação à graus horas de resfriamento, considerando como temperatura base 26° e graus hora de aquecimento considerando como temperatura base 19,5°. Já, o condicionamento artificial previsto foi analisado em kWh/ano e posteriormente na vida útil para resfriamento e aquecimento da habitação. Salienta-se a importância do uso da ventilação natural nas habitações no Brasil, entretanto a simulação com previsão do uso de ar condicionado foi considerada como um recurso da metodologia. Os resultados consideraram como valor final por indicador a média ponderada por área para os ambientes de maior permanência. As estratégias foram analisadas com relação à mudanças na cobertura conforme Tabela 2.

Tabela 2. Estratégias avaliadas para a cobertura

Coberturas   No. Caso	COBERTURAS (todas considerando forro de PVC)	U	Ct
Cob0 (CB)	Telha de barro cor natural $\alpha$ 0.6	1,75	21,4
Cob1	Telha de barro cor natural +isolante lã de rocha 2.5cm	0,89	22,17
Cob2	Telha de barro cor natural +isolante lã de rocha 5cm	0,59	23,86
Cob3	Telha de barro cor natural +isolante lã de rocha 7cm	0,41	25,21
Cob4	Telha de barro cor clara $\alpha$ 0.5	1,75	21,4
Cob5	Telha de barro cor clara +isolante lã de rocha 2.5cm	0,89	22,17
Cob6	Telha de barro cor clara +isolante lã de rocha 5cm	0,59	23,86
Cob7	Telha de barro cor clara +isolante lã de rocha 7cm	0,41	25,21
Cob8	Cobertura telha metálica ( $\alpha$ 0.3)	1,78	24,53
Cob9	Cobertura telha metálica+isolante lã de rocha 2.5cm	0,90	26,22
Cob10	Cobertura telha metálica + isolante lã de rocha 5cm	0,60	27,90
Cob11	Cobertura telha metálica + isolante lã de rocha 7cm	0,42	29,25

### 2.3 Dados para análise econômica

Estão sendo mostrados neste artigo somente os resultados e aquisição de dados de custo inicial dos materiais e fase operacional, excluindo por conta do tamanho do artigo, as fases

no ciclo de vida de transporte, desperdício e manutenção. Para o custo inicial dos materiais usados foram levantados os preços em valores Reais com base no SINAPI de Março de 2016 para o Estado de São Paulo. O cálculo do custo no ciclo de vida operacional foi realizado usando a abordagem do valor presente líquido ou descontado. Os valores da fase de uso, foram transformados inicialmente a valor futuro colocando a inflação e depois descontados a valor presente usando a taxa de desconto com base na metodologia abordada por Islam et al. (2014). Assim, o valor futuro foi calculado através da Equação 1. Já para o valor presente líquido ou descontado foi usada a equação 2:

$$CF = VP \cdot (1+f)^n \quad (1)$$

$$VPL = CF / (1+d)^n \quad (2)$$

Onde CF = custo futuro; VPL = valor presente descontado; VP = valor presente (inicial); f = taxa de inflação; d = taxa de desconto e n = número de anos.

A análise limitou-se aos principais materiais da envoltória que influem no desempenho termo energético da edificação. Custos incluem o custo inicial dos materiais e custo operacional na fase de uso com consumo previsto para condicionamento ambiental e custo do consumo de eletrodomésticos e iluminação (outros). Para as taxas foram usados as médias dos últimos 10 anos. A inflação com base no Índice Nacional de Custos da Construção - INCC-DI, é de 7,09%. A taxa de desconto com base na taxa SELIC conforme Santos (2007), foi de 11,97%. Na fase de uso, foi considerado o custo do uso da energia para operação da edificação analisando o período de 50 anos e os três cenários climáticos, em função dos valores obtidos na simulação termo energética. Para tanto, foi considerado o preço médio do kWh para a Tarifa Residencial conforme tarifa da ANEEL de 2016 mais impostos de ICMS, PIS e COFINS. Para São Paulo foi adotado 0,54 R\$/kWh.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Avaliação dos impactos das mudanças climáticas com indicadores na operação com ventilação natural

As medidas avaliadas com relação à cobertura incluíram mudança no material, uso de absorvâncias mais baixas e isolante, considerando diferentes espessuras. Foram estimadas dois tipos de coberturas: telha de barro com duas absorvâncias e cobertura metálica com uma única absorvância. A telha de barro do caso base considera a absorvância 0,6 que corresponde a telha não esmaltada na cor natural mais avermelhada e comumente usada. A mesma telha é considerada com a absorvância de 0,5 para telhas com cor natural porém mais clara. Já para a telha metálica foi considerada somente a absorvância de 0,3 que corresponde a uma telha metálica na cor branca. A Figura 2 mostra os resultados para graus hora de resfriamento e aquecimento para cada tipo de cobertura nos três cenários climáticos e a Figura 3 e a relação entre capacidade térmica e graus hora para as coberturas avaliadas no cenário de 2050. Observou-se que com relação aos indicadores que avaliam melhoria de desempenho no calor todas as medidas aferidas apresentam melhoria em relação ao caso base para todos os cenários climáticos. Já o mesmo não ocorre para os indicadores que avaliam melhoria para desempenho no frio, onde algumas medidas mostram maiores graus hora de aquecimento do que o caso base. O aquecimento só é colocado em evidência para o cenário climático atual. As coberturas sem isolante (Cob4 e

Cob8) mostram maiores graus hora para resfriamento e aquecimento do que as outras alternativas, porém nos graus de resfriamento teve-se redução com relação ao caso base.

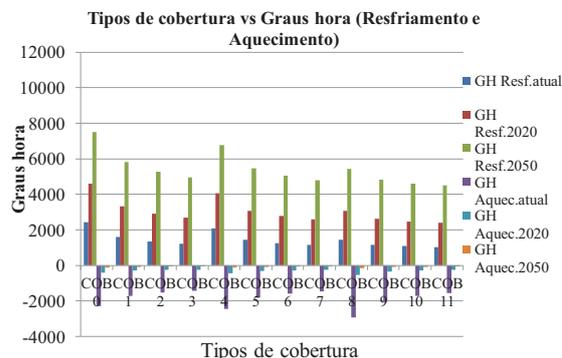


Figura 2. Média ponderada para graus hora de resfriamento e aquecimento nas coberturas

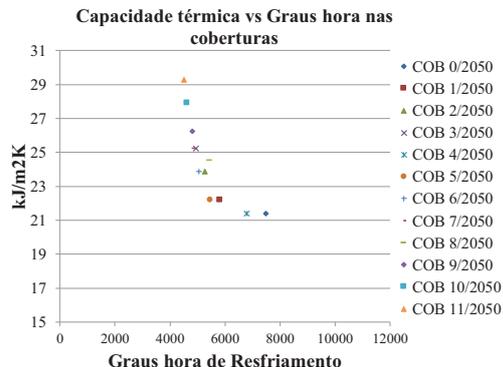


Figura 3. Relação entre capacidade termica das coberturas e graus hora de resfriamento

Entre elas o melhor desempenho para resfriamento é observado na cobertura com menor  $\alpha$  (Cob8), entretanto a mesma também apresenta a maior quantidade de graus hora para aquecimento nos três cenários. De forma geral a cobertura 11 (metálica com  $\alpha:0,3$  e 7 cm de isolamento) tem o melhor desempenho com relação aos graus hora de resfriamento nos três cenários, principalmente por conta da baixa absorvância e da camada de isolante. No entanto não ocupa a mesma posição para o aquecimento. A diferença nos resultados com mesmo tipo de cobertura e diferente espessura de isolamento é baixa. Observa-se que outros tipos de cobertura, como a telha de barro em especial clara também conseguem desempenhos similares aos da cobertura metálica, entretanto com o uso de isolantes com maior espessura. Desta forma é comparável o desempenho para os graus hora de resfriamento da COB6 com a COB9, mas a COB6 obtém menos graus hora no aquecimento. Já as coberturas 1 e 5 com telha de barro e isolante 2,5cm apresentam graus hora para resfriamento similares aos da COB8 metálica sem isolamento, porém com melhor desempenho no aquecimento. A baixa absorvância da telha metálica compensa a falta de isolamento, entretanto não atua da mesma forma nos graus hora de aquecimento, em especial no cenário atual. Desta forma, nota-se o isolamento sendo mais eficaz a partir de 5cm em telhas com absorvâncias médias. Por outro lado, a transmitância não mostra uma relação direta com os graus hora para resfriamento. Contudo, observou-se que na amostra todas as coberturas avaliadas possuem valores muito semelhantes de capacidade térmica e sua relação com graus hora de resfriamento mostra uma tendência de queda entre as coberturas onde influi o isolamento e absorvância solar. Coberturas mais isoladas e com menor absorvância tem melhor desempenho neste indicador. A tendência de queda se estabiliza para coberturas com absorvância solar meia a alta sem isolamento (Fig. 3).

### 3.2 Avaliação dos impactos das mudanças climáticas com indicadores na operação com condicionamento artificial

A Figura 4 mostra o consumo previsto com refrigeração e aquecimento para todos os casos e cenários. Observa-se que o consumo previsto com refrigeração e aquecimento mostra um comportamento similar à situação com ventilação natural. Em todos os cenários, as coberturas com isolamento apresentam um melhor desempenho. O caso base apresenta novamente o pior desempenho e a cobertura 11 o melhor. Coberturas com maior espessura de isolamento mostram um melhor desempenho, porém a diferença no desempenho para

as diversas espessuras de isolante é muito baixa e menor do que para o desempenho com ventilação natural. A Figura 5 mostra a relação entre consumo previsto para refrigeração e graus hora de resfriamento considerando os resultados em todos os cenários climáticos.

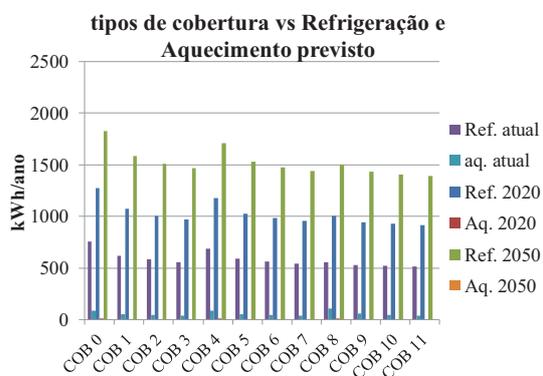


Figura 4. Refrigeração e aquecimento previsto para as diversas coberturas analisadas nos três cenários

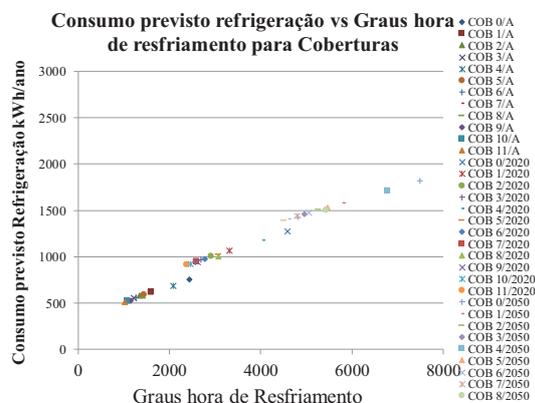


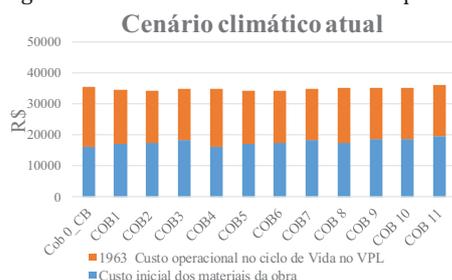
Figura 5. Relação entre refrigeração previsto e graus hora de resfriamento nos três cenários

Observa-se que o consumo previsto para refrigeração mostra uma relação linear com os graus hora de resfriamento para todos os cenários climáticos, porém a amplitude entre os diferentes tipos de coberturas estende-se para 2050 quando comparado ao cenário atual.

### 3.2 Avaliação dos impactos das mudanças climáticas com indicadores econômicos no ciclo de vida

A Figura 6 mostra os resultados da avaliação econômica nos casos avaliados para os três cenários climáticos considerando somente o custo inicial dos materiais e o custo operacional no ciclo de vida com VPL. O custo inicial dos materiais da envoltória contabilizados no caso base é de R\$ 16.090,11. O custo da energia operacional anual para eletrodomésticos e iluminação é de R\$494,67. O custo da energia operacional para condicionamento ambiental previsto anual é de R\$457,48 no cenário climático atual, R\$696,20 no cenário climático de 2020 e R\$987,97 no cenário climático de 2050. No custo inicial dos materiais observa-se como esperado um custo maior para as todas alternativas avaliadas com relação ao caso base, com exceção da cobertura 4. Entretanto na energia operacional prevista com o uso de condicionamento artificial nos 50 anos da vida útil da edificação os resultados são diferentes nas alternativas avaliadas e dependem do cenário climático, tendo o caso base o maior valor sempre. O valor final considerado para custo inicial dos materiais e custo operacional nos 50 anos mostra para o cenário climático atual as coberturas do caso 1 ao 10 com um valor total inferior ao caso base. Somente o caso 11 mostra valores totais superiores ao caso base.

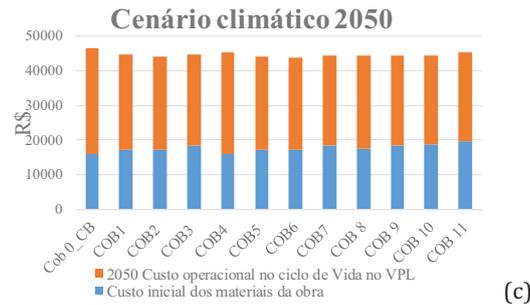
Figura 6. Custo inicial dos materiais e operacional no ciclo de vida/VPL. Cenários atual(a), 2020(b) e 2050(c)



(a)



(b)



Já nos cenários climáticos futuros todas as alternativas analisadas mostram valores menores ao caso base quando considerados a soma dos custos iniciais dos materiais mais custos operacionais com condicionamento ambiental previsto e equipamentos e iluminação para a vida útil da edificação. O melhor desempenho observa-se na COB6 (telha de barro  $\alpha$  0,5+isolante lã de rocha 5cm), com redução entre 4-6% frente ao caso base. A diferença entre os valores finais não é grande, porém mostra-se a viabilidade das medidas adotadas.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram significativa melhoria no desempenho térmico da edificação com relação aos graus hora, especialmente de resfriamento para todas as alternativas avaliadas, comparadas ao caso base em todos os cenários. Obtiveram-se redução de graus hora de resfriamento entre 9% a 57% dependendo da alternativa e cenário climático avaliado. Para graus hora de aquecimento os resultados variaram desde um aumento de 28% até redução de 37% dependendo da alternativa e no cenário atual até aumento de 35% e redução de 48% no cenário de 2050. Com relação ao consumo estimado de condicionamento do ar, as alternativas avaliadas também mostraram uma melhoria significativa entre 4% a 16% constante em todos os cenários climáticos, entretanto a porcentagem de melhoria foi maior para o desempenho da edificação com ventilação natural. Com relação à análise econômica e considerando somente o custo inicial dos materiais e custo de operação nos 50 anos da vida útil, 10 das 11 alternativas analisadas se tornam viáveis já no cenário climático atual, enquanto todas as alternativas ficam viáveis com os cenários de clima futuro. Mudanças como incremento da tarifa de energia elétrica, podem mostrar maiores vantagens financeiras. A utilização do isolamento nas coberturas mostrou-se fundamental para melhoria do desempenho termo energético, tanto com relação aos indicadores de frio quanto de calor. A aplicação do conceito do ciclo de vida e mudanças climáticas mostra-se como uma ferramenta importante na avaliação de projetos com melhoria no desempenho e eficiência energética, para a qual devem ser considerados estudos que integrem outras variáveis e medidas de adaptação, o que será mostrado em próximas etapas.

#### REFERÊNCIAS

- Almeida, L. S. S., Silva, A. S., Schneider, K., & Ghisi, E. 2013. *Avaliação da envoltória de habitações de interesse social de Florianópolis de acordo com o método prescritivo do RTQ-R*. In XII ENCAC / VIII ELACAC (p. Conforto e Projeto. v. 1. p. 1246-1255). Brasília.
- Alves, C. A., Duarte, D. H. S., & Gonçalves, F. L. T. 2015. *Resiliência das edificações às mudanças climáticas na região metropolitana de São Paulo. Parte 2: estudo de caso - desempenho térmico de edifícios residenciais de idosos*. In XIII ENCAC / IX ELACAC
- ANEEL. 2015. Institutional website.

- Bodach, S., & Hamhaber, J. 2010. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. *Energy Policy*, 38(12), 7898–7910.
- Brasil, MME, & EPE. 2007. *Plano Nacional de Energia 2030: Projeções*.
- Brasil. 2011. *Déficit habitacional no Brasil 2008*.
- Brasil. 2012. *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Efic. Energética de Edific. Residenciais*.
- Brasil & Mincidades. 2011. *Portaria N. 465 de 3 de outubro de 2011*.
- Brasil & IBGE. 2010. *Resultados do Universo do Censo Demográfico 2010*.
- Brasil-Eletróbrás-Procél. 2007. *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005*.
- BSi-British-Standards. 2008. BS ISO 15686-5. *Buildings and constructed assets: Life-cycle costing*.
- Casagrande, B. G. 2013. *Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético*. Dissertação. Universidade Federal do Espírito Santo.
- CIB & UNEP-IETC. 2002. *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*.
- Curcio, D. da R., & Da Silva, A. C. S. 2013. *Desempenho térmico de habitações de interesse social, em edifícios multifamiliares, produzidas pelo programa de arrendamento residencial – PAR, na cidade de Pelotas / RS*. In XII ENCAC / VIII ELACAC. Brasília.
- De Vecchi, R., Sorgato, M. J., Pacheco, M., Cândido, C., & Lamberts, R. 2014. *Application of the adaptive model proposed by ASHRAE 55 in the Brazilian climate context: raising some issues*. In L. N. for C. and E. U. in Buildings (Ed.), *8th Windsor Conference* (Vol. 15251). Windsor.
- Griego, D., Krarti, M., & Hernández-Guerrero, A. 2012. Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. *Energy and Buildings*, 54, 540–549.
- Gupta, R. & Gregg, M. 2012. Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. *Building and Environment*, 55, 20–42.
- IBGE. 2013. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2012*.
- Islam, H., Jollands, M., Setunge, S., Ahmed, I., & Haque, N. 2014. Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages designs. *Energy and Buildings*, 84, 33–45.
- Jentsch, M. F., James, P. a. B., Bourikas, L., & Bahaj, A. S. 2013. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*, 55, 514–524.
- Kershaw, T., Eames, M., & Coley, D. 2011. Assessing the risk of climate change for buildings: A comparison between multi-year and probabilistic reference year simulations. *Building and Environment*, 46(6), 1303–1308.
- Kowaltowski, D. C. C. K., & Granja, A. D. 2011. The concept of desired value as a stimulus for change in social housing in Brazil. *Habitat International*, 35(3), 435–446.
- LABEEE. 2015. Site Institucional.
- Linck, G. I., de Albernard, R. S., & Grigoletti, G. de C. 2013. *Avaliação do conforto térmico de habitações de interesse social da cidade de Santa Maria, RS, a partir da opinião dos usuários*. In XII ENCAC, Brasília.
- Roders, M., & Straub, A. 2014. Assessment of the likelihood of implementation strategies for climate change adaptation measures in Dutch social housing. *Building and Environment*, 83, 168–176.
- Santos, L. J. C. 2007. *Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Schade, J. 2003. *Life cycle cost calculation models for buildings*, 1–9.
- Silva, R. B., de Paula, J. M. B., & Barbirato, G. M. 2013. *Programas de habitação social e qualidade de projeto: avaliação de arranjo construtivo e de condições térmicas internas de habitação no contexto climático de Maceió - AL*. In XII ENCAC / VIII ELACAC. Brasília.
- Triana, M. A., & Lamberts, R. 2013. *Proposta de incorporação de estratégias para melhoria de desempenho térmico e uso racional de energia em projeto de habitação de interesse social em Florianópolis*. In XII ENCAC / VIII ELACAC. Brasília.
- Triana, M. A., Lamberts, R. & Sassi, P. 2015. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, 87(Dec.2014), 524–541.
- Van Hooff, T., Blocken, B., Hensen, J. L. M., & Timmermans, H. 2014. On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment*, 82,300–316.
- Williams, D., Elghali, L., Wheeler, R., & France, C. 2012. Climate change influence on building lifecycle greenhouse gas emissions: Case study of a UK mixed-use development. *Energy and Buildings*, 48.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico–Brasil.