

SUBMETIDO 28/03/2022

APROVADO 02/06/2022

PUBLICADO ON-LINE 16/06/2022

PUBLICADO 10/01/2024

EDITORA ASSOCIADA

Nelma Mirian Chagas Araújo Meira

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6769>

ARTIGO ORIGINAL


Influência de *retrofits* sustentáveis nos custos de ciclo de vida de edificações de alto padrão

RESUMO: O Custo do Ciclo de Vida (CCV) é uma técnica de avaliação de custos associados a um produto, que visa minimizá-los e pode ser usada para selecionar projetos alternativos de construções. O presente trabalho justifica-se pela carência de estudos, no Brasil, sobre os custos das diferentes fases de um empreendimento. Assim, o objetivo desta pesquisa é analisar a influência da realização de *retrofits* sustentáveis nos custos totais de ciclo de vida de edificações residenciais de alto padrão. A análise de CCV foi desenvolvida pelo método do valor presente e envolveu o estudo de duas edificações residenciais. Como resultados, notou-se que os custos associados à operação e manutenção equivalem a mais de 60% dos custos totais das edificações. Percebeu-se que, por meio da redução do consumo de energia operacional, pode-se reduzir o custo total do ciclo de vida desses edifícios. Em relação à viabilidade da implementação das propostas de *retrofit*, concluiu-se, diante dos resultados, que a implementação de medidas de *retrofit* em qualquer momento do ciclo de vida de um edifício gerará benefícios ambientais, porém, para que ocorram benefícios econômicos, é preciso que essas medidas sejam adotadas o quanto antes, sendo o ideal serem planejadas desde a fase de concepção de projetos.

Palavras-chave: análise; custos de ciclo de vida; edificações habitacionais; *retrofit* sustentável.

Influence of sustainable retrofits on the life cycle costs of high-standard building

ABSTRACT: Life Cycle Cost (LCC) is a technique for evaluating costs associated with a product, which aims to minimize them and can be used to select alternative construction projects. The present work is justified by the lack of studies, in Brazil, on the costs of the different phases of a construction project. Thus, the objective of this research is to analyze, through the LCC, the influence of retrofits on the total costs of a high-standard building. The LCC analysis was developed using the present value method. At the end of the survey, it was noted that the costs associated with operation and maintenance are equivalent to more than 60% of the total costs of buildings. Observations revealed that,

 Gabriel Pereira da Conceição ^{[1]*}

 João Luiz Calmon Nogueira da Gama ^[2]

 Dayana Bastos Costa ^[3]

[1] gabrielpereira_gpc@gmail.com.
Centro Universitário Ruy Barbosa Wyden (UNIRUY), Brasil.

[2] calmonbarcelona@gmail.com.
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Brasil.

[3] dayanabcosta@gmail.com.
Universidade Federal da Bahia (UFBA), Brasil

*Autor para correspondência.

in both cases, reducing operational energy consumption can reduce the total life cycle cost of these buildings. Regarding the feasibility of implementing the retrofit proposals, it was concluded that, given the scenarios and sensitivity analysis presented, the implementation of retrofit measures at any point in the life cycle of a building will generate environmental benefits; however, so that there are contemplated economic benefits, it is necessary that these measures are adopted as soon as possible, ideally being planned since the project design stage.

.....
Keywords: : *analysis; buildings; life cycle costs; sustainable retrofit.*

1 Introdução

A indústria da construção civil destaca-se pelo alto impacto sobre o meio ambiente. Por essa razão, desde o início dos anos 1990 vêm surgindo iniciativas em vários países de se construir edifícios cada vez mais ambientalmente amigáveis ao longo de todo o seu ciclo de vida (Zhang *et al.*, 2006).

A abordagem de soluções visando à redução do consumo de energia é muito importante, no entanto, não deve ser o único parâmetro considerado ao projetar uma construção sustentável. Afinal, o conceito de sustentabilidade abrange, além das questões ambientais, as consequências financeiras das decisões de projeto no ciclo de vida dessas edificações. O ciclo de vida de um produto pode ser definido por cinco fases: conceito; concepção; fabricação e instalação; operação e manutenção; e, por fim, demolição (Buyle *et al.*, 2015; Schiavoni *et al.*, 2016; Zimmermann, 2005).

Considerando a fase de operação e manutenção, o *retrofit* tem sido realizado em edificações, visando à sua valorização e para aumentar a sua vida útil por meio da introdução de medidas, materiais e tecnologias em sistemas prediais que respeitem o seu entorno, preservem o patrimônio histórico e arquitetônico (Gaspary; Lopes, 2010), bem como melhorem o desempenho da edificação, como a eficiência energética, conforme sugere a NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

Na realização de um *retrofit* em um empreendimento, considerando que algumas medidas necessitam de um longo período para se obter o retorno dos investimentos, existem algumas barreiras financeiras. Por exemplo, nem sempre os proprietários da edificação são os reais usuários, e os custos do *retrofit* recaem diretamente sobre esses proprietários, mas não os seus benefícios, o que os desanima de realizarem as obras, já que não se veem beneficiados pelas melhorias ambientais proporcionadas (Ma *et al.*, 2012). Além disso, os edifícios representam um investimento grande e duradouro em termos financeiros (Öberg, 2005).

Nesse sentido, o custo dessas intervenções dependerá muito de uma variedade de fatores. O Custo de Ciclo de Vida (CCV) para edifícios pode ser uma ferramenta para a tomada de decisões, pois possibilita uma análise econômica de diferentes soluções de projeto, considerando-se toda a vida útil da edificação, e avalia alternativas que tenham os menores custos de produção e custos de utilização até o fim de sua vida útil (Schneiderova-Heralova, 2018). Na indústria da construção civil, o CCV é o custo total associado ao projeto e à construção, operação e manutenção de prédios, além dos custos de demolição do imóvel (Dwaikat; Ali, 2018).

Entretanto, apesar da importância, a aplicação do CCV encontra-se limitada. Uma das dificuldades é prever custos de operação, manutenção e taxas em longo prazo. Além disso, o uso de uma instalação pode ser alterado e a aplicação do CCV passa a ser vista como um desperdício. Outro ponto discutido é a escassez de dados e a complexidade do exercício do CCV, que decorre, muitas vezes, do fato de os edifícios serem diferentes, construídos em momentos distintos e operados por uma variedade de proprietários. Os dados de custo são, portanto, difíceis de coletar e analisar (Bakis *et al.*, 2003; NRC, 1991).

Gluch e Baumann (2004) dizem que o principal incentivo para a aplicação de uma análise de CCV é aumentar a possibilidade de redução de custos para a fase operacional. De acordo com Khasreen, Banfill e Menzies (2009), a fase operacional dos edifícios convencionais representa aproximadamente 80% a 90% do consumo de energia em todo seu ciclo de vida. Por essa razão, essa fase merece a devida atenção dos gestores (Ramesh; Prakash; Shukla, 2010).

Um estudo desenvolvido por Dwaikat e Ali (2016) concluiu que, apesar dos benefícios qualitativos da construção com intervenções sustentáveis, ainda não há resposta conclusiva em relação ao custo do edifício, pois existe uma lacuna significativa na faixa de custo-benefício quantificada.

Conforme apresentado, as intervenções sustentáveis ainda são vistas com restrições por parte dos investidores, mas pesquisas já mostram inúmeras vantagens dessas intervenções, apesar dos desafios encontrados. Este trabalho se justifica pela necessidade de pesquisas que evidenciem os benefícios econômicos de *retrofits* sustentáveis focando não apenas nos custos iniciais, mas nos custos de toda a vida útil do empreendimento, e pesquisas que popularizem o uso da análise de CCV como ferramenta metodológica para estudos de viabilidade econômica de projetos. Desse modo, o objetivo principal desta pesquisa é analisar a influência da realização de *retrofits* sustentáveis nos custos totais de ciclo de vida de edificações residenciais de alto padrão.

Nas próximas seções serão apresentados: a revisão de literatura a respeito dos benefícios econômicos e energéticos de intervenções sustentáveis e da análise de custos de ciclo de vida de edificações habitacionais (seção 2); o método de pesquisa utilizado (seção 3); os principais resultados obtidos nesta pesquisa (seção 4); e, por fim, as considerações finais deste artigo (seção 5).

2 Benefícios econômicos e energéticos de intervenções sustentáveis e análise de custos de ciclo de vida de edificações habitacionais

Segundo Woo e Menassa (2014), ao se pensar na realização de um *retrofit*, há uma variedade de intervenções possíveis e incertezas sobre os benefícios econômicos e ambientais esperados dessa ação. Os referidos autores também ressaltam que existem necessidades conflitantes entre proprietários, inquilinos, usuários e administradores de condomínio, o que pode dificultar o *retrofit* das edificações.

Para Dwaikat e Ali (2016), um bom exemplo de benefícios para proprietários de imóveis e investidores é que essas construções podem gerar economia de energia. Yudelson (2008) listou também, como benefícios, o custo reduzido de manutenção, o aumento do valor da propriedade e outros melhoramentos relacionados à saúde, à comercialização e à competitividade.

Os telhados verdes, por exemplo, além de melhorarem a aparência estética de um contexto urbano, podem fornecer muitos benefícios ambientais e econômicos, tanto para

os proprietários de edifícios particulares quanto para o público em geral. Um exemplo desses benefícios é o menor consumo de água e energia, especialmente para refrigeração; além disso, tais telhados são capazes de reter água da chuva para pequenos eventos e melhorar a qualidade do ar (Peri *et al.*, 2012).

Em comparação com o desempenho médio dos edifícios nacionais dos EUA, o *GSA Public Buildings Service* resumiu da seguinte forma os benefícios da aplicação de práticas sustentáveis em edifícios comerciais: menor uso de energia; menor custo agregado de manutenção; maior satisfação dos ocupantes; e menos emissões de CO₂ (Dwaikat; Ali, 2016).

Bowman e Wills (2008) realizaram um estudo em que concluíram que existem valores agregados que um edifício com práticas sustentáveis oferece. Eles perceberam, na época, que, embora a opção por uma construção sustentável tenha aumentado o custo total do edifício em cerca de 7,5%, comparado ao projeto convencional, o custo associado à fase de operação do edifício apresentou uma redução entre 8% e 9%.

Em relação aos impactos da realização de *retrofit* no aspecto de redução de gasto energético de edificações, Sartori (2018) realizou um estudo sobre a redução de consumo de energia operacional primária – que apresenta o valor de consumo energético ao longo do ciclo de vida dos edifícios (50 anos de vida útil) – para seis propostas analisadas, em GJ/m². Para isso, foram separadas as edificações estudadas por tipologias, baseando-se no levantamento feito por Giacomini (2017), que dividiu as edificações residenciais multifamiliares do bairro Jardim Camburi (Vitória – Espírito Santo – Brasil) em tipologias, baseadas na quantidade de pavimentos e na existência ou não de varandas, por estas consistirem em um importante elemento de sombreamento.

As propostas de *retrofit* para as edificações foram selecionadas a fim de proporcionarem melhorias no desempenho térmico, considerando a envoltória como principal vetor. Foi verificada a viabilidade das propostas no que tange à facilidade de instalação e manutenção. Buscou-se também não interferir nos ambientes internos nem nos hábitos de consumo dos habitantes, pois são fatores de difícil controle dentro do contexto de habitações multifamiliares (Sartori, 2018).

Ainda de acordo com Sartori (2018), foram propostas cinco medidas para serem simuladas separadamente e depois reunidas em um único modelo (Tabela 1):

- **Proposta 01 (P01):** Substituição da cobertura existente por um telhado verde;
- **Proposta 02 (P02):** Instalação de película refletora nos vidros das janelas e portas de correr;
- **Proposta 03 (P03):** Instalação de brises de alumínio;
- **Proposta 04 (P04):** Realização de pintura das superfícies opacas da envoltória em cores claras;
- **Proposta 05 (P05):** Instalação de fachada ventilada em placas pré-moldadas de concreto;
- **Proposta 06 (P06):** Reunião das propostas anteriores.

Tabela 1

Consumo de Energia Operacional Primária (EOP) para as tipologias de edificações estudadas. *Fonte: adaptado de Sartori (2018)*

Proposta	Edifício A		Edifício B	
	Consumo EOP (GJ/m ²)	Consumo em relação ao edifício existente (%)	Consumo EOP (GJ/m ²)	Consumo em relação ao edifício existente (%)
Existente	14,75	100,00	10,75	100,00
P01	14,80	100,34	10,70	99,53
P02	14,65	99,32	10,55	98,14
P03	14,70	99,66	10,60	98,60
P04	14,60	98,98	10,50	97,67
P05	13,25	89,83	9,70	90,23
P06	12,80	86,78	9,20	85,58

Segundo a classificação de Giacomini (2017), adotada por Sartori (2018), o Edifício A representa a tipologia com 6 a 12 pavimentos com varanda grande, e o Edifício B representa a tipologia com 15 a 22 pavimentos.

Como se observa na Tabela 1, uma edificação com a tipologia do Edifício A tende a apresentar um consumo de Energia Operacional Primária durante sua vida útil (50 anos) equivalente a 14,75 GJ/m². As propostas de *retrofit* podem gerar uma variação entre 14,80 GJ/m² e 12,80 GJ/m².

Uma edificação com a tipologia do Edifício B apresenta um consumo de Energia Operacional Primária durante sua vida útil equivalente a 10,75 GJ/m². As propostas de *retrofit* podem gerar uma variação entre 10,70 GJ/m² e 9,20 GJ/m², todas elas gerando redução no consumo energético.

Em relação ao custo dessas intervenções, não há uma resposta única e abrangente, afinal, o custo para incorporar elementos de projeto sustentável dependerá muito de uma variedade de fatores, incluindo tipo de construção, localização do projeto, clima local, condições locais e familiaridade da equipe do projeto com o *design* sustentável (Morris; Langdon, 2007).

Por isso, a análise de custo de ciclo de vida é uma importante ferramenta de avaliação de projetos, pois evidencia, considerando toda a vida útil da construção, qual a opção mais viável a ser adotada (Schneiderova-Heralova, 2018). Uma análise de CCV pode ser realizada como parte de estudos de viabilidade para encontrar a solução mais econômica, para se determinar um orçamento de um serviço para o proprietário. Em licitações, para avaliar as propostas de lance econômico ou, finalmente, como procedimento para escolher a melhor estratégia de operação e manutenção (Schneiderova-Heralova, 2018). Assim, a sua aplicação pode ocorrer em qualquer estágio de aquisição de um produto.

De acordo com Dwaikat e Ali (2018), os dados necessários para a análise do custo total do ciclo de vida para um projeto são: vida útil do edifício; período de análise; taxa de inflação; taxa de desconto; custos de projeto, construção, operação, manutenção; e fim da vida do edifício (demolição ou reconstrução).

A norma ISO 15686-5 (ISO, 2017) fornece uma estrutura de discriminação de custos para os componentes do custo do ciclo de vida da construção, que incluem quatro categorias principais: 1- Custo inicial de projeto e construção (CI); 2- Custo de operação (CO); 3- Custo de manutenção (CM); e 4- Custo de fim de vida útil (CFV). Os custos totais (CT) consistem no somatório dos custos apresentados acima.

Os dados introduzidos na análise de custo do ciclo de vida para as fases de construção, manutenção e descarte devem ser obtidos a partir do guia de custos padrão de construção, da literatura publicada ou de informações registradas. Os custos de energia operacional baseiam-se nas tarifas de serviços locais; os custos de construção podem incluir apenas os custos de material e mão de obra; já os custos de manutenção incluem, por exemplo, a substituição do material e a pintura durante um período de análise (Islam *et al.*, 2015).

De acordo com Schade (2007), há uma ampla variação de métodos de avaliação econômica para análise de Custo de Ciclo de Vida, que apresentam vantagens e desvantagens. Entretanto, segundo Kishk *et al.* (2003), a maioria dos modelos de CCV utiliza o método do valor presente líquido (VPL).

3 Método da pesquisa

O trabalho consiste em uma pesquisa qualitativa, de modo que a estratégia de pesquisa adotada foi a simulação computacional. Para o desenvolvimento da análise, foi proposto um estudo de caso de duas edificações localizadas na cidade de Vitória, estado do Espírito Santo. Essa escolha baseou-se no padrão construtivo, na localização e no fato de os dados de custos pós-ocupação das edificações serem administrados e controlados por uma empresa de gestão de condomínios (Grupo ATTA), trazendo maior credibilidade e confiabilidade para a pesquisa bibliográfica documental.

A primeira edificação estudada, denominada de Edifício A, foi inaugurada em 1989 e tem uma área total de 3.411,21 m². O prédio é composto por 12 apartamentos, distribuídos em seis pavimentos e um pavimento de cobertura, além de dois pavimentos garagem e um salão de festas. A segunda edificação, denominada de Edifício B, foi entregue aos moradores em 1997, possui 15 pavimentos, sendo estes: um andar da portaria e garagens, outro andar de garagem, um andar do *playground*, 10 andares com um apartamento-tipo por andar e um andar duplo com um apartamento duplex, com área total de 4.540,48 m².

3.1 Descrição das etapas de pesquisa

Esta pesquisa envolveu as etapas de coleta, preparação e análise de dados, conforme descrito nesta subseção.

3.1.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada na sede da empresa de gestão condominial dos dois edifícios em estudo por meio do software Condomínio21, utilizado para a administração dos diferentes custos dos prédios. Esse software permitiu coletar dados referentes à operação e manutenção dos prédios, divididos em dez categorias, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 ►

Categorias e itens dos dados referentes à operação e manutenção dos prédios. *Fonte: dados da pesquisa*

Categoria	Itens
Despesas com pessoal	Salário e custos adicionais
Despesas de consumo	Água, gás, esgoto, energia, telefone e internet
Despesas de manutenção e conservação	Manutenção de elevadores, bombas, piscina, extintores, material para reparo e conservação, manutenção hidráulica e elétrica, manutenção de ar-condicionado, entre outros
Despesas com obras e reformas	Paisagismo, reforma de fachada e material para reformas
Despesas administrativas	Honorários e materiais contábeis
Despesas com mobiliário	Móveis, utensílios e equipamentos de segurança
Despesas judiciárias	Honorários de cobranças extrajudiciais
Despesas bancárias e financeiras	Tarifas bancárias de movimentação e utilização de conta e empréstimos
Despesas tributárias	Taxa de alvará e impostos
Outras despesas	Seguro condominial, taxas diversas e confraternização

Os custos listados como despesas de consumo (custos de operação), despesas de manutenção e conservação (custos de manutenção) e despesas com obras e reformas (custos de manutenção) compõem os itens coletados fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Os valores coletados correspondem ao período de janeiro de 2016 até julho de 2019 (época da realização da coleta).

Devido a dificuldades na coleta dos dados de custos das fases iniciais (concepção, projeto e construção) com as construtoras, esses custos foram obtidos por estimativa de preço, baseando-se no Custo Unitário Básico (CUB) referente ao mês de julho de 2019 – data-base desta pesquisa –, fornecido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Espírito Santo (SINDUSCON-ES, 2020). Como o CUB consiste em um parâmetro médio – nele não estão considerados os custos referentes às especificidades da construção –, seguiu-se uma prática aplicada por construtoras da região de Vitória-ES, que orientam a adicionar um percentual equivalente a 15% do CUB calculado para se ter uma estimativa de preço mais próxima da realidade da construção. Em relação ao projeto executivo, tomou-se como base um percentual de 5% do custo estimado da construção.

Já os custos de fim de vida foram obtidos por meio da composição de custos de serviços, baseando-se nas Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2017) e nos custos apresentados pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o estado do Espírito Santo, gerando um custo unitário de R\$ 136,26/m².

3.1.2 Preparação dos dados

Após o processo de coleta de dados, foram calculados, para cada subitem, o somatório dos custos entre os anos de 2016 e 2019 e o custo médio anual. A partir do somatório dos custos de cada subitem, obteve-se o custo médio anual do item analisado.

Como os dados coletados não compreendem todo o tempo de funcionamento dos empreendimentos, fez-se necessária a utilização de métodos estatísticos para a determinação de valores médios representativos dos custos coletados. A partir dos valores médios definidos, realizou-se progressão e regressão anual desses custos, por meio da matemática financeira, com o intuito de obter o valor dos custos em toda a vida útil da edificação, conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2 ►
Metodologia de determinação dos custos de operação e manutenção. *Fonte: dados da pesquisa*

Anos anteriores a 2016	Entre 2016 e 2019	Anos posteriores a 2019
Custo médio anual (obtido utilizando os custos reais entre 2016 e 2019). Projetado para cada ano por meio da calculadora on-line do IPCA (IBGE, 2020)	Custos reais coletados por meio dos dados fornecidos pelo Grupo ATTA	$CF = CM + (1 + i)^n$ <p><i>CM</i> – Custo Médio Anual; <i>I</i> – Taxa média de inflação (8,95%); <i>n</i> – Diferença entre o ano base e o ano considerado; <i>CF</i> – Custo Futuro</p>

Para auxiliar na obtenção dos custos referentes aos anos anteriores ao ano de 2016 – ano inicial de informações na base de dados utilizada –, foi usada uma calculadora on-line, fornecida pelo site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A calculadora permite atualizar um valor pela variação do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) entre duas datas, possibilitando simular a correção de uma quantia em uma determinada data utilizando o índice de preço e saber o valor correspondente em outra data (IBGE, 2020). Por meio da calculadora foi possível determinar os custos considerando as diferentes moedas vigentes no período em análise.

Um índice importante a ser considerado para a obtenção dos custos futuros em uma análise de CCV é a inflação. Neste trabalho, foi utilizada a taxa média da inflação compreendida entre os anos de 1995 e 2019, período no qual a moeda passou a ser o real e os índices de inflação tornaram-se menos instáveis. Sendo assim, a taxa média de inflação adotada é de 8,95% a.a.

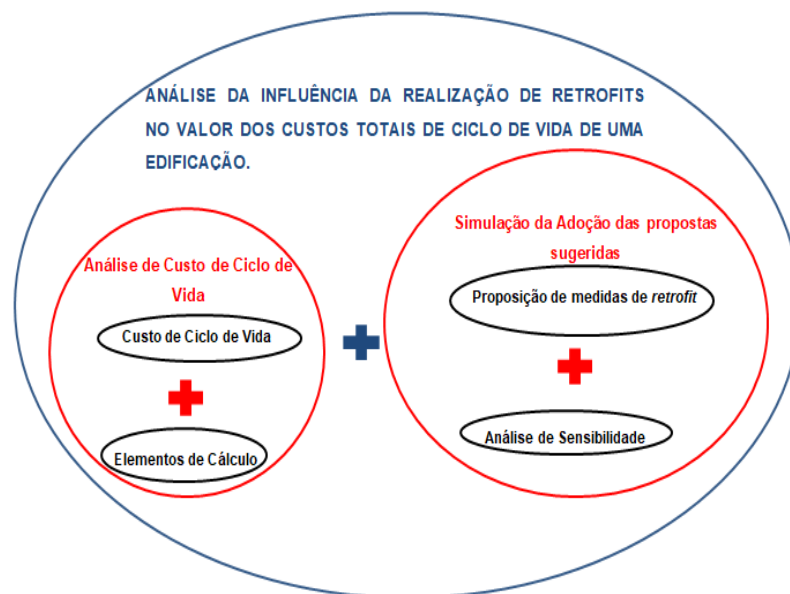
A sequência de atividades desenvolvidas para o estudo de CCV é a seguinte:

- Obtenção das médias de cada item e subitem que compõem os custos de operação e manutenção coletados;
- Cálculo dos valores percentuais dos subitens;
- Regressão e progressão dos custos médios por meio da matemática financeira;
- Obtenção dos valores dos custos totais;
- Obtenção dos custos acumulados ano a ano, ao longo da vida útil estimada de 50 anos;
- Estimativa de custos anuais operacionais e de manutenção;
- Resumo dos custos totais de ciclo de vida do edifício e o percentual de custo de cada etapa do ciclo de vida.

3.1.3 Análise dos dados

A Figura 1 traz o resumo do método de análise de dados empregado na pesquisa. A análise se divide em duas principais etapas: i) avaliação dos custos de ciclo de vida das edificações; e ii) simulação da adoção das propostas de implementação de *retrofit*. Para a primeira etapa, é preciso conhecer os custos das diferentes fases das edificações e utilizar-se de alguns elementos de cálculo. A segunda análise baseia-se na simulação de propostas de *retrofit*. A comparação entre essas duas etapas corresponde ao objetivo desta pesquisa.

Figura 1 ►
Representação
esquemática do
método de análise
utilizado
. Fonte: dados da
pesquisa



a) Análise do custo de ciclo de vida

A análise de dados baseia-se no trabalho realizado por Dwaikat e Ali (2018) que, em vez de limitar a análise de custo do ciclo de vida a um período de interesse comercial, considera toda a vida útil do empreendimento como período de análise.

Como se pretendia desenvolver uma previsão do custo total do ciclo de vida, foi estimado um período de 50 anos como a vida útil do estudo de caso. A escolha do período de 50 anos foi baseada nos parâmetros da NBR 15575-1 (ABNT, 2021), que determina que a vida útil mínima de projetos de edificações habitacionais executadas em concreto armado seja igual a 50 anos. Vale salientar que, diante dos quadros de mudança do comportamento humano e mudanças sociais, econômicas, ambientais e do desenvolvimento tecnológico, além de metas de grandes países para reduzir o consumo de carbono até o ano de 2050, não há um horizonte definido sobre o futuro das edificações e, assim, adotou-se uma vida útil de 50 anos. A análise cobre um período de 50 anos a partir de 1989 (data da entrega da obra) até 2039 (data prevista para o fim da vida útil) para o Edifício A. No caso do Edifício B, o período é de 1997 a 2047.

Por fim, com base nos dados obtidos por meio das etapas descritas, foi possível realizar uma análise e comparar os resultados das edificações estudadas. Também foram obtidos os custos de cada etapa das edificações estudadas e o percentual que representa os custos de projeto, construção, operação, manutenção e final de vida das edificações em relação ao custo total obtido.

Todos os dados de custos de projeto, construção, operação, manutenção e fim de vida da Edificação B estavam disponíveis na moeda brasileira atual (real). Porém, a moeda vigente na época da entrega da Edificação A (1989) era o cruzado novo, e em 1994 era o cruzeiro real a moeda referente aos custos de operação e manutenção. Assim, a fim de se trabalhar com uma moeda estável, todos os custos foram convertidos da moeda local para o dólar americano usando a taxa de câmbio média do ano de análise, por meio de dados obtidos no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2022).

b) Proposições de medidas de *retrofit*

A fim de se proporcionar melhorias no desempenho térmico, considerando a envoltória como principal vetor, foram utilizadas as seis medidas propostas por Sartori (2018), levando-se em consideração a viabilidade das propostas no que tange à facilidade na instalação e manutenção. Buscou-se também não interferir nos ambientes internos nem nos hábitos de consumo dos habitantes, pois são fatores de difícil controle dentro do contexto de habitações multifamiliares.

Para fins comparativos, foram considerados três diferentes períodos para a realização das propostas de projetos sustentáveis:

- Em 2021, com a vida útil das edificações naquele momento;
- Com metade da vida útil considerada (25 anos);
- Adoção das propostas desde a construção do edifício.

O processo de obtenção do CCV de cada uma das propostas é análogo ao apresentado na subseção 3.1.2.

4 Resultados da pesquisa

Esta seção apresenta os resultados obtidos individualmente nas simulações das Edificações A e B.

4.1 Edifício A

A Tabela 2 apresenta uma análise resumida das estimativas de custos e pesos totais do ciclo de vida do Edifício A.

Tabela 2 ►
Resumo da estimativa de custos e pesos totais do ciclo de vida do Edifício A.
Fonte: dados da pesquisa

	Descrição	Custo (US\$)	Percentual
Custos iniciais	Custos de projetos	46.095,22	1,04%
	Custos de construção	921.904,40	20,80%
Custos de manutenção	Custos de manutenção e conservação	1.109.693,08	25,04%
	Custos de obra e reforma	129.715,65	2,93%
Custos operacionais	Despesas de consumo	1.623.939,61	36,64%
	Custos de fim de vida	600.322,91	13,55%
	TOTAL	4.431.670,87	100,00%

Conforme a Tabela 2, os custos operacionais representam 36,64% do custo total do ciclo de vida, o que faz desse custo o de maior peso entre os componentes do custo de ciclo de vida. Já os de manutenção equivalem a 27,97% do orçamento total do ciclo de vida. Ambos os custos são superiores ao de fim de vida (13,55%) e aos custos de projeto e de construção, que representam, respectivamente, 1,04% e 20,80% do custo total. Nota-se que mais de 60% dos custos referem-se ao período de operação da edificação, que é o somatório dos custos de manutenção e operacionais.

4.1.1 Obtenção dos custos totais a partir das propostas de *retrofit*

Foi realizado um comparativo entre os custos totais das propostas nos três cenários de análise, conforme Tabela 3.

Propostas	Retrofit em 2021 (US\$)	Diferença de custo em relação ao CCV existente (US\$)	Retrofit com meia vida útil (2014) (US\$)	Diferença de custo em relação ao CCV existente (US\$)	Adoção das propostas na fase de construção (1989) (US\$)	Diferença de custo em relação ao CCV existente (US\$)
Existente			4.431.670,87			
01	4.432.511,67	840,80	4.460.878,65	29.207,78	4.440.692,34	9.021,47
02	4.449.981,87	18.311,00	4.434.396,93	2.726,06	4.425.402,38	-6.268,49
03	4.461.823,01	30.152,14	4.439.253,66	7.582,79	4.429.734,41	-1.936,46
04	4.512.835,70	81.164,83	4.451.666,83	19.995,96	4.425.331,44	-6.339,43
05	5.043.624,78	611.953,91	5.129.285,42	697.614,55	4.464.113,36	32.442,49
06	5.093.748,03	662.077,16	5.182.405,46	750.734,59	4.443.772,48	12.101,61

Tabela 3 ▲
Comparativo dos custos totais das propostas nos cenários analisados para o Edifício A.
Fonte: dados da pesquisa

Observa-se, pela Tabela 3, que, com a realização de *retrofit* em 2021, apesar da redução de custos operacionais das propostas cinco e seis, os custos totais de ciclo de vida ultrapassam US\$ 5 milhões, enquanto nos demais casos oscilam em torno de US\$ 4,5 milhões. Assim, é possível verificar que a implementação em 2021 das propostas 05 e 06, embora seja viável ambientalmente, já que elas representam redução de consumo de energia operacional, não é adequada no aspecto econômico, afinal implementá-las geraria um aumento no custo total do ciclo de vida da edificação superior a US\$ 600 mil, o que representa mais de 10% do custo original.

Ainda de acordo com a Tabela 3, caso as propostas de *retrofit* fossem implementadas na metade da vida útil do edifício, em 2014, nota-se o mesmo comportamento da implementação em 2021. Por fim, caso as propostas sustentáveis tivessem sido implementadas ainda na fase de construção do edifício, em 1989, os custos totais de todas as propostas seriam praticamente iguais. Apesar de as propostas representarem acréscimo nos custos de construção, a redução nos custos operacionais torna os custos totais do ciclo de todas as propostas relativamente próximos do custo do edifício existente.

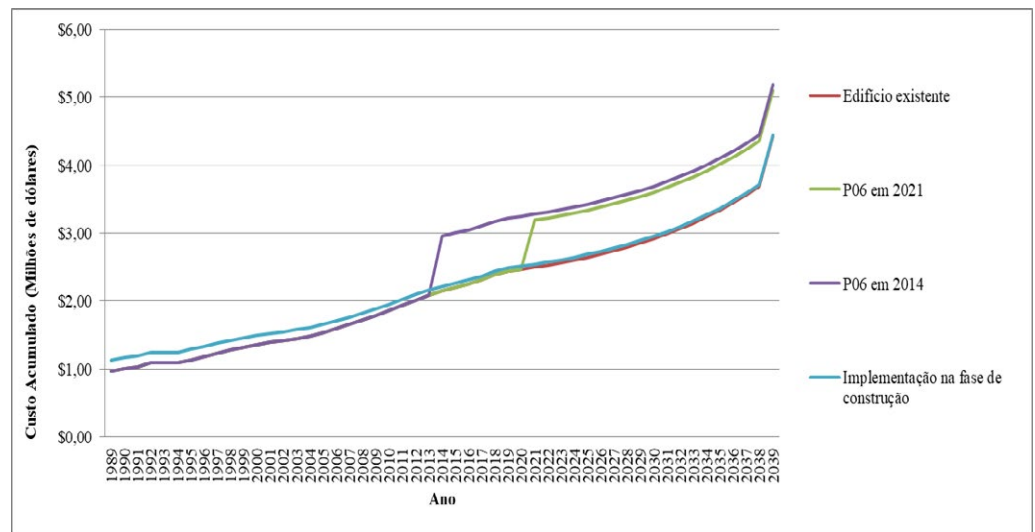
É possível verificar que, nesse cenário, a implementação das propostas 02, 03 e 04 reduziria os custos totais do Edifício A, garantindo, além de benefícios ambientais, benefícios econômicos. As propostas 05 e 06 gerariam acréscimos de custos de US\$ 32.442,49 e US\$ 12.101,61, respectivamente, inferiores a 1% do CCV existente, o

que ainda as torna convenientes de serem implementadas, já que se mostram viáveis ambientalmente. Já a proposta 01, além de ser um pouco mais custosa que o edifício existente, não apresentou desempenho favorável no aspecto ambiental.

Entre as cinco propostas apresentadas isoladamente, a de número 05 é aquela que apresenta melhor desempenho ambiental, conforme Tabela 1, gerando uma redução de mais de 10% de consumo de energia operacional, porém, como é pequena a diferença, em termos de custos, entre sua implementação e a implementação da reunião de todas as propostas, a proposta 06 mostra-se adequada para implementação, pois geraria ainda mais redução de consumo de energia operacional, apesar de um acréscimo de US\$ 12.101,61 nos custos.

A Figura 2 traz as linhas de base de custos de ciclo de vida do Edifício A, no cenário atual e com a adoção da proposta 06 nos três cenários estudados.

Figura 2 ▶
Linhas de base de custos de ciclo de vida do Edifício A com a adoção da proposta 06 nos três cenários estudados.
Fonte: dados da pesquisa



Como se nota na Figura 4, as linhas de base tendem a se comportar de forma exponencial, com crescimento igual até o ano em que se pretende realizar o *retrofit*; nesse momento o gráfico das linhas em verde e em lilás, referentes à execução da proposta 06 em 2021 e 2014, respectivamente, toma um comportamento linear pontual, devido ao custo de implementação das propostas; posteriormente, as curvas seguem um comportamento exponencial, afastando-se superiormente da linha do edifício existente nos anos finais da edificação. O final dessas duas curvas ultrapassa o valor de US\$ 5 milhões.

Já o cenário de adoção das medidas no período da construção do edifício mostra uma curva exponencial ligeiramente afastada superiormente da curva do edifício existente, que tende a se aproximar a partir da segunda metade da vida útil da edificação. No final da vida útil da edificação, essas duas curvas apresentam uma tendência de sobreposição, o que mostra uma proximidade nos custos acumulados, mas o fim das curvas mostra que a adoção da sexta proposta na fase de construção é o cenário com menor custo.

4.2 Edifício B

A Tabela 4 apresenta uma análise resumida das estimativas de custos e pesos totais do ciclo de vida do edifício.

Tabela 4 ►

Resumo da estimativa de custos e pesos totais do ciclo de vida do Edifício B.
Fonte: dados da pesquisa

	Descrição	Custo (US\$)	Percentual
Custos iniciais	Custos de projetos	125.879,99	0,82%
	Custos de construção	2.518.015,84	16,49%
Custos de manutenção	Custos de manutenção e conservação	1.301.613,69	8,53%
	Custos de obra e reforma	4.223.268,51	27,67%
Custos operacionais	Despesas de consumo	5.509.922,24	36,09%
Custos de fim de vida		1.586.935,78	10,40%
TOTAL		15.265.636,05	100,00%

Como observado na Tabela 4, os custos de manutenção e conservação correspondem a 36,17% do orçamento total do ciclo de vida, o que faz desse custo o de maior peso entre os componentes do custo de ciclo de vida. Já as despesas de consumo (água e energia, por exemplo) equivalem a 36,09% do custo total do ciclo de vida. Ambos os custos são bem superiores aos de projeto, de construção e de demolição, que são 0,82%, 16,49% e 10,40%, respectivamente.

Assim como ocorreu no Edifício A, nota-se que a maioria dos custos do Edifício B encontra-se entre as fases de operação e manutenção, que representam 72,26% do CCV do edifício. Percebe-se também que os custos de consumo de energia e água (custos operacionais) são bastante representativos com relação aos custos totais no ciclo de vida da edificação. Portanto, observa-se que, em ambos os casos, a redução das despesas de consumo constitui o principal fator para que se consiga reduzir o custo total do ciclo de vida dos edifícios estudados.

Tabela 5 ▼

Comparativo dos custos totais das propostas nos cenários analisados para o Edifício B.
Fonte: dados da pesquisa

4.2.1 Obtenção dos custos totais a partir das propostas de *retrofit*

Realizou-se um comparativo entre os custos totais das propostas nos três cenários de análise. A Tabela 5 traz um resumo desses custos.

Proposta	Retrofit em 2021 (US\$)	Diferença de custo em relação ao CCV existente (US\$)	Retrofit com meia vida útil (2022) (US\$)	Diferença de custo em relação ao CCV existente (US\$)	Adoção das propostas na fase de construção (1997) (US\$)	Diferença de custo em relação ao CCV existente (US\$)
Existente			15.265.636,05			
01	15.263.261,33	-2.374,72	15.263.366,59	-2.269,46	15.254.220,81	-11.415,24
02	15.230.884,50	-34.751,55	15.231.305,52	-34.330,53	15.196.703,49	-68.932,56
03	15.238.200,07	-27.435,98	15.238.515,84	-27.120,21	15.212.671,98	-52.964,07
04	15.242.192,05	-23.444,00	15.242.718,33	-22.917,72	15.197.897,15	-67.738,90
05	15.576.059,93	310.423,88	15.578.270,30	312.634,25	15.357.943,94	92.307,89
06	15.520.253,33	254.617,28	15.523.516,26	257.880,21	15.214.247,21	-51.388,84

Por meio da Tabela 5, observa-se que o comportamento dos custos totais do Edifício B com a adoção das propostas ocorrendo em 2021 ou com metade da vida útil, em 2022, não varia muito. Os valores com variação negativa significam que o CCV da proposta é superior ao CCV da edificação nas condições existentes.

Nota-se, nos dois cenários, que os custos totais do edifício existente e das quatro primeiras propostas são praticamente iguais e que, apesar do aumento dos custos de obras e reformas das propostas 05 e 06, os custos totais delas variam menos de US\$ 400 mil em relação ao prédio em condições originais.

Assim, é possível verificar que todas as propostas geram benefícios econômicos em relação ao CCV do Edifício B, apesar de as propostas 05 e 06 gerarem um aumento no CCV da edificação, variando entre US\$ 310.423,88 e US\$ 254.617,28, algo próximo a 2%, o que ainda as torna viáveis economicamente, afinal, ambientalmente, são as propostas que apresentam maior redução de consumo de energia operacional.

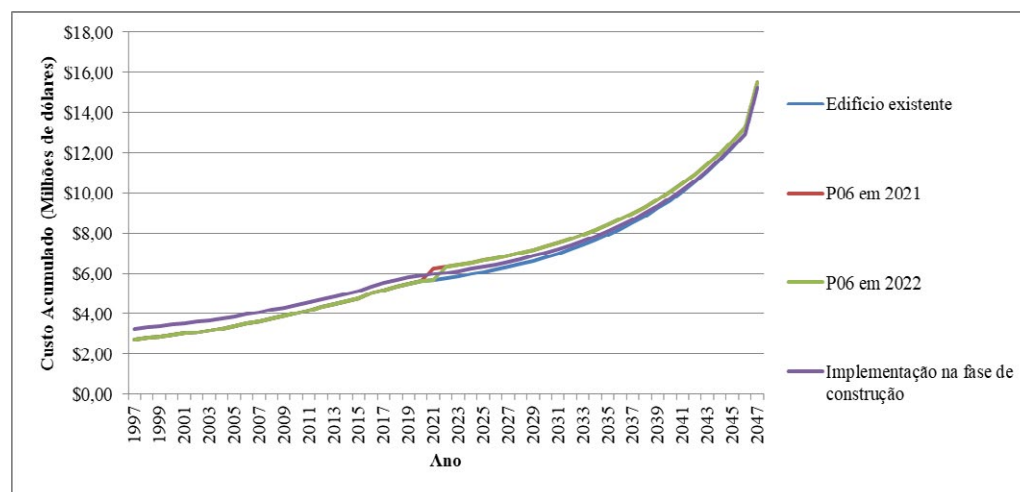
Ainda de acordo com a Tabela 5, nota-se que, caso as propostas sustentáveis fossem adotadas ainda na fase de construção do edifício, em 1997, o comportamento dos custos do edifício existente e de todas as propostas é praticamente igual. Apesar de as propostas apresentarem acréscimo nos custos de construção, a redução nos custos operacionais torna os custos totais de todas as propostas relativamente próximas do custo do edifício existente; assim, é possível dizer que, além do benefício ambiental, há um benefício econômico na implementação das medidas sugeridas.

Verifica-se que, nesse cenário, a implementação das propostas 01, 02, 03, 04 e 06 reduziria os custos totais da Edificação B, garantindo benefícios econômicos além de benefícios ambientais. A proposta 05 gera um acréscimo de custo de US\$ 92.307,89, inferior a 1%, o que ainda a torna interessante de ser implementada, já que se mostra viável ambientalmente.

Comparando-se o comportamento desses custos nos três cenários analisados, pode ser dito que a adoção das seis propostas ainda na fase de construção é o cenário que apresenta melhor desempenho econômico. Em relação às propostas, isoladamente a proposta 05 é aquela que apresenta melhor desempenho ambiental – ela pode gerar uma redução de mais de 10% de consumo de energia operacional; porém, é a proposta 06, reunião de todas as demais propostas, que se apresenta como melhor opção, já que, em relação ao aspecto ambiental, trata-se da proposta com maior redução de consumo de energia operacional e, no aspecto econômico, apresentou redução de CCV.

A Figura 3 traz as linhas de base de custos de ciclo de vida do Edifício B no cenário atual e com a adoção da proposta 06 nos três cenários propostos.

Figura 3 ►
Linhas de base de custos de ciclo de vida do Edifício B com a adoção da proposta 06 nos três cenários estudados.
Fonte: dados da pesquisa



Como se nota na Figura 3, as linhas de base tendem a se comportar de forma exponencial. As linhas dos cenários com adoção do *retrofit* em 2021 e 2022 seguem iguais à linha do edifício existente até o ano em que se pretende realizar o *retrofit*; nesse momento o gráfico toma um comportamento linear pontual, graças ao custo de implementação das propostas; posteriormente, as curvas seguem um comportamento exponencial, aproximando-se novamente da linha do edifício existente nos anos finais da edificação.

Já o cenário de adoção das medidas no período da construção do edifício mostra uma curva exponencial afastada superiormente da curva do edifício existente, que tende a se aproximar a partir da segunda metade da vida útil da edificação. No final da vida útil da edificação, as quatro curvas apresentam uma tendência de sobreposição, o que mostra uma proximidade nos custos acumulados das quatro situações analisadas, mas, analisando-se o fim de cada curva, percebe-se que a adoção da sexta proposta na fase de construção é o cenário com menor custo.

4.3 Determinação do custo máximo possível para implementação das propostas

Apesar de o melhor cenário para a implementação das propostas ser na fase de construção – isto é, pensado ainda na fase de projeto e implementado na construção do edifício –, foi realizada uma análise de sensibilidade dos dados de *retrofit* em 2021, a fim de se determinar qual o maior valor que a adoção das propostas poderia custar no intuito de realizar os *retrofits* em 2021 sem que o CCV das propostas se tornasse superior ao CCV do edifício na condição existente.

A Tabela 6 traz o custo de implementação de cada uma das seis propostas estudadas, o valor máximo que poderia ser acrescentado nos custos de obras e reformas sem gerar acréscimos nos custos totais e qual o custo máximo possível para que, uma vez implementadas as propostas, o CCV de cada uma delas não ultrapasse o atual CCV do Edifício A.

Tabela 6 ►
Custo máximo possível para implementação das propostas no Edifício A.
Fonte: dados da pesquisa

Proposta	Custo de implementação (R\$)	Valor máximo a ser acrescentado nos custos de obras e reformas (R\$)	Custo máximo possível para implementação (R\$)
01	93.204,47	3.321,15	89.883,32
02	19.992,60	72.328,46	52.335,86
03	30.992,94	119.100,96	88.108,02
04	83.687,23	320.601,09	236.913,86
05	2.516.852,53	2.417.217,94	99.634,59
06	2.744.729,76	2.615.204,80	129.524,97

Nota-se que, entre as seis propostas apresentadas, apenas com as propostas 01, 05 e 06 seria possível gerar um aumento no custo de obras e reformas em 2021 sem gerar aumento no custo total do edifício; entretanto, para isso, essas propostas deveriam custar um preço bem inferior ao estimado: no caso da proposta 01, cerca de 3,5% a menos, um valor 96% menor na proposta 05 e 95,3% menor na proposta 06. No caso das propostas

02, 03 e 04, qualquer que seja o custo de implementação, elas gerariam acréscimo no custo total da edificação. A Tabela 7 traz a mesma análise para o Edifício B.

Tabela 7 ▶
Custo máximo possível para implementação das propostas no Edifício B.
Fonte: dados da pesquisa

Proposta	Custo de implementação (R\$)	Valor máximo a ser acrescentado nos custos de obras e reformas (R\$)	Custo máximo possível para implementação (R\$)
01	33.016,06	9.380,16	42.396,22
02	32.316,24	137.268,64	169.584,88
03	18.816,54	108.372,12	127.188,67
04	119.377,29	92.603,82	211.981,10
05	2.116.494,95	1.226.174,31	890.320,64
06	2.320.021,08	1.005.738,23	1.314.282,85

Para o Edifício B, com todas as seis propostas seria possível gerar um aumento no custo de obras e reformas em 2021 sem gerar aumento no custo total do edifício, sendo que o custo de implementação das quatro primeiras propostas poderia ser até superior ao custo estimado e ainda assim elas não gerariam aumento do CCV. Já para as propostas 05 e 06 serem viáveis, seria preciso uma redução de cerca de 50% do custo estimado.

4.4 Discussão dos resultados

Diferentemente de trabalhos anteriores em que a análise de CCV foi utilizada apenas para comparação de diferentes propostas de projeto, este trabalho utiliza o CCV para avaliar diferentes momentos de realização de *retrofits* e, assim, conhecer qual o melhor cenário para realizá-los. Além disso, por meio desta pesquisa também foi possível avaliar parâmetros necessários para que a implementação de um *retrofit* sustentável não torne o CCV da edificação mais caro que seu CCV original.

Os resultados desta pesquisa corroboram o que é apresentado na literatura. Assim como encontrado por Yudelson (2008), Dwaikat e Ali (2016), Chegut, Eichholtz e Kok (2019) e Kats (2003), foi verificado que o *retrofit* pode, sim, trazer benefícios econômicos aos prédios, apesar do seu custo de implementação.

A pesquisa mostra ainda que esses benefícios são melhor explorados quando a construção já é projetada com as propostas desde o início do ciclo de vida, o que também já é apresentado por alguns trabalhos que falam a respeito da importância da adoção prévia das propostas e da possibilidade de amortização do aumento de custo inicial.

Com relação ao CCV, a pesquisa corrobora os achados de Peri *et al.* (2012), Ristimäki *et al.* (2013), Minne e Crittenden (2015), Islam *et al.* (2015), Bhochhibhoya *et al.* (2017) e Dwaikat e Ali (2018), evidenciando que uma opção inicialmente mais barata não necessariamente é a opção mais economicamente viável ao longo da vida útil de uma edificação.

Além disso, os resultados desses trabalhos mostram a importância da análise do custo de ciclo de vida para tomada de decisões de projetos. Uma análise de viabilidade econômica baseada em toda a vida útil dos projetos auxilia na escolha de opções que inicialmente seriam tidas como menos vantajosas, mas que, considerando todo o ciclo de vida da edificação, revelam-se como as opções mais viáveis.

No âmbito acadêmico, os resultados desta pesquisa auxiliam no estudo da influência de *retrofits* no aspecto econômico de edificações, além dos aspectos ambientais.

Vale destacar que a utilização da metodologia do CCV mostrou-se apropriada, pois permitiu avaliar diferentes propostas e cenários, tendo em vista toda a vida útil dos empreendimentos. Além disso, torna-se interessante na prática por ajudar construtores e investidores a conhecer propostas de construção econômicas em longo prazo atreladas a benefícios ambientais.

5 Considerações finais

Foi possível quantificar os diferentes custos associados ao ciclo de vida de uma edificação; avaliar as propostas de *retrofit* quanto à redução de consumo de energia operacional das edificações estudadas; comparar o CCV original (cenário referência) dos edifícios estudados com o CCV desses edifícios com a adoção das propostas de *retrofit*; e realizar uma análise de sensibilidade dos dados considerando-se a adoção das propostas de *retrofit* em 2021. Finalmente, foi cumprido o objetivo principal de analisar a influência da realização de *retrofits* no valor dos custos totais de ciclo de vida de edificações de alto padrão.

Vale destacar que a sustentabilidade é sustentada por três pilares: econômico, ambiental e social. Como mostraram alguns trabalhos, a carência de estudos na área de construções sustentáveis considerando-se o pilar econômico é muito grande, e esta pesquisa torna-se uma contribuição para essa área.

Em relação aos resultados, notou-se que os custos associados à operação e manutenção predial são muito maiores do que os custos de projeto e construção desses edifícios, representando mais de 60% dos custos totais nas duas edificações estudadas. Portanto, nota-se que, em ambos os casos, a redução das despesas de consumo (energia, gás, água etc.) constitui o principal fator para que se consiga reduzir o custo total do ciclo de vida dos edifícios.

Sobre a viabilidade da implementação das propostas sustentáveis, concluiu-se que o melhor momento para a implementação seria ainda na fase de construção da edificação, pois, desse modo, a redução de consumo energético desde o início da operação do edifício ajuda a diluir os custos adicionais para adotar essas propostas, tornando seu custo total próximo ao custo do edifício existente.

É possível concluir que a relação entre benefícios ambientais e econômicos pode ter comportamento inversamente proporcional em curto prazo, ou seja, algumas propostas que geram melhores benefícios ambientais apresentam maior custo de implementação, mas, quando considerado o ciclo de vida da edificação, esse custo a mais é diluído e o saldo econômico-ambiental é positivo.

Acerca da determinação do custo máximo possível para implementação das propostas, conclui-se que, para o Edifício A, por este ser um edifício que já ultrapassou a metade da vida útil estimada para o estudo, o custo de implementação das propostas é superior à economia que as medidas podem gerar, sendo assim, para não gerar aumento no CCV do edifício, essas propostas deveriam custar um preço bem inferior ao estimado. No caso do Edifício B, em quatro das seis propostas de *retrofit*, o acréscimo do custo de implementação dessas medidas ainda tornaria sua adoção satisfatória economicamente quando comparado ao CCV da edificação existente.

No cenário brasileiro, a pesquisa colabora para suprir a carência de trabalhos voltados para o pilar econômico da sustentabilidade e pode servir de parâmetro para futuros trabalhos, já que não foram identificados trabalhos nacionais com análise de CCV de edificações habitacionais nem com estudo da viabilidade de projetos e medidas sustentáveis através da Análise de Custo de Ciclo de Vida de empreendimentos.

Sugere-se, para futuras pesquisas, o estudo de outras propostas sustentáveis, para que se conheça seu impacto ambiental, econômico e até mesmo social. Assim, incorporadoras teriam à disposição bases de dados para a adoção de projetos sustentáveis sob um aspecto econômico que considere toda a vida útil do empreendimento.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BAKIS, N.; KAGIOUGLOU, M.; AOUAD, G.; AMARATUNGA, D.; KISHK, M.; AL-HAJ, A. An integrated environment for life cycle costing in construction. *In: CIB W78 CONFERENCE*, 20., 2003, New Zealand. **Proceedings** [...]. New Zealand: University of Auckland, 2003. Disponível em: <https://www.cs.auckland.ac.nz/w78/papers/W78-44.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BHOCHHIBHOYA, S.; PIZZOL, M.; ACHTEN, W. M. J.; MASKEY, R. K.; ZANETTI, M.; CAVALLI, R. Comparative life cycle assessment and life cycle costing of lodging in the Himalaya. **The Internatioanl Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 1851-1863, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1212-8>.

BOWMAN, R.; WILLS, J. **Valuing green**: how green buildings affect property values and getting the valuation method right. Sydney: Green Building Council of Australia, 2008. Disponível em: https://www.gbca.org.au/docs/NSC0009_ValuingGreen.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

BUYLE, M.; AUDENAERT, A.; BRAET J.; DEBACKER, W. Towards a more sustainable building stock: optimizing a flemish dwelling using a life cycle approach. **Buildings**, v. 5, n. 2, p. 424-448, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings5020424>.

CHEGUT, A.; EICHHOLTZ, P.; KOK, N. The price of innovation: an analysis of the marginal cost of green buildings. **Journal of Environmental Economics and Management**. v. 98, 102248, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.07.003>.

DWAIKAT, L. N.; ALI, K. N. Green buildings cost premium: a review of empirical evidence. **Energy and Buildings**, v. 110, p. 396-403, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.021>.

DWAIKAT, L. N.; ALI, K. N. Green buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: practical applications. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 303-311, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.015>.

GASPARY, F. P.; LOPES, C. E. J. Retrofit na revitalização do patrimônio histórico no Rio Grande do Sul, Brasil – um estudo de casos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA RECUPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 3., 2010, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

GIACOMIN, R. F. **Eficiência energética das tipologias representativas de edifícios residenciais de um bairro à luz do PBE Edifica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/9492>. Acesso em: 16 jun. 2022.

GLUCH, P.; BAUMANN, H. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. **Building and Environment**, v. 39, n. 5, p. 571-580, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.10.008>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Inflação**. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 16 jun. 2020.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Taxa de câmbio - R\$ / US\$ - comercial - venda - média**. Atualizado em 03/01/2022. Brasília, DF: IPEA, 2022. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924>. Acesso em: 16 jun. 2022.

ISLAM, H.; JOLLANDS, M.; SETUNGE, S.; HAQUE, N.; BHUIYAN, M. A. Life cycle assessment and life cycle cost implications for roofing and floor designs in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 104, p. 250-263, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.017>.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-5:2017**. Buildings and constructed assets. Service life planning. Part 5: Life-cycle costing. Geneva: ISO, 2017. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-5:ed-2:v1:en>. Acesso em: 16 jun. 2022.

KATS, G. **The costs and financial benefits of green buildings**: A report to California's sustainable building task force. Reston: Health Care Without Harm, 2003. Disponível em: <https://noharm-uscanada.org/documents/costs-and-financial-benefits-green-buildings-report-california's-sustainable-building-task>. Acesso em: 16 jun. 2022.

KHASREEN, M. M.; BANFILL, P. F. G.; MENZIES, G. F. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. **Sustainable**, v. 1, n. 3, p. 674-701, 2009. DOI: <https://doi.org/10.3390/su1030674>.

KISHK, M.; AL-HAJJ, A.; POLLOCK, R.; AOUAD, G.; BAKIS, N.; SUN, M. Whole life costing in construction: a state of the art review. **RICS Research Paper Series**, v. 4, n. 18, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/28579031_Whole_life_costing_in_construction_A_state_of_the_art_review. Acesso em: 16 jun. 2022.

MA, Z.; COOPER, P.; DALY, D.; LEDO, L. Existing building retrofits: methodology and state-of-the-art. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 889-902, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>.

MINNE, E.; CRITTENDEN, J. C. Impact of maintenance on life cycle impact and cost assessment for residential flooring options. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 36-45, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0809-z>.

MORRIS, P.; LANGDON, D. What does green really cost? **PREA Quarterly**, v. 1, n. 3, p. 55-60, 2007. Disponível em: <https://www.lccss.org/GreenBuildings/MorrisArticle.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Pay now or pay later**: controlling cost of ownership from design throughout the service life of public buildings. Washington, D.C.: The National Academies Press, 1991. DOI: <https://doi.org/10.17226/1750>.

ÖBERG, M. **Integrated life cycle design**: applied to concrete multi-dwelling buildings. 2005. Tese (Doutorado em Gestão da Construção) – Division of Building Materials, Lund University, Lund, 2005. Disponível em: <https://portal.research.lu.se/en/publications/integrated-life-cycle-design-applied-to-concrete-multi-dwelling-b>. Acesso em: 16 jun. 2022.

PERI, G.; TRAVERSO, M.; FINKBEINER, M.; RIZZO, G. The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: covering the gap. **Energy**, v. 48, n. 1, p. 406-414, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.045>.

RAMESH T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1592-1600, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>.

RISTIMÄKI, M.; SÄYNÄJOKI, A.; HEINONEN, J.; JUNNILA, S. Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. **Energy**, v. 63, p. 168-179, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.030>.

SARTORI, T. G. **Medidas de retrofit em edifícios típicos existentes de um bairro**: desempenho e avaliação do ciclo de vida energético. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/10171>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SCHADE, J. **Life cycle cost calculation models for buildings**. In: NORDIC CONFERENCE ON CONSTRUCTION ECONOMICS AND ORGANISATION, 2007, Luleå. **Proceedings** [...]. Luleå: Luleå Tekniska Universitet, 2007. p. 321-329. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1005357/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SCHIAVONI, S.; D’ALESSANDRO, F.; BIANCHI, F.; ASDRUBALI, F. Insulation materials for the building sector: a review and comparative analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 988-1011, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.045>.

SCHNEIDEROVA-HERALOVA, R. Importance of life cycle costing for construction projects. **Engineering for Rural Development**, v. 17, p. 1223-1227, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N405>.

SINDUSCON-ES – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Valor do CUB**. 2020. Disponível em: http://www.sinduscon-es.com.br/v2/cgi-bin/cub_valor.asp?menu2=25. Acesso em: 15 jun. 2020.

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos. 15. ed. São Paulo: Pini, 2017.

WOO, J.-H.; MENASSA, C. Virtual retrofit model for aging commercial buildings in a smart grid environment. **Energy and Buildings**, v. 80, p. 424-435, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.004>.

YUDELSON, J. **The green building revolution**. Washington, DC: Island Press, 2008.

ZHANG, Z.; WU, X.; YANG, X.; ZHU, Y. BEPAS: a life cycle building environmental performance assessment model. **Building and Environment**, v. 41, n. 5, p. 669-675, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.028>.

ZIMMERMANN, M. **Life cycle costing**. Norderstedt: Grin Verlag, 2005.