

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

AVALIAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DO RETROFIT DA ENVOLTÓRIA EM UM EDIFÍCIO PÚBLICO, COM SUPORTE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

PRADO, Allan Kardec José Araújo (1); SILVA, Caio Frederico e (2); ROMERO, Marcelo de Andrade (3)

(1) CGU, email: allan.prado@cgu.gov.br, (2) UnB, email: caiosilva@unb.br; (3) USP, marcelo_romero@icloud.com

RESUMO

No atual cenário de restrição orçamentária, a melhoria do desempenho energético de edificações públicas constitui-se em uma importante estratégia para redução dos gastos governamentais com o consumo de eletricidade, contribuindo também para a redução das emissões de CO² relacionadas ao setor. Sabe-se que nos edifícios públicos brasileiros, os sistemas de condicionamento de ar podem ser responsáveis por até metade do consumo total de energia, sendo que o desempenho destes está diretamente relacionado à eficiência energética da envoltória. Neste contexto, este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de retrofit da envoltória do Edifício Darcy Ribeiro, sede do Ministério da Transparência e Controladoria-Geral da União (CGU), em Brasília - Distrito Federal (DF), demonstrando o impacto da proposta na eficiência energética da edificação, bem como o custo-benefício da intervenção, por meio do cálculo do *payback*. Para tanto, o estudo foi realizado em 4 etapas, sendo a primeira a avaliação qualitativa da eficiência energética atual da edificação, por meio da plataforma de cálculo Benchmarking de Prédios Públicos, e da avaliação da eficiência de sua envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C¹. Em uma segunda etapa, seguindo as diretrizes bioclimáticas para a cidade de Brasília, foi realizada uma proposta conceitual para o retrofit da envoltória do edifício, incluindo orçamento estimado. Em seguida foram realizadas simulações computacionais com o programa Design Builder (versão 4.5), tanto da situação atual da envoltória quanto da solução proposta, de forma a quantificar o ganho no desempenho térmico da edificação. Por fim, foi realizado o cálculo do *payback*, confrontando o valor necessário do investimento inicial versus a potencial economia no consumo de energia do sistema de ar condicionado, aferida por meio das simulações realizadas.

Palavras-chave: retrofit, envoltória, desempenho termoenergético, simulação computacional, edifício público, *payback*.

ABSTRACT

In the current budget constraint scenario, improving the energy performance of public buildings is an important strategy to reduce government spending on electricity consumption. It also contributes to the reduction of CO² emissions related to the sector. It is known that in Brazilian public buildings, air conditioning systems can account for 50% of the total energy consumption, and their performance is directly related to the energetic efficiency of the envelope. In this context, this article aims to present a proposal for the retrofit of the Darcy Ribeiro Building, headquarters of the Ministry of Transparency, in Brasília - Federal District (DF), demonstrating the impact of the proposal on the energy efficiency of as well as the cost-benefit of the intervention, through the calculation of payback. To do so, the study was carried out in 4 stages, the first being the qualitative evaluation of the current energy efficiency of the building, through the Benchmarking Calculation Platform of Public Buildings, and the evaluation of the efficiency of its envelope, by applying the method of the RTQ-C. In a second stage, following the bioclimatic guidelines for the city of Brasília, a conceptual proposal was made for the retrofit of the building envelope, including estimated budget. Afterwards, computational simulations were carried out with the software Design Builder (version 4.5), both of the present situation of the envelope and the proposed solution, in order to quantify the gain in the thermal

¹ Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (INMETRO, 2010)

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

performance of the building. Finally, the payback calculation was carried out, comparing the necessary value of the initial investment versus the potential savings in the energy consumption of the air conditioning system, as measured by the simulations.

Keywords: retrofit, envelope, thermoenergetic performance, computational simulation, public building

1. INTRODUÇÃO

Considerando que as edificações representam cerca de 30% do consumo total de energia do planeta (ROMÈRO; REIS, 2014), a eficiência energética do ambiente construído emerge como um dos temas centrais no atual cenário mundial de busca pela sustentabilidade, seja esta econômica, ambiental ou social.

No âmbito nacional, as edificações residenciais, comerciais e públicas são responsáveis por cerca de 50% do total de energia elétrica consumida no país, sendo que só o setor público responde por 7% do total consumido (EPE, 2017).

Conforme o Painel de Custeio Administrativo do Ministério do Planejamento, foram gastos no âmbito do governo federal, no ano de 2017, cerca de 2 bilhões de reais com contratos de energia elétrica (MPDG, 2018). Se somados a mais 3 bilhões de reais despendidos com a manutenção e conservação de bens imóveis e equipamentos, tem-se a dimensão da ordem de grandeza das despesas anuais, apenas no plano federal, que podem ser impactadas positivamente por ações de conservação de energia.

Por outro lado, a capacidade de investimento do governo federal na efficientização de prédios públicos é limitada, notadamente após a promulgação da Emenda Constitucional nº 55, que estabeleceu um congelamento dos gastos do governo federal pelo período de 20 anos. Neste cenário, emerge como possível solução a adoção de modelos inovadores para o financiamento dos investimentos necessários, tais quais as Parcerias Público-Privadas e os Contratos de Performance. Tais soluções, contudo, ainda encontram diversos entraves para a sua implementação, seja pela ausência de expertise dos órgãos públicos no modelamento destas contratações, seja por não se encontrarem, ainda, inteiramente acolhidas na legislação que rege as contratações públicas, em especial a lei nº 8.666/1993, como ocorre no caso dos Contratos de Performance. (MMA, 2018)

Neste contexto, considerando que, em prédios públicos, os sistemas de ar condicionado são responsáveis por quase a metade do consumo total de energia (PROCEL, 2005), e que o desempenho destes está diretamente relacionado à eficiência energética da envoltória, o presente trabalho apresenta uma proposta de retrofit da envoltória de um edifício público, demonstrando, por meio de simulação computacional, a redução potencial do seu consumo energético, bem como o custo-benefício da intervenção e o tempo de retorno do investimento (*payback*).

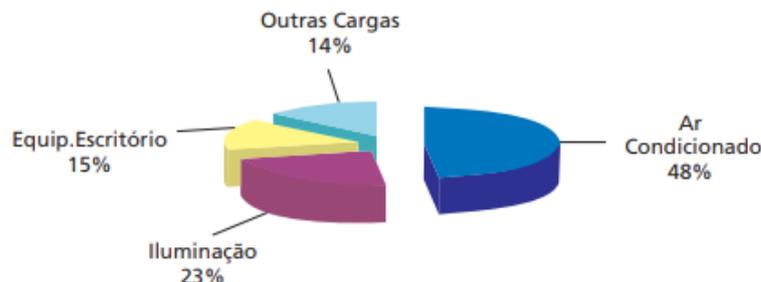


Fig. 1: Distribuição do consumo por uso final em prédios públicos.
Extraído de: PROCEL, 2005

Espera-se, assim, contribuir para a disseminação do tema da eficiência energética em edificações públicas, evidenciando, por meio da análise de um caso particular, as oportunidades existentes para redução de custos em edificações similares, e suscitando, ainda que de forma tangencial, o debate acerca da necessidade da adoção de instrumentos inovadores para o financiamento de tais intervenções.

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

2. OBJETIVO

Apresentar uma proposta de retrofit da envoltória da sede do Ministério da Transparência e Controladoria-Geral da União, em Brasília-DF, demonstrando, por meio de simulação computacional, a redução potencial do consumo energético do seu sistema de ar condicionado, bem como o custo-benefício da intervenção, aferido pelo cálculo do *payback* do investimento inicial estimado.

3. MÉTODO

3.1 Caracterização da edificação

O Edifício Darcy Ribeiro situa-se na Quadra 1 do Setor de Autarquias Sul – Brasília – DF (Fig. 2).

O prédio constitui-se, basicamente, de um único bloco prismático de base retangular, implantado em um lote de 90m x 15m, com taxa de ocupação de 100%, e área construída total 16.467m². Possui 1 subsolo e 12 pavimentos, incluindo Térreo, Sobreloja, 9 Pavimentos-Tipo e um Pavimento Técnico, onde também encontra-se um restaurante. A altura de piso a piso típica é de 3,15m e de piso a forro (pé-direito) de 2,50m.

Está implantado com sua maior dimensão (90m) alinhada com a direção leste/oeste, com uma leve inclinação de cerca de 18° na direção nordeste.

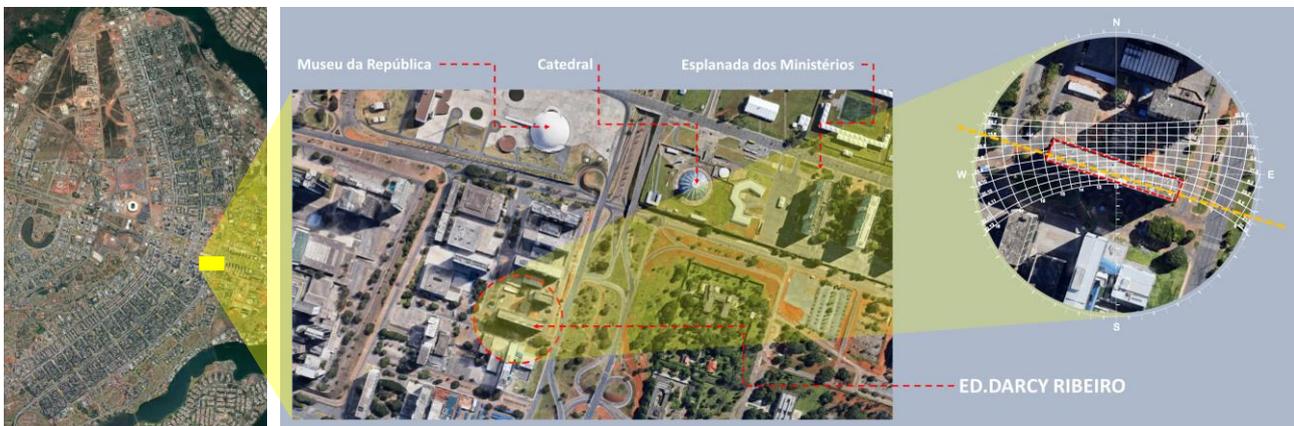


Fig. 2: Localização Edifício Darcy Ribeiro - Adaptado de Google Maps

As principais características construtivas estão apresentadas na tabela abaixo:

Envoltória	
<p>Empenas cegas laterais, de 25cm de espessura, com estrutura não aparente de concreto armado e vedações em tijolo cerâmico furado, com revestimento externo em cerâmica do tipo tijolinho, pintada na cor branca.</p> <p>Fachadas norte e sul com esquadrias estruturadas em ferro, pintadas em preto fosco, paginadas da seguinte forma:</p> <ul style="list-style-type: none">- Montantes principais fixados nas lajes, com espaçamento de cerca de 1,9m.- Do piso até a altura de 0,9m: Vidro Aramado Fixo de 4mm- De 0,9m até 2,3m do piso: Janelas fixas ou de correr, com vidro incolor de 4mm.- De 2,3m até 2,8m: Janela basculante com vidro incolor de 4mm	  <p>Fig. 3: Esquadrias</p> <p>Fig. 4: Empena Oeste</p>

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

- Vidro fixo incolor de 4mm sobre as vigas de borda entre os pavimentos.

Os vidros tem aplicação de película na cor azul metálico.

Platibanda superior de 1,1m de altura, com o mesmo revestimento das empenas.

Cobertura em telha de fibrocimento, sobre estrutura de madeira e laje de concreto, sem isolamento térmico.

Persianas internas de modelos diversos.

Não há elementos externos de proteção solar.



Fig. 5: Módulo de Esquadria



Fig. 6: Cobertura

Iluminação

Maior parte em luminárias simples de embutir, com refletor e sem aletas, com lâmpadas fluorescentes T8 de 32W.



Fig. 7: Iluminação

Ar Condicionado

Sistema não centralizado, mesclando equipamentos de janela e equipamentos split.



Fig. 8: Equipamentos de Ar Condicionado

3.2 Caracterização do Clima do Distrito Federal

O Distrito Federal está situado a cerca de 16° de latitude sul, na altitude de 1.070m, com uma temperatura média de 21,1°C, e enquadrado dentro dos limites da região tropical.

O clima do DF pode ser classificado como tropical de altitude e se caracteriza por dois períodos distintos bem definidos: período quente-úmido – verão chuvoso, de outubro a abril, com uma temperatura média de 22°C; e período frio-seco – inverno seco, de maio a setembro, com temperaturas mais baixas em seu início, a partir de fins de maio a agosto, com média de 19°C.

Devido à localização na área central do país e à sua altitude, as amplitudes diárias de temperatura são significativas, tanto no período chuvoso, de em média 10°C, quanto no período seco, de aproximadamente 14°C. Assim, ocorre com frequência sensação de desconforto decorrente da temperatura elevada durante o dia.

No que se refere à insolação, os valores oscilam em torno de 2.600 horas mensais, sendo a média no verão (estação chuvosa) de 160 horas mensais e no inverno (período seco) de 290 horas mensais.

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

A umidade relativa do ar média anual é de 67%. Durante o período seco (de abril a setembro) estes valores sofrem uma diminuição considerável, chegando a níveis inferiores a 25%. O mês mais seco é o mês de agosto, com 56% de umidade relativa média. A umidade relativa mínima absoluta registrada é de 8% no mês de setembro.

Os ventos dominantes são oriundos da orientação leste (frequência média anual), sendo mais constantes nas direções leste e sudeste, durante o inverno, e noroeste no verão. (FERREIRA, 1965 apud AMORIM et al., 2010)

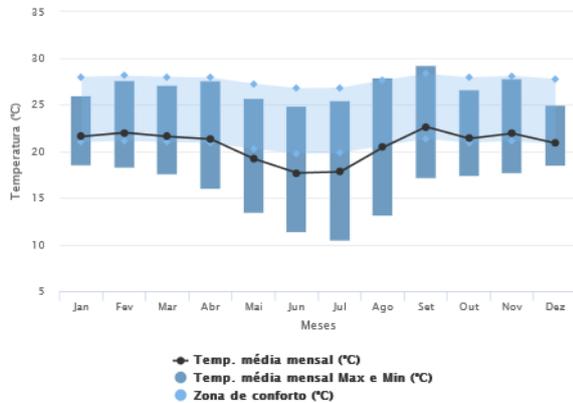


Fig. 9: Gráfico de Temperatura e Zona de Conforto – Brasília - Extraído de <http://projeteee.mma.gov.br/>

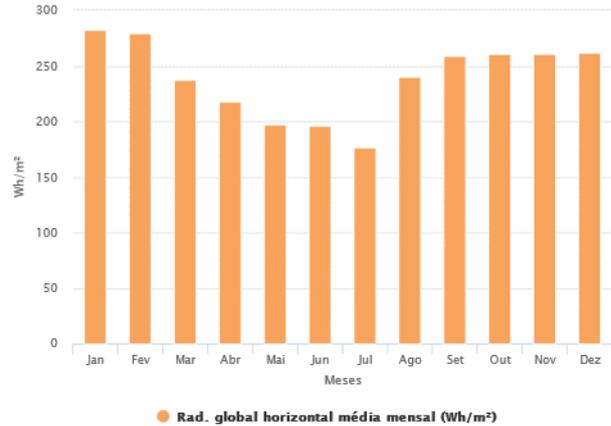


Fig. 10: Gráfico de Radiação Média Mensal – Brasília Extraído de <http://projeteee.mma.gov.br/>

Conforme a ABNT NBR 15.220:2003, Brasília está situada na Zona Bioclimática 4, e, portanto, devem ser atendidas as seguintes diretrizes:

Tabela 10 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela 11 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 4

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

Tabela 12 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fig. 11: Diretrizes construtivas para Brasília. Extraído de ABNT NBR 15.220:2003

3.3 Diagnóstico Preliminar da Eficiência Energética da Edificação

As oportunidades de efficientização de uma edificação, por meio do retrofit de seus sistemas, são tão maiores quanto maior for o seu grau de ineficiência. No caso do Edifício Darcy Ribeiro, em virtude da idade da edificação (cerca de 50 anos), da ausência de reformas estruturantes ao longo de sua vida, e da obsolescência de seus sistemas, existe a percepção empírica de sua ineficiência, porém sem a adequada quantificação.

Assim, de forma a aferir o grau de ineficiência do edifício, foram realizadas 2 avaliações:

- Benchmarking da edificação, por meio da Plataforma de Cálculo de Benchmarking Energético; e

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

- Avaliação da classificação da sua envoltória, por meio da aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C.

3.3.1 Benchmarking do Edifício Darcy Ribeiro

A Plataforma de Cálculo de Benchmarking Energético de Edificações é uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente em parceria com a Eletrobrás/Procel e o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). A ferramenta permite avaliar o desempenho de consumo de prédios em comparação com a base dados existente, consistindo, portanto, em uma forma objetiva de mensurar a eficiência energética das edificações.

Foram levantados os dados da edificação referentes às áreas e tipos de atividade, perfil populacional, e demanda/consumo energético. Para o levantamento da demanda de energia elétrica, foi utilizado um analisador de energia de marca Fluke modelo 435-II, nos meses de abril e maio de 2018. O consumo da edificação foi obtido por meio do levantamento das faturas de energia elétrica no período de junho de 2017 a maio de 2018. As informações levantadas estão resumidas no quadro abaixo:

DADOS DE ENTRADA - EDIFÍCIO DARCY RIBEIRO	
ÁREA ÚTIL (EXCETO ÁREAS TÉCNICAS E ESTACIONAMENTO) (m ²)	10.941,60 m ²
ÁREA ÚTIL CONDICIONADA (EXCETO ÁREAS TÉCNICAS E ESTACIONAMENTO) (m ²)	10.267,80
ÁREA DE ESTACIONAMENTOS COBERTOS (m ²)	417
NÚMERO DE ANDARES (EXCETO SUBSOLO, INCLUÍDO TÉRREO E SOBRELOJA)	12
PRINCIPAL SISTEMA DE AR CONDICIONADO	EQUIPAMENTOS DE JANELA E SPLIT
NÚMERO DE OCUPANTES PERMANENTES NO ESCRITÓRIO	1.205
CONSUMO ANUAL DO CPD (OU DATACENTER) EM kWh	502.554,4
POTÊNCIA MÉDIA DO CPD (OU DATACENTER) MEDIDO DURANTE A OPERAÇÃO (Kw)	59,3
ÁREA EXTERNA ILUMINADA DURANTE A NOITE (m ²)	423,
USO DE GERADOR PARA ABASTECIMENTO DURANTE AS HORAS DE PICO?	NÃO
OUTROS USOS SIGNIFICATIVOS DENTRO DO EDIFÍCIO	%
ESCRITÓRIO	90
COZINHA INDUSTRIAL	4
REFEITÓRIO	1
LABORATÓRIO	0
ATENDIMENTO AO PÚBLICO	1
ESPAÇO CULTURAL OU DE EVENTOS	1
OUTROS (AUDITÓRIO, BANCO, BERÇARIO)	3

Tabela 1: Dados de entrada do Ed. Darcy Ribeiro – Plataforma de Benchmarking
Fonte: Autores

Após a inserção dos dados de entrada, a ferramenta classificou a edificação como “ineficiente”, por ter atingido o valor de 179 kWh/m²/ano, com a projeção de consumo anual de 1.966.000 kWh/Ano.

A meta para edificações com o perfil do Ed. Darcy Ribeiro seria de 140k Wh/m²/ano para “muito eficiente ou boa prática” e 149 kWh/m²/ano para “típico”. Assim, para ser enquadrado na classificação “muito eficiente ou boas práticas”, haveria uma necessidade de redução da ordem de 23% do consumo anual de energia do prédio.

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

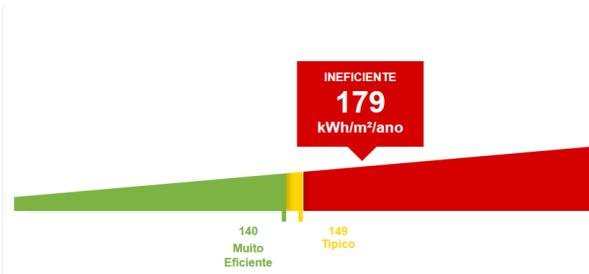


Fig. 12: Classificação do Ed. Darcy Ribeiro – Cenário Atual - Extraído de Ferramenta de Benchmarking de Edificações (<http://benchmarkingenergia.cbcs.org.br/>)



Fig. 13: Classificação do Ed. Darcy Ribeiro – Cenário Eficiente - Extraído de Ferramenta de Benchmarking de Edificações (<http://benchmarkingenergia.cbcs.org.br/>)

3.3.2 Avaliação da classificação da sua envoltória, por meio da aplicação do RTQ-C

Conforme o RTQ-C (INMETRO, 2010), a avaliação da eficiência energética de edifícios, para fins de obtenção da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) pode ser realizada pelo método prescritivo ou de simulação.

O método prescritivo é um procedimento analítico onde é aplicada uma equação, que varia conforme a zona bioclimática que a edificação está localizada, tendo como entrada dados relativos às características da envoltória, iluminação e condicionamento de ar. A pontuação obtida determina a classificação de eficiência da edificação (etiqueta A, B, C, D ou E).

O método de simulação consiste em comparar o desempenho termoenergético da edificação real com edificações de referência (A, B, C e D). Para tanto é necessário realizar a simulação dos modelos (real e de referência) por meio de um software especializado.

A ENCE pode ser **Geral** - abrangendo Envoltória (características dos fechamentos de edificação – cobertura e paredes, geometria, áreas de abertura tipo de vidro, proteções solares), Iluminação (sistema e equipamentos) e Condicionamento de Ar (sistema e equipamentos) – ou **Parcial** - abrangendo a verificação de apenas um ou dois sistemas escolhidos, sempre contemplando a avaliação da Envoltória.

Para o presente estudo foi realizado o cálculo do nível de eficiência apenas para a envoltória da edificação, pelo método prescritivo, com auxílio da ferramenta Webprescritivo, desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Primeiramente foram levantadas as variáveis volumétricas e dimensionais da edificação:

Aenv (Área de Envoltória)	8.120,00 m²
Apcob (Área de Projeção da Cobertura)	1.350,00 m²
Ape (Área de Projeção do Edifício)	1.350,00 m²
Vtot (Volume Total)	51.300,00 m³
Atot (Área Total Construída)	16.647,00 m²
PAFt (Percentual de Aberturas na Fachada – Total)	0,81 (81%)
PAFo (Percentual de Aberturas na Fachada Oeste)	0%
AVS (Ângulo de Sombreamento Vertical)	0°
AVH (Ângulo de Sombreamento Horizontal)	0°
FS (Fator Solar dos Vidros)	0,84

Obs.: Fator Solar considerado para Vidro Float Incolor de 4mm (WESTPHAL, 2016)

Tabela 2: Variáveis volumétricas e dimensionais
Fonte: Autores

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

Após a entrada dos dados na ferramenta WebPrescritivo, a eficiência resultante da envoltória foi calculada como **Nível E**. Com esse resultado, tornou-se desnecessária a avaliação dos pré-requisitos, visto que estes são considerados apenas para manter ou rebaixar níveis mais elevados de eficiência.

The screenshot shows the 'Envoltória' (Envelope) tool interface. It is divided into three main sections: 'Localização', 'Dados Dimensionais da Edificação', and 'Características das Aberturas'.
1. 'Localização': Includes a radio button for 'Zona Bioclimática' (selected) with a dropdown set to 'ZB 4', and a radio button for 'Cidade' with a dropdown set to 'Água Branca AL'. There is also a 'Pré-requisitos' checkbox which is unchecked.
2. 'Dados Dimensionais da Edificação': A table of building dimensions:

A _{TOT}	16647	m ²	FA: 0.08
A _{PCOB}	1350	m ²	
A _{pE}	1350	m ²	
V _{TOT}	51300	m ³	FF: 0.16
A _{ENV}	8120	m ²	

3. 'Características das Aberturas': A table of opening characteristics:

FS	0.84
PAF _T	81%
PAF _O	0%
AVS	0°
AHS	0°

At the bottom, there are buttons for 'Calcular Eficiência' and 'Limpar', and a color-coded efficiency scale with 'E' highlighted in red.

Fig. 14: Entrada de dados da ferramenta WebPrescritivo e resultado da avaliação

3.3.3 Proposta de Retrofit da Envoltória

Por meio de simulações na ferramenta WebPrescritivo, com a alteração dos parâmetros das aberturas da edificação, constatou-se que as seguintes características são determinantes para a baixa classificação da envoltória, pelo método prescritivo:

- Alta percentagem de aberturas na fachada (81%)
- Alto Fator Solar dos vidros (0,84)
- Ausência de proteções solares

Assim, verificou-se os seguintes cenários possíveis para a melhoria da classificação da Envoltória, considerando o atendimento dos pré-requisitos necessários para a manutenção de cada nível:

- **Cenário 1:** Substituição dos vidros por novos vidros com baixo Fator Solar (0.31): **Classificação Resultante “C”**
- **Cenário 2:** Substituição dos vidros por novos vidros com baixo Fator Solar (0.31) + Redução do PAF_T para 47%: **Classificação Resultante “B”**
- **Cenário 3:** Substituição dos vidros por novos vidros com baixo Fator Solar (0.31) + Instalação de Brises Horizontais e Verticais com ângulo de sombreamento de 45° + Redução do PAF_T para 47%: **Classificação Resultante “A”**

Com base nos cenários avaliados e nas diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4, foi elaborado uma proposta conceitual para o retrofit da envoltória da edificação, o qual passa-se a denominar de **Projeto Base**.

Esta proposta inicial consiste, basicamente, nas seguintes alterações:

- Redução do percentual de aberturas nas fachadas norte e sul, de 100% para 60% (com redução do Percentual Total para 47%), com implantação de peitoril em parede de alvenaria de 25cm de largura e 100cm de altura do piso.
- Novas esquadrias de alumínio com vidro de controle solar (Fator Solar = 0,31).
- Utilização de brises externos nas fachadas norte e sul, consistindo em elementos metálicos fixos em alumínio, com ângulos de sombreamento vertical e horizontal de 45°. (Fig. 15 e 16)

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

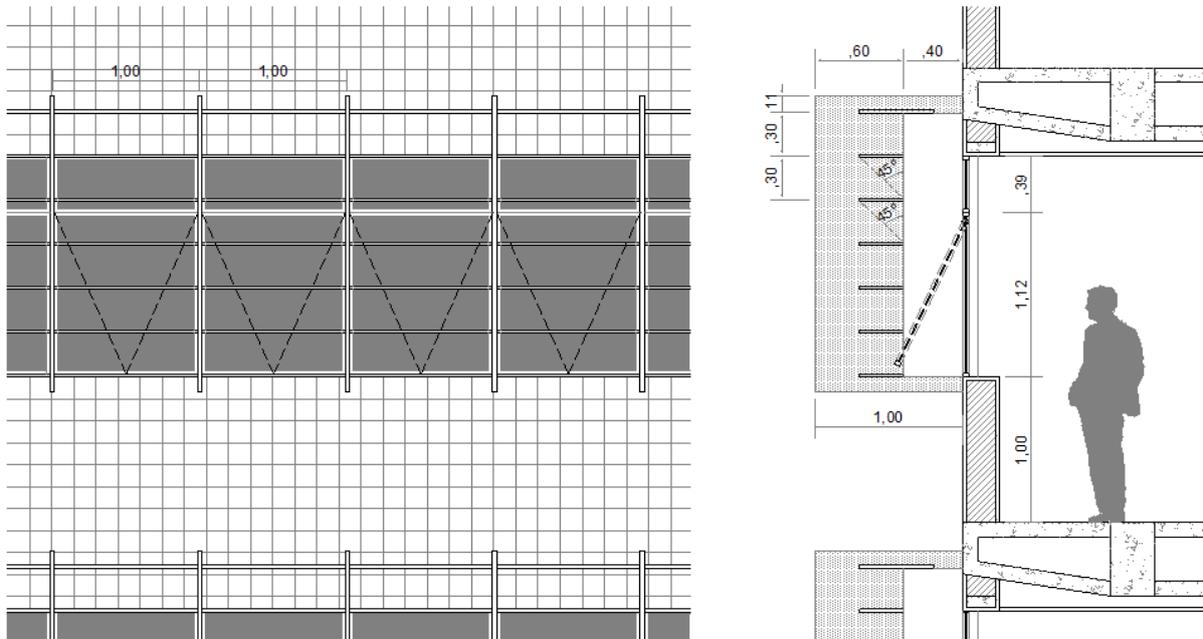


Fig. 15: Elevação e Corte Esquemático – Proposta de Retrofit
Fonte: Autores

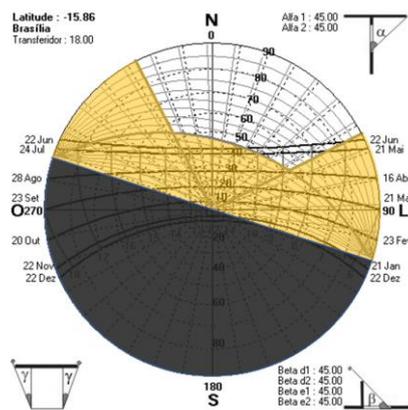


Fig. 16: Máscara de Sombreamento – Fachada Sul – Adaptado do software Sol-Ar

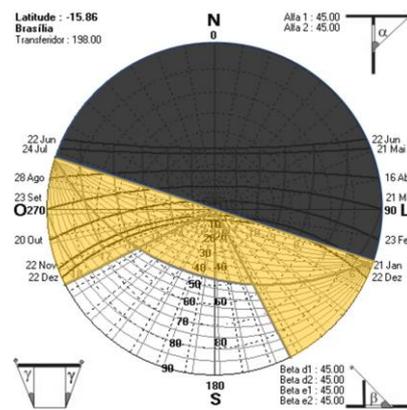


Fig. 17: Máscara de Sombreamento – Fachada Norte – Adaptado do software Sol-Ar

Considerando que o escopo do trabalho limita-se à eficiência da envoltória, não foi proposta alteração nos sistemas de iluminação e ar condicionado.

Simulação Computacional

Com o propósito de aferir o esperado ganho no desempenho energético da edificação com a implantação do Projeto Base, foram realizadas duas modelagens no software *Design Builder* (versão 4.5). A primeira contemplou a modelagem da edificação com as características atuais, de forma a obter o perfil de consumo energético a ser utilizado como base de comparação. Em seguida modelou-se a edificação com as alterações propostas no Projeto Base.

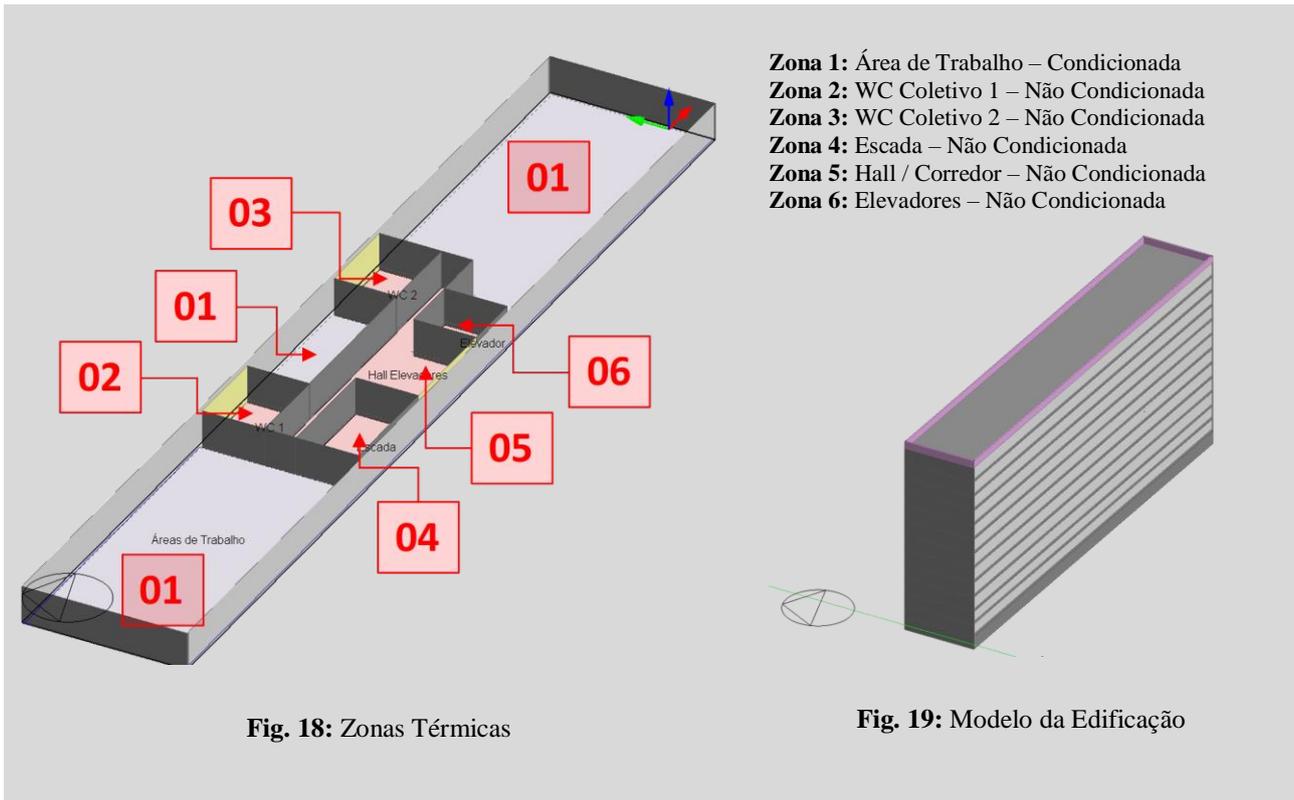
Simulação da Edificação Atual

A modelagem do pavimento-tipo da edificação atual foi realizada considerando as seguintes zonas térmicas:

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018



- Zona 1:** Área de Trabalho – Condicionada
- Zona 2:** WC Coletivo 1 – Não Condicionada
- Zona 3:** WC Coletivo 2 – Não Condicionada
- Zona 4:** Escada – Não Condicionada
- Zona 5:** Hall / Corredor – Não Condicionada
- Zona 6:** Elevadores – Não Condicionada

Fig. 18: Zonas Térmicas

Fig. 19: Modelo da Edificação

A Sobreloja e o 11º pavimento, que possuem áreas e configurações diferentes do pavimento-tipo, foram modelados considerando tais diferenças na distribuição de suas zonas térmicas.

O Subsolo não foi considerado nesta simulação, por não estar em contato com o ambiente externo e não possuir áreas condicionadas significativas.

Foram utilizados os seguintes dados de entrada para a simulação:

A. Atividade:

Ocupação: 0,09 pessoas/m²

Metabolismo: 108 W/pessoa - Trabalho Leve Escritório

Temperatura - *Setpoint* de Refrigeração: + 24° C (NBR 16.401, 2008)

Ventilação natural: Nas zonas 2, 3 e 5 (Circulações e banheiros)

Condicionamento artificial: Na zona 1 (áreas de trabalho)

Iluminação: 500 Lux para escritórios e 150 Lux para circulações (NBR ISO/CIE 8995-1/2013)

B. Envoltória:

Material	Propriedades Físicas
Empenas laterais e platibanda: Cerâmica tipo Tijolinho (0,005) + Reboco externo (0,025m) + Tijolo Cerâmico Furado (0,20m) + Reboco Interno 0,03m	Transmitância Térmica (U) = 2,0 Absortância Térmica (a) = 37,2
Cobertura: Telha de fibrocimento (0,006m) + Câmara de ar (0,8m) + Laje de concreto (0,10m)	Transmitância Térmica (U) = 2,06 Absortância Térmica (a) = 52,3
Vidro das aberturas: Vidro Plano Monolítico Incolor de 4mm com película metalizada	Fator Solar (FS) = 0,84 Transmissão Luminosa (TL) = 0,80 Transmitância Térmica (U) = 5,28
Percentual de Abertura: Empenas – 0%; Fachadas norte e sul – 100%	-

Tabela 3: Dados da envoltória - atual

Fonte: Autores

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

C. Condicionamento Artificial:

Split sem renovação de ar, COP: 1,83 W/W

D. Equipamentos:

Foi considerada uma densidade de carga interna (DCI) de 11,7 W/m² para escritórios (computadores + equipamentos)

A simulação foi então realizada, para o período anual (8.760 horas), resultando em um consumo total de 1.827,79 mWh, com o seguinte perfil de consumo energético:

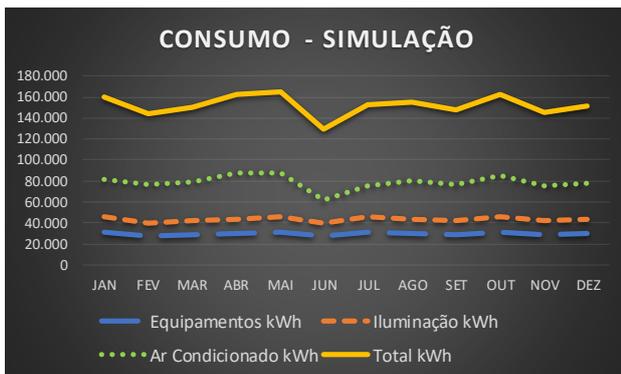


Gráfico 1: Simulação do consumo atual
Fonte: Autores

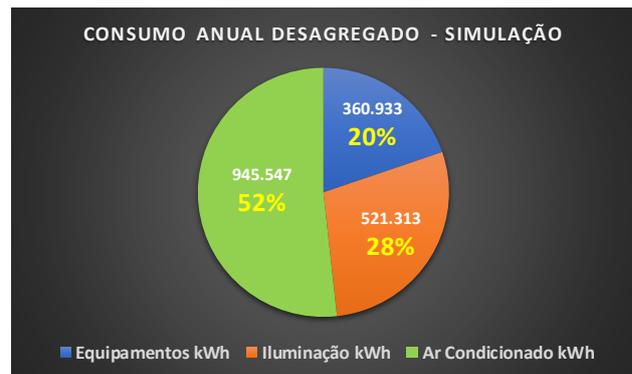


Gráfico 2: Simulação – Consumo desagregado atual
Fonte: Autores

O consumo anual desagregado apresentou o sistema de ar condicionado como responsável por 52% do consumo da edificação, o que se alinha ao percentual esperado para um prédio público de escritórios, e às medições internas realizadas com um analisador de energia, que indicou um percentual de 54% de demanda para o ar condicionado.

O consumo anual real da edificação, aferido por meio das faturas do contrato de fornecimento de energia elétrica, junto à concessionária CEB, foi de 1.966,00 mWh, no período de junho de 2017 a maio de 2018. O consumo anual simulado, de 1.827,79 mWh, representa, portanto, uma diferença a menor de 7,03%, o que se encontra dentro da margem de erro máxima esperada.

MÊS	CONSUMO DE ENERGIA (kWh) - REAL	CONSUMO DE ENERGIA (kWh) - SIMULADO	Δ%
JAN	163.000	159.687	-2,03%
FEV	161.500	143.919	-10,89%
MAR	181.500	150.635	-17,01%
ABR	153.000	162.559	6,25%
MAI	169.500	164.946	-2,69%
JUN	142.500	129.258	-9,29%
JUL	156.000	153.219	-1,78%
AGO	176.500	154.964	-12,20%
SET	153.000	148.064	-3,23%
OUT	190.000	162.840	-14,29%
NOV	165.000	145.900	-11,58%
DEZ	154.500	151.803	-1,75%
TOTAL	1.966.000	1.827.793	-7,03%

Tabela 4: Comparação do consumo real e simulado mensal
Fonte: Autores

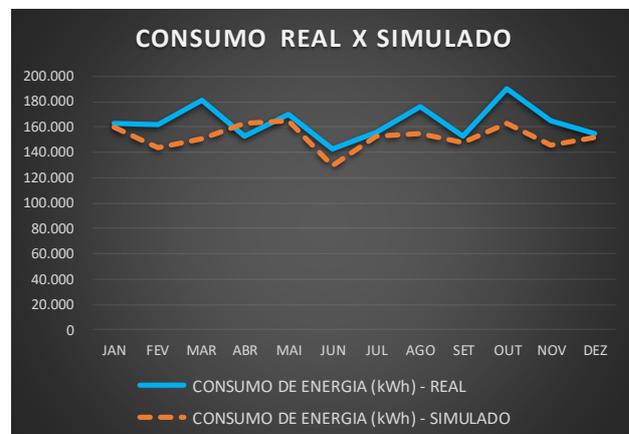


Gráfico 3: Comparação do consumo real e simulado - total
Fonte: Autores

Simulação do Projeto Base

A modelagem do projeto base foi realizada considerando as mesmas zonas térmicas, bem como os parâmetros de atividade, iluminação e ar condicionado.

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

Os dados de entrada da envoltória, considerando as alterações sugeridas, foram os seguintes:

Material	Propriedades Físicas
Empenas laterais e platibanda: Cerâmica tipo Tijolinho (0,005) + Reboco externo (0,025m) + Tijolo Cerâmico Furado (0,20m) + Reboco Interno 0,03m	Transmitância Térmica (U) = 2,0 Absortância Térmica (a) = 37,2
Vidro das aberturas: Cool Lite KNT Verde (laminado – 8mm)	Fator Solar (FS) = 0,31 Transmissão Luminosa (TL) = 0,46 Transmitância Térmica (U) = 5,70
Brises Metálicos Fixos nas fachadas Norte e Sul, com ângulo de sombreamento de 45°	-
Percentual de Abertura: Empenas – 0%; Fachadas norte e sul – 60%	-

Tabela 5: Dados da envoltória – Projeto Base
Fonte: Autores

Foram realizadas simulações sucessivas, com a aplicação gradual das intervenções pretendidas, conforme os cenários 1, 2 e 3, resultando nas seguintes reduções no consumo anual da edificação:

Cenário	Intervenção	Consumo Anual (kWh)	Redução %
1	Substituição dos vidros por novos vidros com baixo Fator Solar	1.565.528	15%
2	Substituição dos vidros por novos vidros com baixo Fator Solar (0.31) + Redução do PAft para 45%	1.470.810	20%
3	Substituição dos vidros por novos vidros com baixo Fator Solar + Redução do PAft para 45% + Instalação de Brises de Alumínio	1.410.221	23%

Tabela 6: Resultado da simulação – Projeto Base
Fonte: Autores

Assim, o consumo final anual da simulação do Projeto Base, considerando as intervenções 1, 2 e 3 foi de 1.410.221 kWh, representando uma redução total de 23% sobre o consumo do modelo simulado da edificação atual.

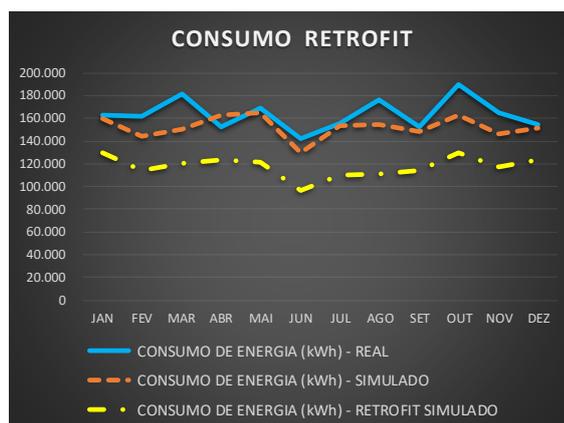


Gráfico 4: Comparação do consumo real, simulado e retrofit - total
Fonte: Autores

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da ferramenta de Benchmarking, bem como a avaliação do nível de eficiência da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C, confirmaram a percepção empírica da ineficiência do edifício.

Por meio de simulações na ferramenta WebPrescritivo, concluiu-se que, para atingir a classificação “A” para a eficiência da envoltória pelo método prescritivo, seria necessária a execução de retrofit integral das esquadrias, contemplando redução significativa da área envidraçada, utilização de vidros com baixo Fator Solar e instalação de brises verticais e horizontais.

Com base nestas premissas, e nas diretrizes de projeto para a zona bioclimática 4, foi elaborada uma proposta conceitual de retrofit para a envoltória do edifício, denominado de Projeto Base, contemplando a redução do percentual de vidros nas fachadas, a utilização de vidros de controle solar e a implantação de brises.

Foram, então, elaborados 2 modelos da edificação. O primeiro, contemplando a situação atual do prédio. O segundo, com aplicação e simulação gradual das intervenções propostas, conforme os cenários propostos no item 3.3.3.

A simulação do consumo energético anual do modelo atual demonstrou compatibilidade com o consumo real da edificação, com uma diferença de apenas 7%.

A simulação do consumo do projeto Base demonstrou uma redução de 23% com a implantação das intervenções. Com este resultado, a edificação alcançaria o patamar de consumo por m² considerado como “muito eficiente”, conforme a Plataforma de Benchmarking, e também poderia alcançar a classificação “A” para a envoltória, pelo método prescritivo do RTQ-C.

Ressalte-se que ainda haveria oportunidades de efficientização nos demais sistemas, notadamente no sistema de ar condicionado, atualmente composto na sua maioria por equipamentos de janela, de baixa eficiência.

Resultado financeiro e payback

O custo para a intervenção relativo à execução da proposta final de retrofit da envoltória foi estimado em R\$ 8.022.094,29, conforme detalhamento abaixo:

Item	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Esquadrias de Alumínio	3.693,80 m ²	R\$ 555,27	R\$ 2.051.056,37
Brises de Alumínio com enchimento de Poliuretano expandido	3.693,80 m ²	R\$ 891,75	R\$ 3.293.946,15
Vidro Laminado 8mm (camada dupla de 4mm)	3.693,80 m ²	R\$ 403,28	R\$ 1.486.635,66
Peitoril em alvenaria com revestimento em cerâmica	3.164,76 m ²	R\$ 376,16	R\$ 1.190.456,11
TOTAL GERAL			R\$ 8.022.094,29

Tabela 7: Custo estimado de execução do retrofit

Custos unitários extraídos do Projeto Básico para retrofit do Bloco O da Esplanada dos Ministérios – Edital de Concorrência MP nº 02/2015

O ganho de eficiência estimado no consumo de energia anual foi de 417.572 kWh em relação ao consumo atual simulado, de 1.827.793 kWh, o que representa, conforme tarifa vigente, de R\$ 0,7957 / kWh, **uma economia anual de R\$ 332.262,04.**

Conforme o método do *payback* simples, o investimento na intervenção seria recuperado em 24 anos, conforme a fórmula:

$$PB = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Resultado Financeiro anual}} = \frac{R\$ 8.022.094,29}{R\$ 332.262,04} = \mathbf{24,1 \text{ Anos}}$$

Considerando a Vida útil de Projeto (VUP) mínima de 40 anos estabelecida pela ABNT NBR 15575:2013 para Vedação Vertical Externa, considera-se satisfatória a relação custo-benefício das intervenções propostas,

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

levando-se em conta que, após o prazo de recuperação do investimento, ainda haveria, no mínimo, 16 anos de ganhos efetivos com a redução do consumo de energia elétrica.

Importante ressaltar que a edificação tem mais de 50 anos de construção, e suas vedações externas atuais, estruturadas em ferro, apresentam comprometimento generalizado, com diversos pontos de corrosão, e baixo nível de estanqueidade. Assim, a reforma proposta não teria como único propósito a redução do consumo de energia, mostrando-se como compulsória, em curto prazo, para que o edifício mantenha suas condições de habitabilidade.

5. CONCLUSÕES

No Brasil, a cultura de projeto de edificações ainda é majoritariamente centrada no custo de implantação das construções, em detrimento de um planejamento de custos de longo prazo, focado no Ciclo de Vida das Edificações.

No setor público, este cenário é ainda mais exacerbado, tendo em vista as restrições orçamentárias e a carência de quadros técnicos de engenharia e arquitetura em diversos órgãos públicos.

Assim, boa parte das edificações públicas, nas diversas esferas, apresentam baixos níveis de eficiência, do ponto de vista energético, seja pela concepção original inadequada, seja pela obsolescência e deficiência de manutenção de seus sistemas. Ressalte-se que, em instalações de escritórios administrativos, grande parte destas ineficiências encontra-se relacionada ao desempenho térmico de suas envoltórias, com consequente aumento do consumo dos sistemas de ar condicionado.

Neste contexto, considera-se que os normativos mais recentes voltados para a eficiência energética das edificações - notadamente o RTQ-C e a NBR 13575:2013 – representam um grande avanço, na medida que estabelecem métodos objetivos (incluindo simulação computacional) para a aferição dos níveis de eficiência, cujos resultados tornam mais fácil o convencimento de gestores públicos quanto à importância, tanto financeira quanto ambiental - das medidas de conservação de energia.

Espera-se, portanto, que o presente estudo de caso, ao demonstrar de forma científica o custo contínuo e cumulativo da ineficiência de uma edificação pública, contribua para o processo de prospecção de investimentos, ainda que por mecanismos inovadores, para a capacitação de quadros técnicos adequados e para o planejamento, em curto e longo prazo, de ações voltadas à efficientização de prédios públicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2017 - Ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017.

AMORIM, C. D. N.; CINTRA, M. S.; FERNANDES J. T.; SUDBRACK, L. O.; CHAIM, G. M. C.. **Otimização do desempenho termo-energético da envoltória: diagnóstico, propostas de solução e avaliação pelo método prescritivo do RTQ-C e simulação**. XIII ENTAC. Canela, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1. **desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005

_____. NBR 15220-2. **Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005

_____. NBR 15220-3. **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005

_____. NBR 15575-4. **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013

REABILITA

Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística

PPG-FAU UnB | Brasília
13, 14 e 15 de dezembro de 2018

_____. NBR 16401-1. **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro, 2008

_____. NBRISO/CIE 8995-1. **Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013

FERREIRA, P. C.. Alguns dados sobre o clima para a edificação em Brasília. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 1965.

INMETRO. **Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C)**. 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Contratos de Desempenho**. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/informma/item/11664-contratos-de-desempenho>>. Acesso em 15 ago. 2018.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO - MPDG. **Painel de Custeio Administrativo - Ano base 2017**. Disponível em < <http://paineldecusteio.planejamento.gov.br/custeio.html>>. Acesso em 15 ago. 2018.

NICOLETTI, A. M. A.. **Eficiência energética em um ministério da esplanada em Brasília: propostas para retrofit de envoltória**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2009.

PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil – Sumário Executivo - Ano Base 2005**. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7B2FC65B57%2D33B1%2D47F7%2DAB3A%2DE44B1A18DF5D%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D>>. Acesso em 15 ago. 2018.

ROMÈRO, M. A.; REIS, L. B. dos. **Eficiência Energética em Edifícios**. São Paulo: ed. Manole LTDA, 2014 (Edição Digital).

WESTPHAL, F. S.. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. Abividro. São Paulo, 2016.