RETROFIT SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL[1]

SARTORI, T., Universidade Federal do Espírito Santo, email: thaisgsartori@gmail.com; CALMON, J. L., Universidade Federal do Espírito Santo, email: calmonbarcelona@gmail.com

ABSTRACT

The energy industry produces many environmental impacts, related to the emission of greenhouse gases, water pollution or changes on the ecosystems. The architecture, engineering and construction industry represents around 30% to 40% of energy consumption in the world. One of the ways to reduce the energy consumption is through building's retrofit. The study presented in this article is part of a broader research that aims to develop retrofit guidelines for different typologies of residential buildings in a neighborhood located in Vitória (ES). Therefore, this article compares efficiency levels in one of the identified typologies after the implementation of different green retrofit alternatives. The analysis was done through simulations in EnergyPlus software. The envelope building's performance was compared to parameters established by the Technical Regulation for Energy Efficiency levels in Residencial Buildings (RTQ-R) for the city of Vitória. The results show that the interventions made in the existing building were effective on reducing the hourly operative temperature (T_O) and the amount of Degree-hours for cooling (GH_R). The simulation software is a dynamic tool for decision making, and to provide effective parameter for the public services in order to establish constructive codes.

***Keywords**: Retrofit. Simulation. RTQ-R.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o consumo energético em edificações segue a tendência mundial, participando de cerca de 42,5% da parcela correspondente ao consumo de energia elétrica (21,2% do setor residencial, 14,5% do setor comercial e 6,8% do setor público) (BRASIL, 2017). Tamanho consumo motivou setores governamentais a desenvolverem normas e procedimentos a fim de regulamentar as novas edificações. O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012), criada pelo Programa Brasileiro de etiquetagem de edificações (PBE Edificaa), apresenta os requisitos técnicos e os métodos para classificação das edificações residenciais no que se refere à eficiência energética. Assim como na norma de desempenho, o RQT-R apresenta dois métodos de avaliação da eficiência, o prescritivo e por meio de simulação. O EnergyPlus (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2016) é um software de cálculo de desempenho que atende a todos os requisitos do RTQ-R.

Uma das formas de reduzir o consumo de energia é através do retrofit de edificações existentes. A norma brasileira define retrofit como a "remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da

[1] SARTORI, T, CALMON, J. L. Retrofit sustentável: estudo de caso em edificação residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética" (ABNT, 2013, p. 09).

O estudo apresentado nesse artigo faz parte de uma pesquisa mais ampla cujo objetivo é desenvolver diretrizes de retrofit sustentável para diferentes tipologias de edificações residenciais num bairro localizado em Vitória (ES-Brasil). Cada tipologia é representada por uma edificação existente no bairro. Portanto, o objetivo desse artigo é comparar os níveis de eficiência da envoltória para a situação naturalmente ventilada de uma das tipologias identificadas, a partir da implementação de diferentes ações de retrofit sustentável.

2 TIPOLOGIA ESCOLHIDA E EDIFÍCIO REPRESENTATIVO

A Figura 1 apresenta o edifício representativo da tipologia escolhida para análise. O Edifício residencial está localizado na cidade de Vitória – ES, Brasil. Possui 9 pavimentos sobre pilotis, com 6 apartamentos por andar e tem entre 53 e 56 m².

Figura 1 – Imagem e planta baixa da edificação residencial analisada



Fonte: Elaborado pelos autores

A edificação apresenta os seguintes sistemas construtivos: alvenarias internas e externas de tijolo cerâmico seis furos com espessura de 9cm, reboco interno e externo em argamassa com 2,5cm de espessura, lajes em concreto armado e cobertura constituída por laje de concreto armado e telha de fibrocimento.

3 METODOLOGIA

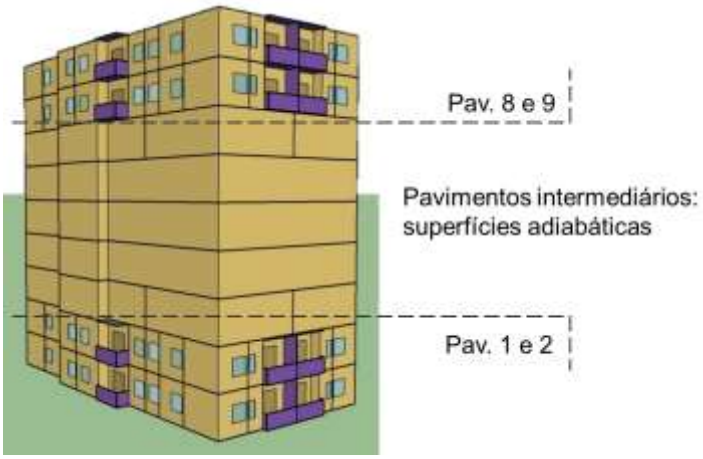
O estudo analisou apenas a envoltória na situação naturalmente ventilada, cujos resultados são expressos em Graus Horas de Resfriamento (GH_R)

O cálculo de desempenho térmico da edificação foi realizado pelo software EnergyPlus versão 8.4.0 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY). Para auxiliar na

visualização do modelo, utilizou-se o Euclid versão 0.9.0 (BIG LADDER SOFTWARE, 2017), que é uma extensão para o software Google Sketchup 2016. Foi utilizado o arquivo climático da cidade de Vitória disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2016).

A Figura 2 apresenta o modelo energético. Foram analisados os dados dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) do primeiro e último pavimentos. Cada APP foi modelado como uma zona térmica, respeitando as suas dimensões, o posicionamento e dimensão das esquadrias, bem como as propriedades térmicas dos materiais que compõem a edificação. Para um resultado mais preciso, foram também modelados os pavimentos adjacentes ao primeiro e último.

Figura 2 – Imagem do modelo energético



Fonte: Elaborado pelos autores

Para as análises paramétricas, foram simuladas 4 medidas de retrofit. A primeira refere-se à troca da telha de fibrocimento tradicional pelo telhado verde. Utilizou-se os parâmetros pré-configurados do EnergyPlus para simulação. A segunda medida refere-se à instalação de venezianas internas nos ambientes. Utilizou-se a configuração "block beam solar", quando o programa regula automaticamente os ângulos das réguas da persiana para bloquear apenas a radiação solar direta. A terceira medida refere-se ao sombreamento das esquadrias com brises, instalados em todo o comprimento das aberturas com projeção de 1,00m. A última medida simulada refere-se à pintura da envoltória em cores claras (paredes externas e cobertura), reduzindo o valor da absortância para 0,2.

A Tabela 1 apresenta os dados relativos às propriedades térmicas dos materiais construtivos, e o Quadro 1 apresenta os valores referentes aos parâmetros utilizados na simulação, baseados no RTQ-R (BRASIL, 2012).

Tabela 1 - Propriedade térmica dos materiais

Materiais	Espessura equivalente(1)	Condutiv. térmica	Densidade equivalente(1)	Calor específico	Resistência térmica	Absort. (a)

	(cm)	(W/m.K)	(Kg/m³)	(KJ/Kg.K)	(m².K/W)	
Argamassa de emboço	2,50	1,15	2000	1,00	0,022	0,42(2)
Tijolo cerâmico 6 furos – 9cm	1,40	0,90	2290	0,92	0,016	_
Laje maciça de concreto	10,00	1,75	2200	1,00	0,114	_
Telha de fibrocimento	0,70	0,95	1900	0,84	0,007	0,65
Câmara de ar (2 à 5 cm)	_	_	_	_	0,16	_
Câmara de ar (>5cm)	_	_	_	_	0,21	_

Nota: (1) adotou-se espessuras e densidades equivalentes dos materiais construtivos quando os mesmos não estão dispostos em camadas homogêneas, conforme a metodologia de simplificação proposta por Ordenes et al. (2003). (2)Absortância ponderada. Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 1 – Parâmetros para simulação -

Item	Parâmetro	Valor
Ventilação natural	Coeficiente de rugosidade do entorno	0,33
	Coeficiente de descarga (C_D)	0,60
	Coeficiente do fluxo de ar por frestas (C_Q)	0,001 kg/s.m
	Expoente do fluxo de ar (n)	0,65
	Temperatura do termostato	20°C
Ocupação	Quantidade de pessoas	4 (2 por dormitório)
	Taxa metabólica sala	60 W/m²
	Taxa metabólica quarto	45 W/m²
	Padrão de ocupação	Padrão RTQ-R
Iluminação	Densidade de Potência Instalada (DPI) sala	6,0 W/m²
	DPI dormitórios	5,0 W/m²
	Padrão de uso da iluminação	Padrão RTQ-R
Equipamentos	Carga interna para sala	1,5 W/m²
	Padrão de utilização	Ligado 24 hrs

Fonte: BRASIL, 2012

O cálculo do GH_R é dado pela equação 1 e a temperatura operativa horária é dada pela equação 2.

$$GH_R = \sum (T_0 - 26°C) \quad (1)$$

Onde, GH_R = Indicador de Graus Horas de Resfriamento

T_O = Temperatura operativa horária

$$T_O = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r \quad (2)$$

Onde, T_O = Temperatura operativa horária (°C)

A = 0,5 (constante quando velocidade do ar é menor ou igual a 0,2m/s)

T_a = Temperatura do ar no ambiente (°C)

T_r = Temperatura radiante média (°C)

O Quadro 2 apresenta os níveis de eficiência a partir dos limites de valores de GH_R.

Quadro 2 – Classificação pelo método de simulação para a cidade de Vitória (ES)

Nível de eficiência	Equivalente numérico	Graus horas de resfriamento (GH_R)
A	5	$GH_R \leq 1848$
B	4	$1848 < GH_R \leq 3895$
C	3	$3895 < GH_R \leq 5405$
D	2	$5405 < GH_R \leq 7255$
E	1	$7255 < GH_R$

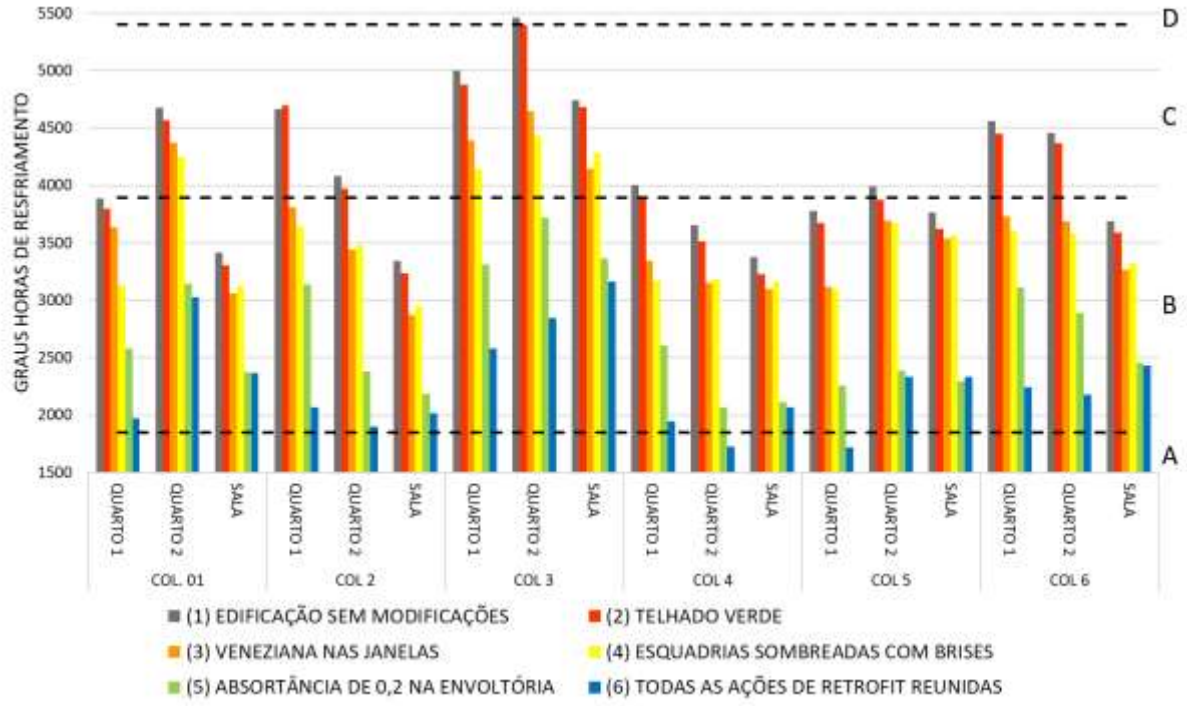
Fonte: PBE EDIFICA (2017)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas 06 simulações: (1) edificação existente sem nenhuma medida de retrofit; (2) edificação existente com telhado verde; (3) edificação existente com todas as esquadrias com venezianas internas; (4) edificação existente com todas as esquadrias sombreadas com brises; (5) edificação existente com absortância da envoltória (parede externa e cobertura) igual a 0,20; (6) edificação existente com todas as medidas de retrofit anteriormente simuladas. Foram analisados os resultados de 36 zonas térmicas, que correspondem ao primeiro e último pavimentos, com 6 colunas por pavimento e 3 APP por coluna. A média do GH_R de todas as zonas analisadas situa a envoltória do edifício no nível C de eficiência.

Para simplificar a análise dos resultados, obteve-se a média aritmética das zonas correspondentes do primeiro e último pavimentos, obtendo-se 18 análises, que correspondem ao total de GH_R das 6 colunas com 3 APPs por coluna (Figura 3).

Figura 3 – Quantidade de graus-horas de resfriamento por APP



Fonte: Elaborado pelos autores

Nota-se que, no geral, a coluna 3 obteve o pior desempenho térmico, dando destaque ao quarto 2. Isso se deve à sua posição geográfica desfavorável (direção oeste). Essa foi a única zona que obteve desempenho D.

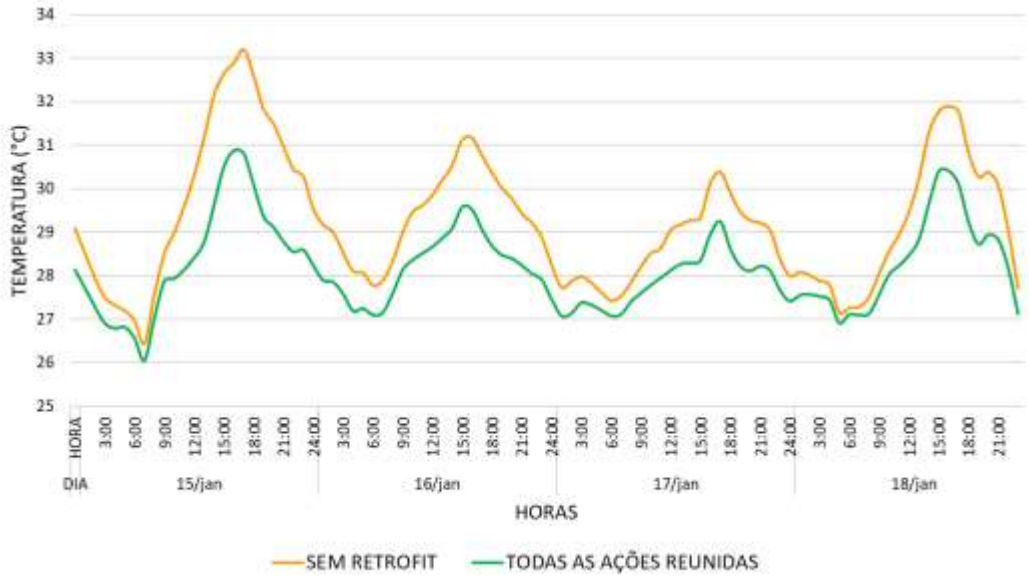
Dentre as medidas de retrofit, o telhado verde foi a que apresentou menor impacto no total de GH_R, já que a maior influência se dá apenas nas zonas localizadas na cobertura. Mesmo assim, tal ação foi suficiente para melhorar a classificação de duas zonas térmicas: uma localizada na coluna 3 (quarto 2) e outra na coluna 5(quarto 2), que mudaram a classificação de D para C e de C para B respectivamente.

A simulação 3 (veneziana nas janelas) e 4 (sombreamento com brises) tiveram desempenho similares, com média de redução de GH_R de 13% e 14% respectivamente. A medida de retrofit que mais impactou na redução do GH_R e, portanto, na melhora no desempenho térmico da edificação foi a simulação 5 (absortância da envoltória de 0,2). A cor clara na envoltória representou uma redução média de 35% nos valores de GH_R, obtendo-se classificação B para todos os APP.

Após a implementação de todas as ações de retrofit (simulação 6) a média de redução do GH_R foi de 45%, e subiu a classificação de B para A em duas zonas térmicas: quarto 2 da coluna 4 e quarto 1 da coluna 5.

Analisou-se também as temperaturas operativas horárias (T_O) do APP com pior desempenho térmico (quarto 2, coluna 3, último pavimento), comparando-se as T_O sem retrofit e com todas as medidas (Figura 4). Entre os dias 15 a 18 de janeiro tal APP apresentou os maiores valores de GH_R.

Figura 4 – Temperaturas operativas (T_O)



Fonte: Elaborado pelos autores

Nota-se que a média de redução de T_O entre a edificação sem e com retrofit foi de 4%. A redução mais significativa ocorreu no dia 15 de janeiro entre 14:00 e 15:00hrs, quando a T_O da zona analisada sem retrofit foi de 32,1°C e com as medidas de retrofit foi de 29,6°C, uma redução de aproximadamente 8%.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado comparou os níveis de eficiência da envoltória para a situação naturalmente ventilada de um edifício residencial multifamiliar, a partir da implementação de diferentes ações de retrofit sustentável. Dentre as propostas de retrofit, a que obteve melhor resultado foi a redução da absortância das paredes externas e cobertura, gerando uma redução média de 35% nos valores de Graus-horas de resfriamento (GH_R) e classificando todos os ambientes analisados no nível B de desempenho de acordo com o PROCEL (PBE EDIFICA, 2017). Após reunir todas as medidas de retrofit em uma única simulação, a temperatura operativa horária da zona com situação mais crítica reduziu em até 8%. Os resultados obtidos nesse estudo comprovam a efetividade das medidas de retrofit na melhoria da eficiência energética do edifício, com potencial para promover melhor conforto térmico do usuário e, por conseguinte, reduzir o consumo de energia devido à utilização de equipamentos condicionadores de ar. Nota-se que as alternativas de retrofit sustentável apresentadas nesse estudo não alteraram substancialmente a edificação existente e, portanto, podem também ser aplicadas em edifícios similares ao estudo de caso. Espera-se que tais análises possam contribuir na definição de diretrizes construtivas focadas em edificações mais sustentáveis do ponto de vista do consumo energético.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 – 1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BIG LADDER SOFTWARE. **Euclid**. Disponível em:< http://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>. Acesso em: 3 de maio de 2017.

BRASIL. Balanço Energético Nacional 2016: Relatório Síntese - Ano base 2015. Disponível em:<https://ben.epe.gov.br>. Acesso em 15 fev. 2017

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria nº 18, 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro - RJ, 2012. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>. Acesso em: 14/03/2017

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 2 ago. 2016.

ORDENES et al. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE 3.1**. Relatório interno LabEEE – Florianópolis: UFSC, 2003. 19p.

PBE EDIFICA. **Tabelas de classificação pelo método de simulação**. Disponível em:<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/simulacao>. Acesso em: 18 de maio de 2017

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. U. S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. 2016. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: jun. 2016.