

ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

ANALYSIS OF THE SIMPLIFIED OPTIMIZATION OF A RESIDENTIAL BUILDING

Thaisa Carvalho Rodrigues¹, Kelly Fagundes Aires², Maria Augusta Guisso Gonzaga³, Stifany Knop⁴, Fabio Kellermann Schramm⁵ e Eduardo Grala Da Cunha⁶

Resumo

Este estudo tem como objetivo a maximização do desempenho termoenergético de uma edificação residencial unifamiliar de 126,45 m² de área, localizada na ZB1, através da análise de simulação computacional em duas condições: ventilação natural e condicionamento artificial. Assim como a viabilidade econômica das envoltórias. Tendo como parâmetro inicial uma envoltória baseada no método simplificado da NBR15575, a partir da qual foram feitas adequações para atingir o nível A do RTQ-R e o padrão *passive house* através do aumento de isolamento térmico e sombreamento das áreas envidraçadas. O melhor resultado de otimização foi encontrado quando a edificação obteve o padrão *passive house* comparada com as demais simulações, necessitando de 8cm de EPS nas paredes/cobertura e 0,5cm no piso. O tempo de retorno de investimento para o padrão com maior desempenho mostrou-se 13 anos maior do que para a obtenção do RTQ-R.

Palavras-chave: NBR15575, otimização, desempenho termoenergético, *passive house*.

Abstract

This study aims to maximize the thermoenergetic performance of a single-family residential building with an area of 126.45 m², located in ZB1, through the analysis of computer simulation in two boundary conditions: Natural ventilation and artificial conditioning. As well as the economic viability of the envelopes. Having as an initial parameter an envelope based on the simplified method of NBR15575, from which adjustments were made to reach level an RTQ-R and the passive standard house through the increase of thermal insulation and shading of the glazed areas. The best result of optimization was found when the building obtained the passive standard house compared to other simulations, requiring 8cm of EPS on the walls and roof and 0.5cm on the floor. The payback time for the highest performing standard presented 13 years longer than that for obtaining the RTQ-R.

Keywords: NBR15575, optimization, thermoenergetic performance, passive house.

¹ Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).

² Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).

³ Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).

⁴ Professora de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Católica de Pelotas (UCPel). Mestra em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL/2012) e Arquiteta e Urbanista (UPF/2005).

⁵ Professor adjunto a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFPEL), Doutor (2009), e Mestre (2004) em Engenharia Civil (UFRGS). Especialista em Gestão Empresarial (FURG, 2000) e Arquiteto e Urbanista (UFPEL, 1994).

⁶ Professor associado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFPEL). Pós-Doutorado pela Universidade de Kassel, Alemanha (2008), Doutor (2005), Mestre (1999) e Especialista (1995) em Arquitetura (UFRGS). Arquiteto e Urbanista (URGS, 1994).

Introdução

Na década de 1990 começa a ser abordado a necessidade de criação de normas de desempenho térmico para construções, sendo em 2005 publicada a primeira norma, a NBR 15220 – Desempenho Térmico de edificações (ABNT, 2005), específica para habitações unifamiliares de interesse social. Posteriormente, em 2013 é publicada a NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais (MIRANDA, 2014 e ASBEA, 2015) que estabelece parâmetros de segurança, habitabilidade e sustentabilidade, dentro dos quais a construção deve atender a classificação mínima (M), intermediária (I) ou superior (S). Nela são avaliados 13 itens da edificação, dentre eles, o desempenho térmico, o desempenho acústico e o desempenho lumínico (ASBEA, 2015). No entanto, mesmo com uma ampla discussão de vários segmentos da construção civil, os parâmetros de desempenho térmico estabelecidos na norma ainda podem ser considerados insuficientes (SOARES, 2014).

Para entendimento do desempenho superior da norma no método de simulação computacional, a temperatura interna no verão para a zona bioclimática 1, deveria ser 4°C menor que a temperatura externa e, no inverno, 7°C maior que a externa (ABNT, 2013), ou seja, não há um indicador de conforto para estabelecer o desempenho superior pela NBR 15.575. A importância dessa norma é dada pelo crescente consumo energético com climatização no mundo segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), esse é o uso que mais cresceu nos últimos anos, tendo sido mais que triplicado no período de 1990 a 2016. Já a compra de equipamentos de ar-condicionado dobrou entre os anos de 2005 e 2017. Visto que edificações que não apresentam bons níveis de conforto, isso faz com que seus usuários busquem recursos artificiais para climatização dos ambientes.

Atualmente as construções no Brasil consomem mais de 51% da energia elétrica gerada no país (EPE, 2019), sendo o setor residencial responsável por uma parte importante desse consumo de energia (PACHECO *et al*, 2012). Entretanto, com a integração de estratégias de eficiência energética ainda na fase conceitual do projeto esse percentual poderia ser reduzido, pois desde o começo a edificação apresentaria um menor consumo energético. De acordo com Wang (2006), decisões tomadas na fase inicial do projeto têm grande impacto no desempenho da construção, por exemplo, modificando parâmetros como: a forma, a orientação e o envelope, edificações podem consumir até 40% menos energia. Diante disso, torna-se uma vantagem à tomada de decisões ainda na fase inicial quando comparada com a instalação em fases subsequentes da construção, pois há redução de custos em toda a vida útil da edificação, fazendo com que o investimento inicial seja integralmente compensado (PACHECO *et al*, 2012).

O tema eficiência energética passou a ser empregado no Brasil desde 1985, quando o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), coordenado pela Eletrobrás. Já em 2010, a União Europeia, também com a necessidade de se reduzir seu consumo energético, publicou a *Directiva 2010/31/EU* (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2010), a qual estabelece que os estados membros devem atingir a meta NZEB (*Nearly Zero Energy Building*) até 2018 para edifícios públicos e até 2020 para as novas edificações. NZEB são edifícios que prezam pelo equilíbrio entre o consumo e o gasto energético, ou seja, possuem uma demanda extremamente baixa de energia, a qual deve ser atendida por fontes de energia renováveis. Dessa forma, consegue-se um edifício eficiente obtendo economia familiar e nacional, além de uma melhor qualidade ambiental.

Já em 2012, o INMETRO publicou o Regulamento Técnico da Qualidade para o

Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R, que atua especificamente na análise de eficiência energética de residências, considerando sua localidade e estratégias passivas para cada zona bioclimática do país, além disso, avalia a envoltória para situação de verão e inverno e possui pré-requisitos para paredes e coberturas, apresentando níveis de exigência compatíveis com a NBR 15.575. O RTQ-R tem como objetivo a otimização dos projetos residências sobre a visão energética, a fim de proporcionar a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), concedida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). No regulamento há cinco níveis de eficiência - A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente) tanto para a classificação dos sistemas individuais como para a edificação como um todo.

No entanto, os parâmetros de avaliação estabelecidos no RTQ-R não são severos o suficiente para apresentar mudanças significativas nos projetos, mesmo na melhor classificação. Diante disso, o elevado custo de energia aliado ao crescimento da conscientização ambiental, contribuíram para o aumento de construções de casas passivas (MLAKAR, 2011). A casa passiva ou *Passive House* é um *standard* desenvolvido na Alemanha e amplamente difundido na Europa (SCHNIEDERS *et al.*, 2015). Este tipo de construção tem como base 5 princípios fundamentais: Edificações com excelente isolamento térmico, janelas com alta qualidade e ganhos de energia solar, ventilação mecânica com recuperação de calor, envelope da construção hermético e construções livres de pontes térmicas. Estudos mostram que estratégias simples em casas passivas, como o sombreamento rigoroso durante o dia e a ventilação generosa através da abertura das janelas durante a noite, conseguiriam manter as temperaturas internas dentro do nível de conforto (FOKAIDES *et al.*, 2016). Schnieders *et al.* (2015), através de simulação dinâmica, avaliaram a aplicabilidade do *standard Passive House* em zonas bioclimáticas relevantes do mundo, representadas por Yekaterinburg, Tóquio, Xangai, Las Vegas, Abu Dhabi e Cingapura. No estudo obtiveram que o consumo anual de energia para o condicionamento das edificações é 75% a 95% inferior numa casa passiva em relação a uma edificação tradicional de mesma geometria. Os autores também concluíram que o *Standard Passive House* pode ser aplicado em qualquer lugar do mundo, sem afetar a liberdade de criação do arquiteto. Já Badea *et al.* (2014), através de um modelo matemático, analisou o ciclo de vida custo de uma casa passiva, incluindo suas variações técnicas de projeto e concluíram que a recuperação do investimento adicional em soluções alternativas e energeticamente eficientes, em comparação com uma casa padrão, pode ser alcançada em 16-33 anos, quando se adota um cenário conservador, ou em 16-26 anos, quando as previsões mais otimistas das condições econômicas são consideradas.

No Brasil ainda há pouca informação sobre a aplicabilidade do *standard Passive House*. Em estudos recentes para a zona bioclimática brasileira 2 (ZB2), Dalbem *et al.* (2016) verificaram e comprovaram a aplicabilidade do *Standard* para a ZB2, através da ferramenta PHPP (*Passive House Planning Package*). Posteriormente, Dalbem *et al.* (2017) avaliaram o desempenho da envoltória de uma *Passive House*, especificamente para a cidade de Pelotas, localizada no estado do Rio Grande do Sul e concluíram mais uma vez a aplicabilidade da norma no clima analisado, no qual, obtiveram uma economia de energia de 56,3% com a utilização de sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor em relação ao uso do condicionador de ar.

Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é a otimização do nível de eficiência energética da envoltória de uma edificação residencial projetada de acordo com o método simplificado da NBR 15575, na Zona Bioclimática 1, através do método de simulação computacional, a fim de obter o nível A do RTQ-R e o *standard Passive House*.

Como objetivos específicos destacam – se:

- Analisar o desempenho térmico e energético da edificação;
- Observar a viabilidade econômica dos três casos de estudo.

Método

O trabalho foi desenvolvido em três etapas principais que se subdividem para permitir a verificação das medidas adotadas, conforme ilustrado na figura 1.

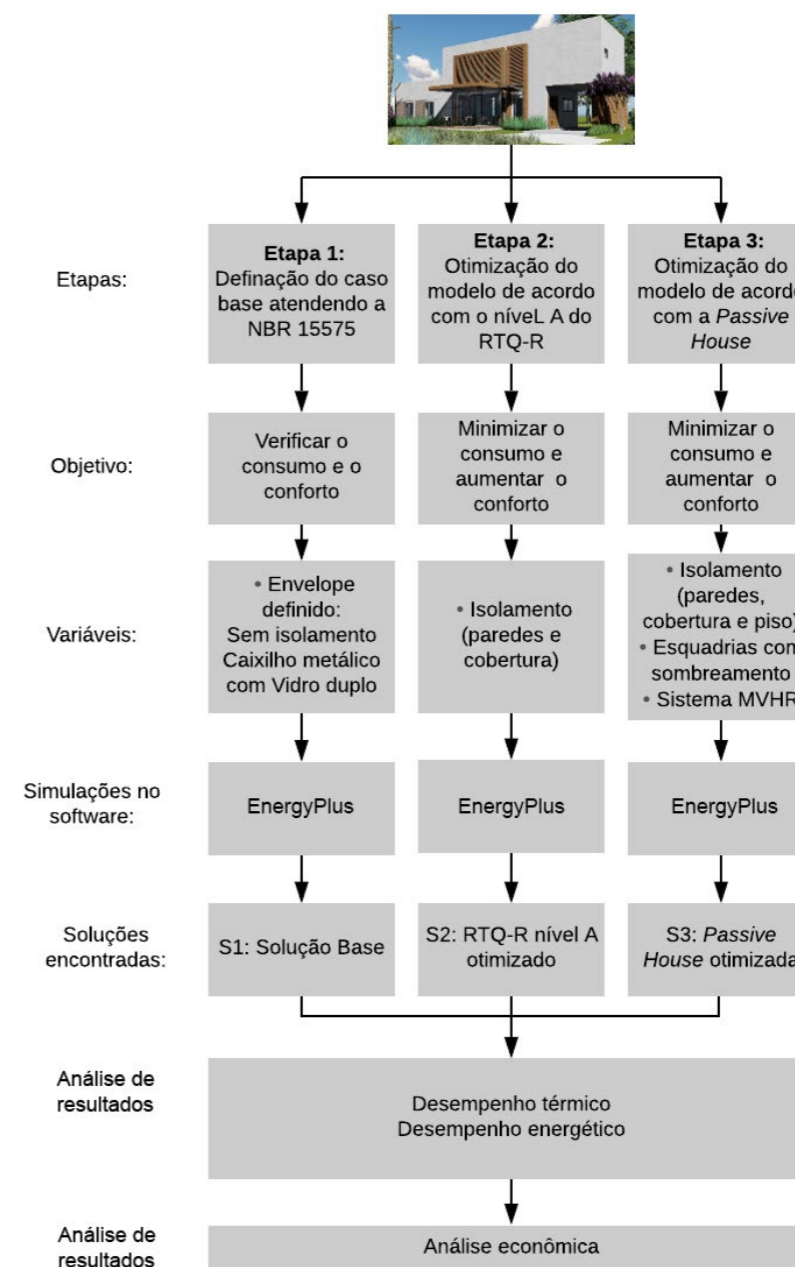


Figura 1: Método. Fonte: autores (2020).

Caracterização do objeto de estudo e parâmetros de configuração

O objeto de estudo escolhido, foi o projeto arquitetônico desenvolvido na pesquisa “CASA BIOCLIMÁTICA NZEB E QUALIDADE DO LUGAR: Entrelaçando experiências — Portugal e Rio Grande do Sul/Brasil” (DALBEM, 2015). Para modelagem da geometria utilizou-se o *software SketchUp Make 2017*, figura 2, com o auxílio do *plugin Euclid* que possibilitou a importação dos dados de modelagem para o programa *EnergyPlus* versão 8.7, onde foram realizadas as simulações em duas condições: ventilação natural e climatização artificial.

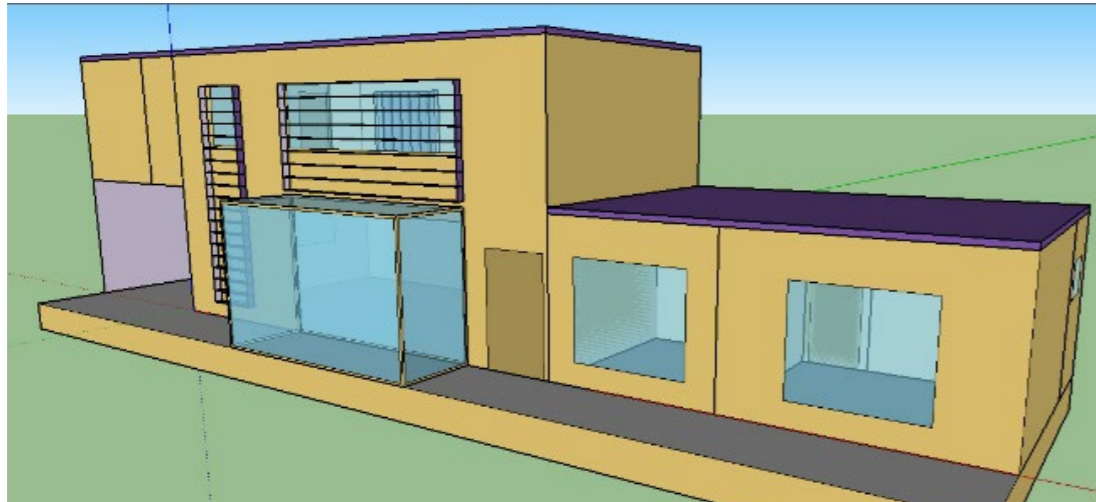


Figura 2: Modelo tridimensional no SketchUp Make 2017. Fonte: dos autores (2020).

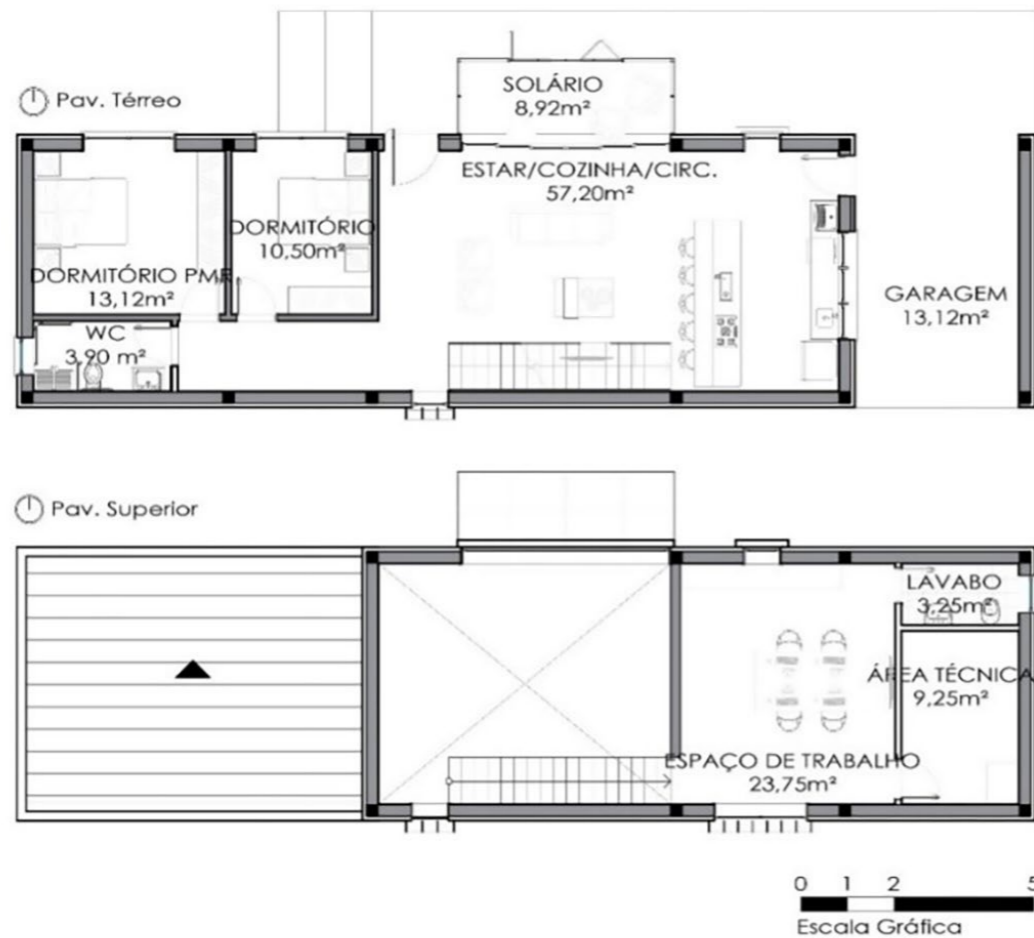


Figura 3: Planta baixa dos pavimentos térreo e superior. Fonte: (Dalbem, 2015).

O projeto arquitetônico possui uma área útil de 126,45m² distribuídos em dois pavimentos. No térreo estão a sala de estar integrada à cozinha, solário, dois dormitórios e banheiro. No pavimento superior encontra-se a área de trabalho, técnica e lavabo. A edificação foi desenvolvida com base nas estratégias passivas utilizadas no projeto da casa bioclimática de Pouey (2011).

Como pode ser observado na Figura 3, o projeto foi desenvolvido no eixo leste - oeste, com intuito de maximizar o ganho de radiação solar no inverno pela fachada norte, possuindo uma menor área de aberturas voltadas à fachada sul, leste e oeste, além de proteção e controle da radiação solar nas janelas pela inserção de brises e persianas.

Arquivo climático

O arquivo climático utilizado para as simulações no *software EnergyPlus* foi o BRA_PR_Curitiba.838420_INMET.epw, que apresenta as variações horárias de temperatura, umidade, direção, velocidade do vento e radiação solar das 8.760 horas do ano na cidade de Curitiba, localizada no estado do Paraná. A escolha deu-se pelo fato desse arquivo ser reconhecido pelo RTQ-R para a classificação do nível de eficiência energética na Zona Bioclimática 1 (ZB1).

Dia típico

Foi utilizado o dia típico da cidade de Curitiba obtido através do arquivo *.stat*, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética das Edificações (LABEEE), que indica uma data de inverno e outra de verão, com a frequência de ocorrência de 0,4% e 99,6%. Na tabela 1, estão indicadas as temperaturas de bulbo seco, mínima e máxima, amplitude térmica e velocidade média dos ventos presentes nesse arquivo climático.

Médias	Dia Típico de Verão (21 de janeiro)	Dia Típico de Inverno (21 de julho)
TEMPERATURA MINIMA [°C]	21	3,1
TEMPERATURA MÁXIMA [°C]	28,6	3,1
AMPLITUDE TÉRMICA [°C]	10,2	10,2
VELOCIDADE DO VENTO [m/s]	3,9	0,5

Tabela 1: Dia Típico da cidade de Curitiba-PR. Fonte: dos autores (2020).

Temperaturas médias do solo

De acordo com a indicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) de 2012, para a determinação das temperaturas do solo, utilizou-se o programa *Slab*, que está vinculado ao *software EnergyPlus*. O mesmo calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação, para o clima escolhido, no caso a ZB1. Na tabela 2, estão identificadas as temperaturas de solo corrigidas para o caso base.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. [°C]	20,4	21,2	20,6	19,7	17,1	15,9	17,3	17,5	16,8	19,0	19,4	22,2

Parâmetros de simulações

Os parâmetros de simulação dos modelos do S1(NBR15575), S2(otimizado RTQ-R) e S3(Passive house otimizado), descritos a seguir, consideram as definições do RTQ-R.

Parâmetros	Valores Adotados		
Padrão de uso	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha
Ocupação (pessoa/m ²)	0,13	0,18	0,07
Densidade de potência instalada de iluminação (DPI)	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha
Iluminação (W/m ²)	5	5	6
Cargas internas de equipamentos (W/m ²)	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha
	Desligado	Desligado	1,5
Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar COP (W/W)	Aquecimento		Resfriamento
	2,75		3,00

A residência foi considerada ocupada no período noturno, com 2 pessoas em cada dormitório e o total de 4 pessoas na sala de estar/cozinha. Para a iluminação considerou-se os ambientes de uso prolongado, utilizando 5 W/m² nos dormitórios e 6 W/m² na sala de estar/cozinha. Já para os equipamentos instalados, utilizou-se 1,5 W/m² de carga instalada para o ambiente de sala de estar/cozinha durante a ocupação. O Coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar (COP) foi configurado considerando o seu uso para aquecimento e resfriamento, sendo utilizado o COP de 3,0 para resfriamento e 2,75 para aquecimento.

Configuração para simulação de Ventilação Natural

A ventilação natural foi configurada com o funcionamento de 24 horas do dia, para análise de conforto e, das 8h às 21h, para a classificação dos modelos no RTQ-R, considerando a abertura das janelas quando a temperatura interna estiver acima de 20°C e superior a temperatura externa.

Configuração para simulação de condicionamento artificial

O condicionamento de ar foi configurado no modelo *autosize*, considerando os COPs previamente descritos e *setpoints* de 22 a 24 °C, com o funcionamento de 21 h às 8 h, para a classificação da envoltória de acordo com as exigências do RTQ-R. Já as simulações para obtenção de consumo de ar condicionado, teve o funcionamento de 24 horas por dia com os *setpoints* ajustados para as temperaturas de 20°C

e 26°C, a fim de seguir as exigências da *Passive house* e também para permitir uma comparação dos dados mais acurada, tendo todos os modelos os mesmos parâmetros de condicionamento.

Configuração para simulação do MVHR

O MVHR (*Mechanical ventilation with heat recovery*) é um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor. Ele tem como objetivo fazer a renovação de ar através da extração do ar quente interno e inserindo ar fresco externo nos ambientes (MCLEOD, 2016), favorecendo também o resfriamento, pois o MVHR garante a troca de ar necessária ao longo do ano, filtrando grande parte dos poluentes externos e garantindo níveis elevados de qualidade (PALMER, 2020). A configuração do MVHR nos modelos foi feita com o dimensionamento do fluxo de ar (m³/s) para cada ambiente da residência, permitindo a renovação com frequência de 0,6 trocas de ar por hora.

Definição do Caso Base

A envoltória da construção segue as recomendações da NBR 15.575, para o método simplificado da norma, considerando a transmitância térmica e a capacidade térmica de paredes e cobertura para a zona bioclimática 1. A composição da mesma está descrita e exemplificada nas tabelas 4 e 5, ademais, todas as esquadrias adotadas são de alumínio com vidro insulado duplo.

	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	j [horas]
Parede	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm. Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm. Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm.	2,49	158	3,3

Tabela 4: Configuração parede (ABNT, 2005). Fonte: dos autores (2020).

	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]
Cobertura	Laje pré-moldada (vigota e tavela), com concreto e reboco interno. Altura da tavela: 20 cm; concreto: 5,0 cm, reboco interno: 2,0 cm.	1,92	333

Obs.: A cobertura completa considera a laje pré-moldada com telhado de fibrocimento. Porém, para efeitos de cálculo, a cobertura pode ser considerada como muito ventilada, sendo considerado apenas os materiais acima descritos.

Tabela 5: Configuração dos autores (2020).

Otimização simplificada do modelo nível A do RTQ-R

Para obter o nível A do RTQ-R será verificado o nível já atendido pelo caso base e, posteriormente, será feito a adequação do modelo a fim de reduzir o consumo de energia para aquecimento e de graus-hora de resfriamento. A proposta de atendimento à classificação nível A será realizada apenas para a envoltória, sendo desconsiderado o sistema de aquecimento de água.

O tratamento da envoltória é feito a partir do acréscimo de isolamento térmico nas paredes e cobertura. O material utilizado será o EPS, gradualmente até atingir a espessura mínima para classificação Nível A de eficiência energética. Neste primeiro momento não serão testadas soluções de alteração nas dimensões e sombreamento de esquadrias e tipos de vidros.

Os testes para classificação da envoltória serão feitos com base em simulações computacionais, sendo necessário atendimento de GHR (graus horas de resfriamento) menor ou igual a 143 e o CA (consumo de aquecimento) menor ou igual a 16,700 kWh/m².ano.

Solução adotada para otimização simplificada do modelo A do RTQ-R

O modelo ótimo selecionado, levando em consideração os requisitos de classificação do RTQ-R, apresentou o acréscimo 10cm de EPS nas paredes e cobertura, apresentando U de 0,30 W/(m².K) para estes fechamentos.

Otimização simplificada do modelo Passive House

Para atingir os requisitos da *Passive House* o modelo da residência será otimizado novamente, através do aumento do isolamento térmico (EPS) em paredes e coberturas, além do sombreamento das áreas envidraçadas, observando a necessidade de comprovar que o consumo de energia tanto para aquecimento quanto para refrigeração seja inferior à 15kWh/m².ano. Já o consumo de energia primária para todos os usos da edificação não deve ser superior a 120kWh/m².ano, a estanqueidade da construção deve ser de até 0,6h-1 e considerando climas quentes, o sobreaquecimento acima de 26°C não deve ultrapassar 10% das horas do ano. O modelo ainda será simulado considerando um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR), verificação do consumo de energia, assim como as temperaturas internas também serão averiguadas.

Solução adotada para otimização simplificada do modelo *Passive House*

Após ter ocorrido os testes dos modelos compositivos, a partir de simulações no *Energy Plus*, avaliou-se as seguintes variáveis *District Cooling* [kWh/m²] e *District Heating* [kWh/m²] para selecionar os modelos dentro dos critérios para certificação da *Passive house*. Dessa forma, foram realizadas simulações dos modelos compositivos com variações no isolamento de parede, cobertura e piso, selecionou-se então o modelo que atendesse os dois requisitos e que apresentasse menor necessidade de isolamento térmico. O modelo escolhido apresentou o acréscimo de 8cm de EPS nas paredes e cobertura e 0,5 no piso, apresentando U de 0,39 W/(m².K) nas paredes e 0,37 W/(m².K) na cobertura.

Análise de resultados

Desempenho energético

O desempenho energético será obtido através da simulação de todos os modelos, considerando o sistema de ar-condicionado com funcionamento de 24 horas por dia durante o período de um ano. A análise será realizada por comparação do consumo

de ar-condicionado para aquecimento e refrigeração de todas as soluções propostas, sendo que os parâmetros de configuração do sistema de ar-condicionado seguiram as recomendações do RTQ-R, com análise anual em kWh e em kWh/m².ano. A S2 e a S3 consideram diferentes *setpoints* para aquecimento e refrigeração. Para a análise comparativa dos resultados das três soluções serão definidos mesmos *setpoints* para os três casos, permitindo uma comparação com mesmos parâmetros. Uma segunda análise de desempenho energético será feita a partir da classificação da envoltória conforme RTQ-R, onde serão analisados o equivalente numérico de aquecimento (EqNumCA, dado em kWh/ano) e o equivalente numérico de resfriamento (EqNumResf - dado em Graus-hora de resfriamento - GHR). A classificação da envoltória para a Zona Bioclimática 1, conforme o RTQ-R, pode ser encontrada com a equação a seguir:

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A \quad \text{Equação 1}$$

Desempenho térmico

Para análise, será levado em consideração a ventilação natural durante 24 horas por dia do ano. Desta forma, será utilizado o modelo adaptativo da ASHRAE *Standard 55* (2017) com 80% de aceitabilidade, conforme equação 2.

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31T_{ext} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

T_{oc} = Temperatura operativa de conforto [°C];
 T_{ext} = Temperatura média mensal externa [°C].

A temperatura operativa interna varia entre os limites -3,5°C até +3,5°C da temperatura operativa de conforto obtida a partir da equação 1, conforme figura 4, para aceitabilidade de 80 % dos usuários.

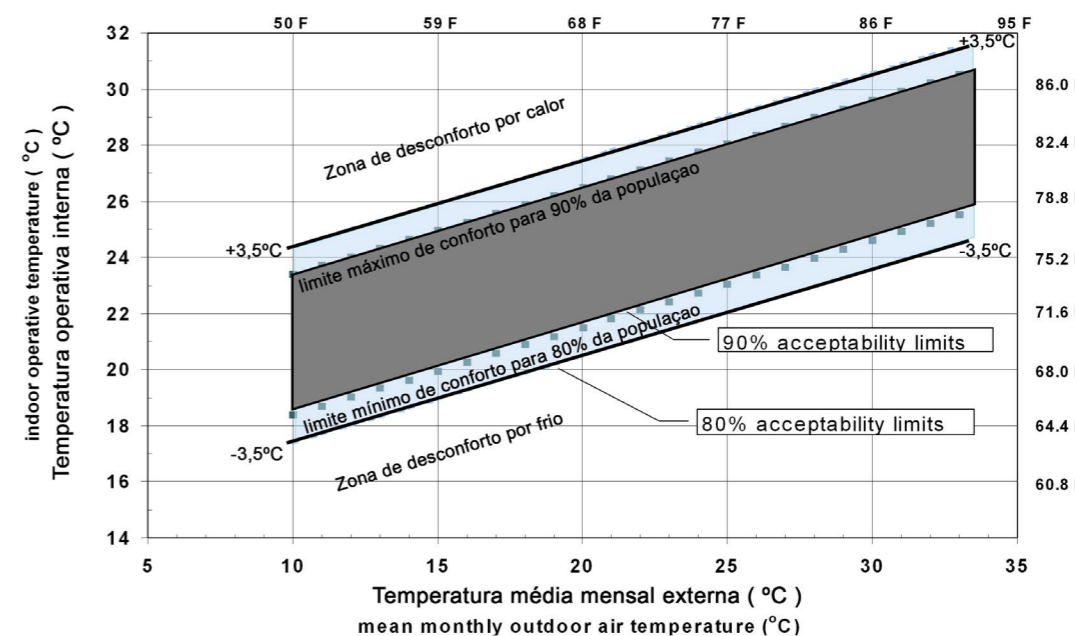


Figura 4: Faixa de conforto de Temperatura Operativa. Fonte: Adaptado da ASHRAE 55 (2017).

Análise econômica

Custos e orçamentos

Usualmente para a determinação de um orçamento, leva-se em consideração o valor dos impostos para a edificação, o lucro estimado e mais dois tipos de custos: os custos diretos que são caracterizados pela mão de obra, materiais e equipamentos, e os custos indiretos que são caracterizados por equipes de supervisão e apoio, despesas gerais no canteiro de obras e taxas (MATTOS, 2006). Neste estudo utilizou-se os custos diretos, por serem diretamente associados aos serviços de campo.

Para a composição de custos unitários, utilizou-se os insumos de cada serviço e seus respectivos índices, assim foi considerado a quantidade de cada insumo necessária para a produção de uma unidade de serviço e o valor pré-estabelecido para desempenhar cada atividade, além dos encargos sobre a hora-base do trabalhador (MATTOS, 2006). A fim de compor os custos, primeiro identificou-se os serviços necessários, posteriormente levantou-se os quantitativos, discriminou-se os custos diretos e a cotação de preços. É indicada a relação dos serviços orçados na tabela 6, que se baseia na discriminação orçamentária apresentada na NBR 12.721 (ABNT, 2006).

B.1. Serviços iniciais:	B. 1.8 Trabalhos em terra Escavações manuais
B.2. Infra-estrutura e obras complementares:	Fundações profundas;
B.3 Supra-estrutura:	Concreto armado;
B.4 Paredes e painéis:	B.4.1 Alvenarias e divisórias Alvenarias de tijolos furados; B.4.2 Esquadrias e ferragens Esquadrias de madeira; Esquadrias de alumínio; Peitoris; B.4.3 Vidros Vidros lisos transparentes;
B.5 Coberturas e proteções:	B.5.1 Cobertura Estrutura de madeira para cobertura; Cobertura com telhas fibrocimento; Funilaria; B.5.2 Impermeabilizações Impermeabilização de fundações; Impermeabilização de sanitários; B.5.3 Tratamentos especiais Tratamento térmico;

Tabela 6: Relação dos serviços orçados (NBR 12.721). Fonte: dos autores, 2021.

B.6 Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais:	B-6.1 Revestimentos (interno e externo) Revestimentos de argamassa; Revestimentos cerâmicos/azulejos; Peitoris; B.6.2 Forros e elementos decorativos B.6.3 Marcenaria e serralheria Corrimão e guarda-corpo; B.6.4 Pintura Selador paredes; Selador portas e madeiras; Pintura PVA; Pintura acrílica; Pintura esmalte sobre madeira; Pintura verniz sobre madeira;
B.7 Pavimentações:	B.7.1 Pavimentações Pisos cerâmicos; B.7.2 Rodapés, soleiras Rodapé cerâmico; Soleira de granitina;

No levantamento quantitativo foram consideradas as dimensões e as características técnicas do projeto arquitetônico, conforme apresentado na tabela 7.

Descrição dos serviços	Qtde	Unid.
B.1 Serviços iniciais		
B.1 Serviços iniciais	Aterro mecanizado	185,82 m ³
	Compactação do aterro	185,82 m ²
B.2 Infra-estrutura e obras complementares		
B.2 Infra-estrutura e obras complementares	Fôrmas (radier)	m ²
	Lastro de brita (radier)	m ³
	Armadura de tela de aço CA 60 (radier)	m ²
	Concreto C25 (radier)	m ³
	Bombeamento do concreto (radier)	m ³
	Aplicação e adensamento (radier)	m ³
B.3 Supra-estrutura		

Tabela 7: Levantamento quantitativo do projeto arquitetônico. Fonte: dos autores (2021).

B.3 Supra-estrutura	Fôrmas (cintas de amarração)	17,49	m ²
	Armadura de aço CA 60 (cintas de amarração)	5.945,55	Kg
		71,63	m ³
	Concreto preparado na obra	21,39	m ³
	Concreto preparado na obra (cintas de amarração)	3,26	m ³
	Concreto preparado na obra (Pilares)	46,98	m ³
	Concreto preparado na obra (Lajes)	1,23	m ²
	Vergas e contravergas	931,23	m ³
	Fôrmas (Vigas)	82,72	m ³
	Lajes pré-moldadas		
B.4 Paredes e painéis:			
B.4.1 Alvenarias e divisórias	Alvenaria de vedação - paredes externas	185,28	m ²
		66,13	m ²
	Alvenaria de vedação - paredes internas	59,01	m ²
	Alvenaria da platibanda	20,89	m ²
	Alvenaria abaixo 1º PV		
B.4.2 Esquadrias e ferragens	Esquadrias de alumínio maxim-ar	16,62	m ²
	Esquadrias de alumínio	15,12	m ²
	Porta de madeira pivotante (1,20x2,10)	1,00	un
	Porta de madeira (0,80x2,10)	5,00	un
	Porta de madeira (0,70x2,10)	1,00	un
	Porta de vidro (4,50x2,10)	1,00	un
	Porta de vidro (2,40x2,50)	1,00	un
B.4.3 Vidros	Vidros simples 4mm	47,67	m ²
B.5 Coberturas e proteções:			
B.5.1 Cobertura	Estrutura de madeira	109,76	m ²
	Telha de fibrocimento	109,76	m ²
	Cumeeira	20,81	m
	Calha de chapa de aço galvanizado	20,81	m
	Rufo de chapa de aço galvanizado	20,76	m
B.5.2 Impermeabilização	Impermeabilização - emulsão asfáltica	63,77	m ²
B.5.3 Tratamentos especiais	Tratamento térmico - Piso	183,71	m ²
	Tratamento térmico - Paredes	457,38	m ²
	Tratamento térmico - Cobertura	109,76	m ²

B.6 Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais:			
B-6.1 Revestimentos (interno e externo)	Chapisco - externo	457,38	m ²
	Emboço - externo	457,38	m ²
	Reboco - externo	457,38	m ²
	Chapisco - interno	325,79	m ²
	Emboço - interno	325,79	m ²
	Reboco - interno	325,79	m ²
	Peitoril	4,82	m
B.6.4 Pintura	Pintura com tinta acrílica - paredes externas	457,38	m ²
		325,79	m ²
	Pintura com tinta PVA - paredes internas	19,74	m ²
	Pintura com verniz - esquadrias de madeira		
B.7 Pavimentações			
B.7.1 Pavimentações	Regularização sarrafeada	183,71	m ²
	Piso cerâmico esmaltado	183,71	m ²
	Rejuntamento de piso cerâmico	183,71	m ²
B.7.2 Rodapés, soleiras	Rodapé cerâmico	102,76	m
	Soleira	10,20	m

A composição dos custos e serviços foi efetuada através da base de dados online do TCPO – Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (PINI, 2017). Já os valores das composições de serviço foram obtidos a partir do SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices, por se tratar de uma fonte oficial de referência de custos de composição de serviços.

Os valores utilizados foram retirados dos relatórios de insumo e composições, que possuem mão de obra, composições e equipamentos dos serviços mais frequentes na construção civil por unidades da federação. O relatório utilizado foi o do primeiro semestre de 2018 para a cidade de Porto Alegre -RS. Para os demais serviços (instalações provisórias, aparelhos e metais, instalações elétricas e instalações hidráulicas, sanitárias e gás) foi utilizado o valor percentual representativo com base no custo total da obra. A tabela 8 apresenta estes percentuais, que são recomendados pela Caixa Econômica Federal, e os valores que foram adotados no trabalho (valor médio).

SERVIÇOS		Intervalo recomendado (%)	Valor adotado (%)
B.1 Serviços iniciais	B.1.3 Instalações provisórias	0,1 a 0,55	0,33
B.8 Instalações e aparelhos	B.8.1. Fundações especiais	3 a 4	3,5
	B.8.2. Infraestrutura e obras complementares	1,9 a 2,5	2,2
	B.8.3. Aparelhos e metais	2 a 6	4
	B.8.2 Instalações elétricas	5 a 12	8,5
	B.8.3 Instalações hidráulicas, sanitárias e gás	5 a 12	8,5
B.9 Complementação da obra	B.9.1 Calafete e limpeza	0,50 a 2,50	1,5

Para o sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor (MVHR) foi feito um orçamento através do site da empresa Solarcrest, localizada no Reino Unido, devido à ausência deste produto no Brasil. Acrescentou-se o valor das taxas de importação para o sistema MVHR, obtidas através do site do Receita Federal (Ministério da Fazenda, 2020) por meio do Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações. O valor para a conversão da moeda Euro (€) para Reais (R\$) foi equivalente a R\$ 6,3899, para o dia 28 de novembro de 2020, data da simulação.

Custo da eletricidade

Para obter o valor em Reais de consumo foi necessária a tarifa energética. O valor do kWh foi calculado, com base na equação informada pela concessionária CEEE, para uma residência convencional de baixa tensão, sem o acréscimo de bandeira tarifária.

Preço final [R\$] = Preço homologado

$$\text{PIS (\%)} - \text{COFINS (\%)} - \text{ICMS (\%)}$$

Equação 3

Os valores de PIS, COFINS e ICMS, foram obtidos através de tabelas da concessionária CEEE, analisados em relação a data de 2019 e 2014.

Tempo de retorno do investimento

Para o *Payback* descontado foram necessárias as seguintes informações: valor investido, taxa de juros, período, valor futuro e valor presente. Para taxa de juros, considerou-se o índice nacional de custo da construção do mercado (INCC), onde utilizou-se uma média mês a mês dos últimos 5 anos. O período foi a quantidade de tempo desde o investimento até o retorno do fluxo de caixa. O valor futuro levou em consideração a economia de kWh da otimização comparada com o caso base. Obtendo assim a economia de energia mês a mês, considerando a variação da tarifaria dos últimos 5 anos no preço final do kWh, através de uma média percentual anual para supor o aumento tarifário, onde no primeiro ano não haveria acréscimo, o acréscimo percentual se daria nos próximos anos gradativamente.

Para o cálculo do *Payback* descontado, foi considerado o valor investido para a otimização como saldo negativo, ao qual, mês a mês, seria somado o valor de economia de energia elétrica, de forma corrigida, tendo em vista a desvalorização da moeda em relação ao período de retorno. O valor de consumo corrigido foi considerado como valor presente (VP) e o valor sem a correção como valor futuro (VF). Para calcular o VP utilizou-se da equação:

$$VP = VF \div (1+i)^n$$

Equação 4

Onde:

VP = Valor presente

VF= Valor futuro

I = taxa de juros

N= número de períodos

A partir do VP foi possível calcular o *PayBack* descontado com a utilização do software Microsoft Excel, somando o VP ao saldo negativo, até anular o valor de investimento, sendo possível obter o período (em anos) de retorno do investimento.

Resultados

Os resultados de desempenho térmico, energético, classificação da envoltória, custos e *payback* descontados, estão descritos no infográfico da figura 5.

ZONA BIOCLIMÁTICA 1				
ENVOLTÓRIAS		CASO BASE NBR 15575	OTIMIZAÇÃO RTQ-R	OTIMIZAÇÃO Passive house
Consumo KWh/m².ano (Climatização artificial 24h)	Setpoint		20°-26 °C	20°-26 °C
	AQUECIMENTO	0,78	0,11	0,01
	RESFRIAMENTO	43,64	10,57	4,99
	TOTAL	44,4	10,7	5,0
Conforto e desconforto	Ventilação natural	VN 20 °C	VN 20 °C	VN 20 °C
	CONFORTO	44,94%	77,71%	96,72%
	DESCONFORTO POR FRIO	54,76%	22,29%	3,28%
	DESCONFORTO POR CALOR	0,30%	0,00%	0,00%
Classificação da envoltória (RTQ-R) (Climatização artificial 21 às 8h)	Setpoint	22°-24 °C	22°-24 °C	22°-24 °C
	CLASSIFICAÇÃO	C	A	B
Orçamento	INVESTIMENTO INICIAL (R\$)	R\$ 549.857,58	R\$ 573.892,97	R\$ 609.803,40
	Payback descontado	Tempo de retorno (anos)	-	5 ANOS

Figura 5: Compilação dos resultados. Fonte: dos autores (2021).

Desempenho termoenergético

Sobre o consumo energético, o padrão *passive house* mostrou-se 88% mais eficiente que os demais casos. Em relação ao nível de conforto térmico, a mesma envoltória apresentou 19% e 52% a mais de horas em conforto térmico ao longo do ano em comparação ao RTQ-R e caso base, respectivamente. Embora a edificação com classificação A do RTQ-R tenha maior isolamento térmico, não obteve melhor desempenho, apresentando maior consumo e menor conforto.

Custos e orçamentos

Orçamento

A tabela a seguir apresenta a descrição do orçamento para cada uma das soluções estudadas.

Descrição dos serviços	Custo (R\$)		
	S1 Caso Base	S2 Nível A RTQ-R	S3 Passive House
B.1 Serviços iniciais	4590,06	4590,06	4590,06
B.3 Supra-estrutura	186457,01	186457,01	186457,01
B.4.1 Alvenarias e divisórias	9091,23	9091,23	9091,23
B.4.2 Esquadrias e ferragens	21454,18	21454,18	21454,18
B.5.1 Cobertura	26199,56	26199,56	26199,56
B.5.2 Impermeabilização	2071,15	2071,15	2071,15
B-6.1 Revestimentos (interno e externo) E tratamentos especiais	141793,84	141793,84	141793,84
		COBERT. 10CM EPS 4651,8098	COBERT. 8CM EPS 3746,255
		PAREDE 10CM EPS 19383,578	PAREDE 8CM EPS 15610,23
		-	PISO 0,5 CM EPS 501,5283
B.6.4 Pintura	15135,54	15135,54	15135,54
B.7.1 Pavimentações	13941,75	13941,75	13941,75
B.7.2 Rodapés, soleiras	4177,84	4177,84	4177,84
Sistema de resfriamento (MVHR)	-	-	40087,8
Investimento adicional	-	24.035,39	59.945,82
Investimento total	R\$ 549.857,58	R\$ 573.892,97	R\$ 609.803,40

Tabela 9: Descrição dos orçamentos. Fonte: dos autores (2021).

Nota-se o acréscimo de R\$ 24.035,39 para obtenção da classificação A do RTQ-R, com a aplicação de 10cm de EPS nas paredes externas e cobertura. Já para o padrão *passive house*, houve o acréscimo de 8 cm EPS nas paredes/ cobertura, 0,5 cm de EPS no piso e a utilização do sistema MVHR, totalizando R\$ 59.945,82 a mais que o caso base. Embora o acréscimo de isolamento seja menor, há um valor significativo associando ao sistema de resfriamento, porque não possui fabricação nacional.

Custo da eletricidade

Para o cálculo do custo da tarifa com impostos em R\$/kWh, foi usado a equação 3, disponibilizada pela CEEE (2019), para uma residência convencional de baixa tensão, sem o adicional de bandeira tarifária. Onde leva em consideração os valores de ICMS, PIS e CONFIS. O valor do ICMS para o padrão de edificação foi obtido através da tabela de Tarifa e custos dos anos de 2014 e 2019, disponibilizada pela CEEE (2014-2019), conforme tabela 10. Assim como o valor de tarifa sem impostos que, no ano de 2014, esteve em R\$ 0,3824, já no ano de 2019 esteve em R\$ 0,5776, chegando ao total com impostos de 0,8777 e 0,5337, apresentando uma variação de 39,19 % ao longo de 5 anos, aproximadamente 7,84% por ano, de acordo com tabela 11.

DATA	ICMS	PIS	COFINS
Mai/19	30,0000%	0,7388%	3,4560%
Dez/14	25,0000%	0,5944%	2,7383%

DATA	[kWh]	TARIFA+IMPOSTO	DIFERENÇA %	DIFERENÇA POR ANO %
Mai/19	0,5776	0,8777	39,19601112	7,84
Dez/14	0,38249	0,5337		

Tabela 10 – Valores das tarifas com impostos (2014 – 2019). Fonte: dos autores (2021). Tabela 11: Valor da variação da tarifa com base em cinco anos. Fonte: dos autores (2021).

Payback descontado

Para o cálculo, levou-se em consideração a economia de consumo que ocorreria comparando os demais casos com o caso base, e o otimizado nível A com o otimizado *passive house*. Em posse desses dados, considerou-se a economia que estas otimizações gerariam por mês em relação ao consumo, onde este valor foi multiplicado pelo valor do custo do kWh com impostos, gerando o valor de economia monetária mês a mês, levando em consideração o percentual de variabilidade da tarifa por ano de 7,84 %.

A figura 6 demonstra o tempo de retorno do investimento em anos. A otimização para atender o nível A do RTQ-R, obteve o tempo de retorno de 5 anos. Já quando a edificação foi otimizada para atender o padrão *passive house*, o tempo de retorno foi de 18 anos. Observa-se que o investimento para obtenção do nível A do RTQ-R foi de 40%, diferente do padrão *passive house*, que tornou-se 60% mais caro, ao mesmo tempo que o investimento para a obtenção da S2 e da S3 comparado com o investimento da envoltória inicial (S1) foi de 5% e 10% de acréscimo, respectivamente.

Conclusões

Com este estudo conclui-se que é possível a aplicação do padrão alemão *passive house* a Zona Bioclimática Brasileira 1, inclusive, o padrão pode proporcionar maior desempenho termoenergético. O projeto arquitetônico das soluções 1, 2 e 3, não foi alterado ao longo das simulações. Desta forma, nota-se que o regulamento técnico de qualidade RTQ-R, do INMETRO 2012, embora tenha sido desenvolvido para habitações residenciais, considerando as zonas bioclimáticas brasileiras, tornou-se insuficiente em questão de desempenho quando comparado o padrão alemão. Isto ocorre pela forma como é feita avaliação do equivalente numérico da envoltória para classificação do RTQ-R que considera, para o consumo de aquecimento, equivalentes numéricos para cada ambiente de permanência prolongada da edificação, obtendo o equivalente da envoltória através de média ponderada com as áreas uteis de cada ambiente. Portanto, pelo projeto apresentar a cozinha integrada à sala de estar, acaba sendo gerada uma área muito significativa em relação aos demais ambientes, necessitando de maior isolamento para diminuir o consumo de aquecimento deste compartimento, diminuindo a perda de calor interno pelas superfícies, mas dificultando a obtenção de calor pelos fechamentos opacos dos demais ambientes, o que aumenta as horas de desconforto por frio no inverno, necessitando de maior consumo energético. Já para obtenção da *passive house*, considera-se o consumo total da edificação até 15kWh/m².ano e até 10% das horas de desconforto por calor. Além disso, outra desvantagem é que para a obtenção da classificação da envoltória, o método do RTQ-R é mais complexo do que para obtenção dos indicadores do padrão *passive house*. Sobre o aspecto econômico, o padrão *passive house* apresentou maior custo, devido ao alto valor associado ao MVHR, deste modo, tornou o padrão A do RTQ-R mais atrativo em questão de custo-benefício. Contudo, quando comparado com o investimento inicial de uma edificação com os padrões mínimos de qualidade (NBR 15575), o acréscimo para obter uma edificação padrão *passive house* torna-se compensável. Observa-se a necessidade de ampliação deste estudo para as demais zonas bioclimáticas brasileiras, a fim de obter padrões e métodos mais eficientes para as habitações unifamiliares, aplicadas ao contexto nacional.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220. *Desempenho térmico para edificações de interesse social*. 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575 - 4: 2013. *Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE*. 2013
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12721: 2006. *Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios*. 2006.
- ASBEA. Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. *Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho – ABNT NBR 15.575*. 2015. Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf. Acesso em junho, 2019.
- ANSI/ASHRAE – American National Standard Institute / American Society Of Heating, refrigerating and air-conditioning engineers. *Standard – 55 - 2017 Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy*. Atlanta, 2017.

BADEA, Adrian; BARACU, Tudor; DINCA, Cristian; TUTICA, Diana; GRICORE, Roxaa; ANASTASIU, Madalina. A life-cycle cost analysis of the passive house “politehnica” from bucharest. *Energy Build.* Romênia. Volume 80, páginas 542-555, 2014.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica. *Tarifas e custos dos serviços 2019*. Disponível em: http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Folder%20Grupo%20B_2019_53766.pdf. Acesso em Fevereiro, 2021.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica. *Tarifas e custos dos serviços 2014*. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tabela%20Grupo%20B%20dezembro%202014.pdf>. Acesso em Fevereiro, 2021.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica. *Valores pis/ confis*. Disponível em: http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/BTFormService_PisCofins.aspx. Acesso em Fevereiro, 2021.

DALBEM, Renata; KNOP, Stifany; CUNHA, Eduardo G.; OLIVEIRA, Rui; RODRIGUES, Maria F.; VICENTE, Romeu. Verification of the passive house concept to the south of brazil climate. *Journal of civil engineering and architecture*, v. 10, p. 937-945, 2016.

DALBEM, Renata; CUNHA, Eduardo Grala.; VICENTE, Romeu; FIGUEIREDO, António J.; SILVA, Antonio César S.B. discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 1, p. 201-222,2017.

EPE. *Empresa de Pesquisa Energética*. Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Nota técnica 030-2018. (14/12/2018). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/uso-de-ar-condicionado-no-setor-residencial-brasileiro-perspectivas-e-contribuicoes-para-o-avanco-em-eficiencia-energetica>. Acesso em junho, 2019.

EPE. *Empresa de Pesquisa Energética*. Balanço energético nacional de 2019, ano base 2018. MME, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em junho, 2019.

FOKAIDES, Paris A.; CHRISTOFOROU, Elias; ILIC, Milos; Papadopoulos, Agis. Performance Of A Passive House Under Subtropical Climatic Conditions. *Energy and Buildings*. Grécia. Volume 133, páginas 14-31, 2016.

INCC, Índice nacional de custo da construção do mercado. *Fundação Getúlio Vargas*. Disponível em: https://www.portalbrasil.net/incc_di.htm. Acesso em agosto, 2019.

INMETRO – Instituto Nacional De Metrologia, normalização e qualidade industrial. *RTQ-R*. Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

MATTOS, Aldo Dórea. Como preparar orçamento de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. Editora PINI. São Paulo, 2006.

MCLEOD, Rob, MEAD, Kym, STANDEN, Mark *Passivhaus primer: designer’s guide a guide for the design team and local authorities*. 2016. Disponível em http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Primers/KN4430_Passivhaus_Designers_Guide_WEB.pdf. Acesso em agosto, 2020.

MIRANDA, Singoala dos Santos. *A influência da NBR 15575 na prática da arquitetura*

na cidade de pelotas, rs. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014.

MLAKAR, Jana; ŠTRANCAR, Janez. Overheating in residential passive house: solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 6, p. 1443–1451, 2011.

SOARES, Maicon Motta. *Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15.575/2013: habitações de interesse social na zona bioclimática 2*. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014.

PACHECO-TORRES, Rosalía; GARCÍA, Javier; MARTÍNEZ, Germán. Energy efficient design of building: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Espanha. Volume 16, páginas 3559-3573, 2012.

PALMER, John. *Passivhaus trust- the case for mvhr*. Disponível em: <https://passivhaustrust.org.uk/guidance_detail.php?gld=46>. Acesso em agosto, 2020.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, *Directiva 2010/31/EU*. 2010. Disponível em < <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:PT:PDF#:~:text=A%20presente%20directiva%20promove%20zba,clima%20interior%20e%20de%20rentabilidade.>> Acessado em 23/03/2021.

PASSIVE-ON PROJECT. *A norma passivhaus em climas quentes da europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético – Parte 1: Revisão De Casas Confortáveis De Baixo Consumo Energético*. 2017. Disponível em: <http://www.eerg.it/passive-on.org/CD/1.%20Technical%20Guidelines/Part%202/Passivhaus%20Portugal/Part%202%20-%20Portuguese%20Passivhaus%20in%20Detail%20-%20Portugues.pdf>. Acesso em agosto, 2019.

SCHNIEDERS, Jürgen.; FEIST, Wolfgang.; RONGEN, Ludwig. Passive houses for different climate zones. *Energy and Buildings*, Volume 105, páginas 71–87, 2015.

WANG, Weimin; RIVARD, Hugues; ZMEUREANU, Radu. *Floor shape optimization for green building*. Canadá. 2006. *Advanced Engineering Informatics*. Volume 20, Páginas 363-378, 2006.