

# SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA PARA CONVERSÃO DE UMA EDIFICAÇÃO PRÉ-EXISTENTE EM UMA EDIFICAÇÃO COM ENERGIA LÍQUIDA ZERO

Jaime Bortoli Filho\*  
Adriano Roberto da Silva Carotenuto\*\*

## RESUMO

Devido aos altos custos relacionados com o consumo energético e as exigências ambientais cada vez mais rigorosas quanto à emissão de poluentes, a busca por edificações cada vez mais eficientes do ponto energético tem sido um assunto comumente abordado tanto nas fases de projeto de novas edificações, quanto na melhoria de edificações já existentes. O presente trabalho busca alternativas viáveis econômica e estruturalmente para melhorar a eficiência energética de uma residência unifamiliar construída nos anos de 1980, na cidade de Itaqui, RS. Além disso, busca-se dimensionar um sistema de energia fotovoltaica que consiga suprir toda a demanda energética anual da residência, de maneira que o balanço de energia líquida seja zero, tornando-a assim, uma edificação NZEB (*Net Zero Energy Building*). Através do programa de análise termoenergética EnergyPlus v9.5, foi possível simular o comportamento térmico da edificação para o clima da Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul. Após avaliar que as melhorias mais viáveis economicamente seriam a alteração da pintura da edificação, a instalação de novos vidros e a aplicação de um isolamento térmico, obteve-se uma estimativa da redução do consumo energético anual da estrutura. Como resultado para a Linha de Base Energética, a simulação obteve um consumo anual de 11899,73kWh. Após a implementação das melhorias, obteve-se uma redução de 11,84%, reduzindo o consumo anual para 10640,36kWh.

**Palavras-chaves:** Edificação com Energia Líquida Zero; Simulação Termoenergética; Energia Fotovoltaica.

## ABSTRACT

Due to the high costs related to energy consumption and the increasingly stringent environmental requirements regarding the emission of pollutants, the search for increasingly energy efficient buildings has been an issue increasingly addressed both in the design phases of new buildings, and in the improvement of existing buildings. The present work seeks economically and structurally viable alternatives to improve the energy efficiency of a single-family residence built in the 1980s, in the city of Itaqui, RS. In addition, we seek to dimension a photovoltaic energy system that can supply the entire annual energy demand of the residence, so that the net energy balance is zero, thus making it an NZEB (*Net Zero Energy Building*). Through the thermoenergetic analysis program EnergyPlus v9.5, it was possible to simulate the thermal behavior of the building for the climate of the West Frontier of the state of Rio Grande do Sul. After determining that the most economically viable improvements would be to change

\*Aluno do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil  
E-mail: [jaime.paaz@gmail.com](mailto:jaime.paaz@gmail.com)

\*\*Orientador, Professor do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil, E-mail: [adrianocarotenuto@gmail.com](mailto:adrianocarotenuto@gmail.com)

the painting of the building, the implementation of new glass and the implementation of thermal insulation, an estimate of the reduction in the structure's annual energy consumption was obtained. As a result for the Energy Baseline, the simulation obtained an annual consumption of 11899.73kWh. After implementing the improvements, a reduction of 11.84% was achieved, reducing annual consumption to 10640.36kWh.

**Keywords:** Net Zero Energy Building; Thermo-Energetic Simulation; Photovoltaic Energy.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da eficiência termoenergética de novas construções e edificações já existentes tem-se tornado uma pauta de grande relevância no dias atuais. Esse aumento e ampliação no setor pode ser facilmente entendido ao contextualizar as diversas mudanças políticas e econômicas que vem acontecendo nos últimos anos. Conforme EUROPEIA (2010), construções e edificações representavam em torno de 40% do consumo energético total da União Europeia no período. Desta forma, percebe-se uma grande necessidade em buscar alternativas para reduzir o consumo energético e com isso a emissão de gases poluentes. Uma vez que as demandas de estudos termoenergéticos aumentam, paralelamente cria-se a necessidade de desenvolver ferramentas que auxiliem os engenheiros e pesquisadores a tornar o processo de otimização energética uma prática viável, tanto para novas edificações quanto para edifícios já existentes. Para isso, as ferramentas computacionais, tais como o EnergyPlus, difundiram-se permitindo que as simulações computacionais fossem cada vez mais presentes no desenvolvimento e projeto de edificações mais eficientes, bem como promover melhorias em construções já existentes. Essas ferramentas permitem, muitas vezes, a integração com outros softwares de CAD, o que torna possível realizar simulações muito próximas à realidade, conforme a complexidade do problema e conhecimento do usuário.

Com o aumento na busca por construções mais eficientes, o que garante consideráveis reduções de consumo energético, este tema acabou por se tornar algo de grande interesse dos pesquisadores, tendo em vista que há um mercado muito grande para os profissionais. Através dos avanços tecnológicos e da crescente acessibilidade aos consumidores de obter fontes de energia limpa em suas construções, surge então, o conceito que representa o ápice de uma edificação no ponto de vista de econômico, ou seja, uma construção que, através de uma fonte própria de energia, seja capaz de suprir sua demanda completa de energia. A esse tipo de edificação foi atribuído o nome *NZEB (Net Zero Energy Building)*, o que em uma tradução literal significa Edificação com Energia Líquida Zero, ou seja, a edificação é capaz de gerar pelo menos toda a energia necessária para o seu funcionamento.

Assim sendo, esse trabalho tem como um de seus objetivos realizar uma análise termoenergética de uma residência unifamiliar já existente na cidade de Itaquí, RS, Brasil. Durante o desenvolvimento e análise do estudo de caso, foi necessário desenvolver diversas estratégias para superar o obstáculo de aperfeiçoar construção relativamente antiga. Desta forma, este trabalho é focado em propor soluções economicamente viáveis que garantam maior eficiência energética para a residência já construída. Além disso, propôs-se a integração de um sistema fotovoltaico junto à simulação, de maneira que este sistema seja dimensionado para garantir toda energia necessária. Portanto, busca-se fazer com que a fonte de energia renovável produza

toda demanda energética sem superdimensionamentos, tornando a residência uma edificação com energia líquida zero.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Não se sabe dizer corretamente quem foi o primeiro autor e quando que o termo *NZEB* (*Net Zero Energy Building*) foi utilizado pela primeira vez. Contudo, uma das primeiras referências que se tem, é o estudo realizado por Iqbal (2004), em uma residência na região de Newfoundland, no Canadá. Neste trabalho, o autor avalia, com auxílio de um *software* de simulação computacional, a viabilidade da implementação de um sistema de energia eólica como fonte principal de energia da edificação em estudo. O autor define que em uma residência com energia líquida zero, o consumo energético anual é igual a produção anual de energia utilizando uma ou mais fontes de energia renováveis.

Torcellini et al. (2006), por outro lado, realiza um estudo onde o autor avalia a definição por trás do termo *ZEB* e *NZEB*. Através desse trabalho, criou-se quatro termos muito bem definidos e consolidados para classificar as Edificações de Energia Zero (*ZEB*). Por outro lado, Charron (2008) define um caso ainda mais específico, para as residências que utilizam apenas energia solar, tanto térmica, quanto fotovoltaica como fonte de geração de energia. Para essas residências o autor definiu o termo de *Zero Energy Solar Homes* (*ZESH*), em uma tradução literal, residências solares de energia zero.

Kilkis (2007) em busca de determinar uma nova métrica para avaliar o impacto ambiental dos edifícios, introduz uma definição de edificação de carbono líquido zero. Neste trabalho, o autor realiza um estudo de caso para avaliar se uma construção *NZEB* é ambientalmente impactante ou não. O autor define que uma edificação de energia zero (*ZEB*), é uma edificação que não utiliza mais do que a energia total fornecida pelas suas fontes de energias renováveis, conceito que também foi adotado pela *ASHRAE* (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

Brahme et al. (2009) analisa nesse trabalho diversas alternativas e tecnologias para se obter uma edificação *NZEB*. Para isso, o autor estuda a construção de uma residência unifamiliar e investiga quais são as medidas e estratégias mais comuns durante um projeto de energia líquida zero. Além disso, o autor avalia a eficácia das simulações computacionais como ferramentas nas tomadas de decisão e *design* de projeto.

Hernandez e Kenny (2010) introduz o conceito de *Life Cycle Zero Energy Building* (*LC-ZEB*) que pode ser traduzido como Edifício com Ciclo de Vida de Energia Zero. Nesse trabalho, o autor busca o conceito de Energia Líquida utilizado na Economia Ecológica. Desta forma, o autor considera que um edifício *LC-ZEB*, é aquele em que a energia de suas cargas internas somada à energia de seus materiais e sistemas é igual ou menor que a energia gerada pelas suas fontes renováveis.

Attia et al. (2013) apresenta o uso de simulações de desempenho de edifícios, ou *BPS* (*Building Performance Simulation*), como ferramenta de tomada de decisão durante o projeto de edificações *NZEB*. Para isso, o autor busca avaliar o efeito e o impacto das decisões tomadas com base em simulações computacionais. Assim sendo, três critérios principais são avaliados, sendo eles, o conhecimento e satisfação ao uti-

lizar ferramentas computacionais, avaliar as estratégias e decisões mais comuns nas fases de projeto e a robustez do *software* para realizar a simulação. Posteriormente, Attia (2018) desenvolve um compilado, quase como um guia, reunindo informações que vão desde conceitos preliminares, estruturas, análises e estudos de caso e até a implementação de projetos de edificações NZEB.

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho, tem como objetivo, aplicar em uma construção pré-existente, modificações viáveis, que ainda permitam que a mesma torne-se mais eficiente e com a implementação de um sistema de energia renovável possibilite que essa estrutura se torne uma edificação NZEB.

O presente trabalho segue uma sequência de desenvolvimento semelhante a apresentada por Gomes (2021). Entretanto, este trabalho irá apresentar, além disso, o dimensionamento do sistema de energia renovável. Desta forma, esse estudo se desenvolverá nas seguintes etapas:

1. Determinação da linha de base energética;
2. Análise dos pontos para melhoria;
3. Simulações do modelo melhorado;
4. Dimensionamento do sistema de energia fotovoltaico;
5. Verificação dos resultados e desempenho do sistema de energia renovável.

#### 3.1. LINHA DE BASE ENERGÉTICA

Por definição, a linha de base energética (LBE) representa o desempenho energético de uma estrutura durante um determinado período de tempo. Desta maneira, esse indicador pode ser aproveitado como um número de referência, utilizado para comparar o desempenho energético atingindo após a implementação de diferentes melhorias. Com a obtenção da LBE, cria-se um indicador de desempenho energético, para mensurar e avaliar se as melhorias implementadas estão ocasionando os efeitos desejados, ou seja, se estão impactando no desempenho energético da estrutura. Esse índice auxilia na avaliação das medidas e caminhos tomados durante a fase de projeto. Além disso, um outro indicador útil para avaliar as decisões tomadas é o consumo energético, que basicamente mede a quantidade de energia aplicada na edificação, podendo ser expresso em  $kWh$  ou  $kWh/m^2$ .

Como ferramenta para a obtenção da LBE e das demais simulações citadas anteriormente, o presente estudo fará utilização do programa de análise termoenergética EnergyPlus v9.5. Esse *software* é uma ferramenta *Open Source* utilizada por engenheiros e arquitetos para auxiliar na modelagem do consumo energético de edificações e estruturas. Além disso, o programa permite a integração de diversos outros sistemas auxiliares, como sistemas de ar condicionado e sistemas de geração de energia (ENERGYPLUS, 2023). Um fator determinante para a escolha do EnergyPlus é a sua integração com o *Sketchup Make 2017*, uma ferramenta de *CAD* que permite uma fácil modelagem 3D da edificação.

### 3.2. ENVOLTÓRIA

A envoltória de uma edificação pode ser entendida como sendo a "casca" de uma estrutura, isto é, representa as superfícies sem espessuras que separam os lados internos e externos da estrutura. (PBE-EDIFICA, 2012).

O presente estudo, analisa uma edificação unifamiliar, localizada em Itaqui, RS, mostrada na figura 1, região na Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul; desta maneira, conforme PBE-Edifica (2012), localiza-se na zona bioclimática 2. Devido ao fato da cidade de Itaqui não possuir um arquivo com dados meteorológicos *EPW (EnergyPlus Weather Format)*, optou-se pela utilização da estação mais próxima que fornecesse dados que permitissem a realização das simulações. Portanto, foram utilizados os dados meteorológicos da cidade de Paso de Los Libres, na Argentina, localizada a 100km da cidade de Itaqui. Desta forma, o *software* foi alimentado com os dados meteorológicos coletados entre os períodos de 2007 e 2021 para todos os dias do ano. Além disso, foram criados "dias de projeto", que basicamente simulam os dias críticos do ano, ou seja, com as temperaturas mais baixas e mais elevadas. Esses dias levam em consideração a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, amplitude térmica, temperatura de orvalho, direção e velocidade do vento, além da pressão atmosférica. Os parâmetros utilizados são referentes ao ano de 2021 para a cidade de Paso de Los Libres e são fornecidos conforme ASHRAE (2021)



Figura 1 - Vista superior através do Google Earth. Fonte: Adaptado de Google Earth.

Conforme mostrado na figura 1, a fachada frontal é considerada uma fachada leste, uma vez que forma um ângulo de  $98^\circ$  com o Norte, conforme PBE-Edifica (2012). A edificação de estudo desse trabalho, trata-se de uma estrutura construída nos anos de 1980, finalizada aproximadamente em 1986, com objetivo de ser um edifício de três pavimentos, sendo o primeiro pavimento dedicado ao comércio e os demais pavimentos para fins residenciais. Contudo, apenas o primeiro pavimento foi construído e dedicado inicialmente ao comércio. Posteriormente, a estrutura foi convertida para

uma residência unifamiliar e atualmente a edificação é dada conforme o modelo tridimensional mostrado na figura 2. Por se tratar de uma estrutura antiga, observa-se uma considerável robustez na sua construção.

Através do *software Skeetup Make 2017* foi possível criar um modelo fiel a edificação original, levando em consideração até mesmo as residências que fazem fronteira com a envoltória de estudo, uma vez que as estruturas vizinhas interagem com a envoltória de estudo através do sombreamento em determinadas horas do dia, é importante que estas sejam englobadas na simulação. Estas que são representadas pelos paralelepípedos em roxo, à esquerda e embaixo, mostrados na figura 2. Além disso, pode-se observar outras regiões sombreadas, a região em frente à fachada retrata um muro frontal; a região sombreada entre a parte direita da residência e a residência vizinha abaixo, refere-se a uma cobertura presente na garagem; enquanto que a região sombreada acima do telhado representa a estrutura dos painéis fotovoltaicos.

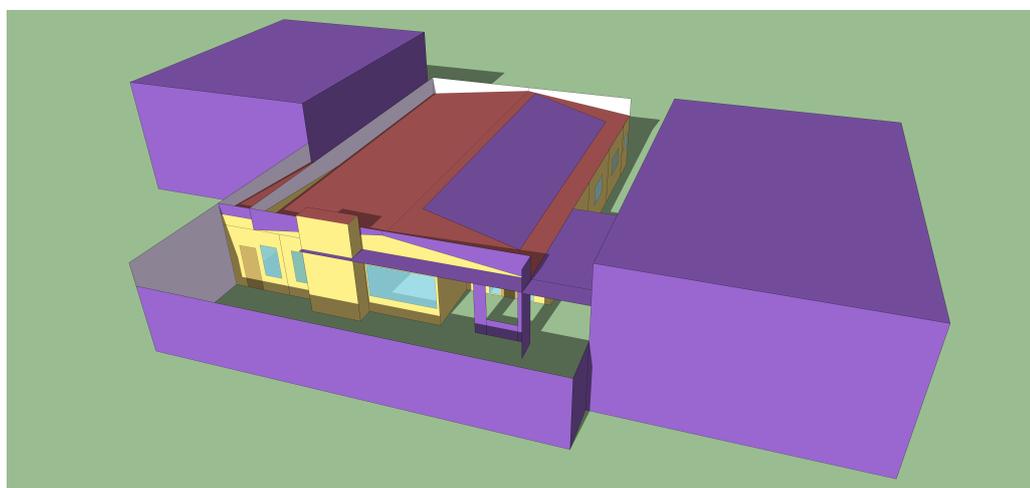


Figura 2 - Modelo tridimensional da residência. Fonte: O autor.

A estrutura trata-se de uma edificação com 440 m<sup>2</sup> de área construída e 216,36 m<sup>2</sup> disponível para habitação. Esta área foi dividida em 14 zonas térmicas, sendo sete delas ambientes condicionados e os outros sete ambientes não condicionados. A estrutura conta com um pé direito de três metros, com um forro de gesso rebaixado; desta maneira, a altura do piso ao forro é de 2,5 m. A estrutura conta com paredes de tijolos simples, reboco interno com cor clara e reboco externo com cor escura. Além disso, a cobertura é composta de folhas de fibrocimento em formato de tesoura, uma camada de ar e uma laje de concreto pesado com 20 cm de espessura, seguida de um rebaixo (camada de ar) e um forro de gesso. A fundação é constituída por uma laje de concreto pesado de 20 cm, argamassa de contrapiso e um piso de porcelanato. A tabela 1, apresenta os materiais base da residência, mostrados em camadas, de maneira semelhante a como são organizados no *software* EnergyPlus.

Como entradas para alimentar a simulação, o EnergyPlus exige uma série de propriedades físicas dos materiais que vão compor a envoltória. Tendo em vista que esses materiais interagem entre si trocando calor, no caso das fronteiras, como por exemplo as paredes, o piso e o teto. Neste caso, para cada uma das camadas, o *software* é alimentado com a espessura –  $L$ , a condutividade térmica –  $k$ , a massa específica –  $\rho$ , o calor específico –  $c_p$ , a resistência térmica –  $R$  (quando há), a emissividade da superfície –  $\epsilon$  e a absorptância solar térmica –  $\alpha$ .

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais da envoltória. Fontes: ABNT (2005); INMETRO (2013); ASHRAE (2017).

Superfície	Camada	Descrição	$L$ (m)	$k$ (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kgK)	$R$ (m <sup>2</sup> K/W)	$\epsilon$	$\alpha$
Paredes Externas	1	Argamassa de reboco externo cor escura	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,92
	2	Tijolo furado 9x14x19cm	0,09	0,4	1100	800	-	0,9	0,92
	3	Argamassa de reboco interno cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
Paredes Internas	1	Argamassa de reboco interno cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
	2	Tijolo furado 9x14x19cm	0,09	0,4	1100	800	-	0,9	0,92
	3	Argamassa de reboco interno cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,92
Piso	1	Laje de concreto pesado	0,20	2,9	2400	1000	-	0,9	0,3
	2	Argamassa de contrapiso	0,03	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
	3	Lajota piso cerâmico branco	0,005	1,00	1900	1000	-	0,9	0,43
Teto	1	Telha de fibrocimento	0,003	0,080	1900	830	-	0,9	0,92
	2	Camada de ar	-	-	-	-	0,21	-	-
	3	Laje de concreto pesado	0,20	2,9	2400	1000	-	0,9	0,2
	4	Camada de ar	-	-	-	-	0,21	-	-
	5	Placa de gesso	0,02	0,35	750	840	-	0,9	0,2
Portas	1	Madeira	0,03	0,16	720	1255	-	0,9	0,7

Dadas as informações sobre as características construtivas da envoltória, parte-se para a disposição e modelagem das zonas térmicas, sendo elas climatizadas ou não. As dimensões, nomenclaturas e determinação se o ambiente é climatizado ou não, segue conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização das zonas térmicas. Fonte: O autor.

Zona	Área ( $m^2$ )	Condicionada	Zona	Área ( $m^2$ )	Condicionada
Sala de Estar	71,15	Sim	Suíte 1	19,68	Sim
Lavabo 1	2,82	Não	Banheiro Suíte 1	7,52	Não
Consultório	15,33	Sim	Suíte 2	15,78	Sim
Sala de Espera	10,67	Sim	Banheiro Suíte 2	4,70	Não
Lavabo 2	4,27	Não	Suíte 3	13,28	Sim
Cozinha	26,10	Sim	Banheiro Suíte 3,00	4,00	Não
Área de Serviço	14,44	Não	Corredor	6,62	Não

Nas superfícies que possuem portas e janelas, ocorre ainda a troca térmica por infiltração de ar através das frestas. Para a presente análise foram utilizadas 0,5 trocas de ar por hora. Para as janelas, ainda existem outras propriedades físicas que são relevantes para o *software*, sendo elas a transmitância solar -  $\tau_s$ , a refletância solar  $R_{s,i}$ , a transmitância solar visível -  $\tau_v$ , a refletância solar visível  $R_{v,i}$ , a transmitância infravermelho -  $\tau_i$ , a emissividade infravermelho -  $\epsilon_i$  e a condutividade térmica -  $k$ , onde o subscrito  $f$  representa a face frontal do vidro enquanto que  $b$  representa a face posterior do vidro.

Tabela 3 - Propriedades físicas do vidro utilizado na envoltória. Fontes: ABNT (2005); INMETRO (2013); ASHRAE (2017).

Descrição	$L$ ( $m$ )	$\tau_s$	$R_{s,f}$	$R_{s,b}$	$\tau_v$
Vidro Cinza Temperado	0,008	0,32	0,048	0,048	0,338
Descrição	$R_{v,f}$	$R_{v,b}$	$\epsilon_{in,f}$	$\epsilon_{in,b}$	$k$ ( $W/mK$ )
Vidro Cinza Temperado	0,049	0,049	0,84	0,84	0,9

As propriedades físicas do tipo de vidro presente em todas as janelas da envoltória podem ser observadas na tabela 3, uma vez que o vidro possui transmitância infravermelho igual a zero esse valor foi ocultado da tabela.

### 3.3. CARGAS INTERNAS

Finalizada a modelagem e preparação da envoltória para análise, através do arquivo climático, o *software* realiza a simulação e interação da envoltória com o ambiente externo, determinando a carga térmica devido essa interação. Contudo, ainda há outros elementos a se considerar; esse estudo leva em conta as cargas internas devido à ocupação dos moradores, à iluminação artificial, aos equipamentos elétricos e ao sistema de climatização.

A RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para Aplicações Residenciais) determina que as zonas térmicas de uso frequente devem ter um padrão de ocupação definido tanto para dias de semana quanto para fins de semana e, se necessário, para feriados. Nessas tabelas, denominadas *schedules*, são definidos os percentuais de ocupação por hora do dia e também a potência em  $W$  por ocupante. A tabela 4 mostra o padrão de ocupação para os dormitórios; conforme a RTQ-R são considerados dois ocupantes por dormitório em regime de descansando gerando  $81W$  cada um.

Tabela 4 - Padrão de ocupação para dormitórios. Fonte: PBE-Edifica (2012).

Dias da semana					
Horário Início	Horário Fim	Percentual	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3
00:00	07:00	100%	2	2	2
07:00	21:00	0	0	0	0
21:00	22:00	50%	1	1	1
22:00	24:00	100%	2	2	2
Fins de semana					
Horário Início	Horário Fim	Percentual	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3
00:00	09:00	100%	2	2	2
09:00	10:00	50%	1	1	1
10:00	21:00	0%	0	0	0
21:00	22:00	50%	1	1	1
22:00	24:00	100%	2	2	2

Para salas de uso comum, um outro padrão é adotado, no caso da sala de estar, por padrão adota-se todos os membros que ocupam os dormitórios como ocupantes do ambiente, neste caso, totalizam seis ocupantes. Além disso, considera-se a cozinha ocupada por dois residentes. O modelo de *schedule*, para as salas de uso comum, segue conforme a tabela 5. Nesta tabela, pode-se observar que para o primeiro intervalo ocupado da cozinha (14:00 até 19:00), o percentual de ocupação é de 25%, para duas pessoas, contudo, para não utilizar um parâmetro que indique 0,5 pessoas, adotou-se uma pessoa como ocupação mínima. Para todos os ocupantes de salas de uso comum, utiliza-se um padrão de  $108W$  por ocupante, valor aproximado de uma pessoa assistindo televisão ou sentada em repouso.

Como um diferencial, essa residência conta ainda com duas salas comerciais, sendo uma delas, uma sala de espera com lavabo e um consultório médico. Desta maneira, adotou-se um padrão de horário comercial para a ocupação desta sala. Determinou-se uma ocupação de três pessoas, sendo uma secretária e dois pacientes. Enquanto que para o consultório, foi determinado dois ocupantes, sendo o médico e mais um paciente. O padrão e ocupação para cada uma das salas pode ser visto na tabela 6. Para todos os ocupantes, tando da sala de espera quando do consultório, foi adotado um padrão de  $108W$  por ocupante, análogo a uma pessoa sentada ou assistindo televisão.

O próximo passo para a determinação das cargas internas é realizar os padrões de iluminação, de maneira análoga ao que foi realizado para os padrões de ocupação. Para isso, foi adotado os seguintes valores de potência de iluminação, para as salas de uso comum e para as duas salas comerciais foram adotadas potências de ilumina-

Tabela 5 - Padrão de ocupação para salas. Fonte: PBE-Edifica (2012).

Dias da semana				
Horário Início	Horário Fim	Percentual	Sala de Estar	Cozinha
00:00	14:00	0	0	0
14:00	19:00	25%	2	1
19:00	20:00	100%	6	2
20:00	22:00	50%	3	1
22:00	24:00	0	0	0
Fins de semana				
Horário Início	Horário Fim	Percentual	Sala de Estar	Cozinha
00:00	11:00	0	0	0
11:00	12:00	25%	2	1
12:00	13:00	75%	3	2
13:00	14:00	0	0	0
14:00	15:00	75%	3	2
15:00	18:00	50%	2	1
18:00	20:00	25%	1	1
20:00	22:00	50%	2	1
22:00	24:00	0	0	0

Tabela 6 - Padrão de ocupação para salas comerciais. Fonte: O autor.

Dias de semana				
Horário Início	Horário Fim	Percentual	Consultório	Sala de Espera
00:00	08:00	0	0	0
08:00	12:00	100%	2	3
12:00	14:00	0	0	0
14:00	18:00	100%	2	3
18:00	24:00	0	0	0
Fins de semana				
Horário Início	Horário Fim	Percentual	Consultório	Sala de Espera
00:00	24:00	0	0	0

ção de 128W, enquanto que para os dormitórios foi adotada uma potência de 64W. Desta forma, o padrão de iluminação definido pela RTQ-R para as zonas térmicas condicionadas, durante os dias da semana, é dado conforme a tabela 7.

Da mesma forma que foram adotados padrões de ocupação para os dias da semana e para os fins de semana, os padrões de iluminação seguem a mesma lógica. Desta forma, os padrões de iluminação, determinados conforme a RTQ-R, para os fins de semana seguem descritos na tabela 8.

Para finalizar a descrição das cargas internas, resta apenas descrever os equipamentos e eletrodomésticos juntamente com seus tempos de operação. Para isso foi realizado um levantamento dos equipamentos e através de suas etiquetas foi de-

Tabela 7 - Padrão de Iluminação para os dias da semana. Fonte: PBE-Edifica (2012).

Dias da Semana				
Horário Início	Horário Fim	Dormitórios	Salas	Consultório Sala de Espera
00:00	07:00	0	0	0
07:00	08:00	100%	0	0
08:00	12:00	0	0	100%
12:00	14:00	0	0	0
14:00	17:00	0	0	100%
17:00	18:00	0	100%	100%
18:00	20:00	0	100%	0
20:00	21:00	100%	100%	0
21:00	22:00	100%	0	0
22:00	24:00	0	0	0

Tabela 8 - Padrão de Iluminação para os fins de semana. Fonte: PBE-Edifica (2012).

Dias da Semana				
Horário Início	Horário Fim	Dormitórios	Salas	Consultório Sala de Espera
00:00	09:00	0	0	0
09:00	10:00	100%	0	0
10:00	11:00	0	0	0
11:00	13:00	0	100%	0
13:00	17:00	0	0	0
17:00	18:00	0	100%	0
18:00	20:00	0	100%	0
20:00	21:00	100%	100%	0
21:00	22:00	100%	0	0
22:00	24:00	0	0	0

terminado um valor de referência de suas respectivas potências. Além disso, foi determinado um período de funcionamento para cada um dos equipamentos. Assim como Gomes (2021), para todos os equipamentos, utilizado 0,5 como valor de fração radiante e fração convectiva. A tabela 9 compila todos os equipamentos utilizados.

Tabela 9 - Equipamentos elétricos presentes na envoltória. Fonte: O autor.

Descrição	Potência (W)	Período (h/dia)	Descrição	Potência (W)	Período (h/dia)
TV 65"	195	1	Fogão de Indução	1500	2
TV 50"	110	1	Exaustor	300	2
TV 42"	130	1	Forno Elétrico	1300	0,25
TV 32"	130	2	Microondas	1150	0,16
TV 32"	130	2	Frigobar	85	6
Notebook	130	4	Fribogar	85	6
Desktop	300	4	Geladeira	500	6
Impressora	45	1	Máquina de Lavar	500	0,5

### 3.4. PROPOSTA ENERGÉTICA

Devido ao fato da edificação ser uma estrutura antiga e realizar modificações estruturais não é economicamente viável, buscou-se então um aperfeiçoamento nos materiais já presentes na envoltória, ou seja, substituir alguns materiais em busca de uma maior eficiência energética. Desta forma, foca-se na garantia de um melhor desempenho térmico com melhorias viáveis do ponto de vista econômico. Após inúmeros testes, as seguintes propostas foram as que se melhor encaixaram com as características construtivas da edificação. A primeira mudança impactante veio na alteração dos vidros cinzas; uma vez que a área envidraçada é de 19,18 m<sup>2</sup>, optou-se por buscar um material que tivesse menor transmitância térmica ao mesmo tempo que oferecesse maior refletância térmica. Após pesquisas, o vidro selecionado foi o modelo COOL-LITE ST 108 6mm da fabricante CEBRACE, conforme mostrado na tabela 10. Pode-se destacar que o vidro selecionado possui uma transmitância térmica cinco vezes menor que o presente na envoltória. Além disso, o vidro oferece uma refletância térmica quase oito vezes maior que o material encontrado atualmente na edificação.

Tabela 10 - Propriedades do vidro da proposta energética. Fonte: ABIVIDRO (2013).

Descrição	$L$ (m)	$\tau_s$	$R_{s,f}$	$R_{s,b}$	$\tau_v$
Vidro Cinza Temperado	0,008	0,32	0,048	0,048	0,338
Vidro COOL-LITE ST 108	0,006	0,064	0,381	0,485	0,078
Descrição	$R_{v,f}$	$R_{v,b}$	$\epsilon_{in,f}$	$\epsilon_{in,b}$	$\frac{k}{(W/mK)}$
Vidro Cinza Temperado	0,049	0,049	0,84	0,84	0,9
Vidro COOL-LITE ST 108	0,444	0,377	0,847	0,147	1

Além da alteração dos vidros, outras modificações foram adotadas na simulação. Através de análises preliminares, observou-se que a cobertura e as paredes externas apresentavam valores expressivos de área exposta ao sol, sendo elas, 228,75m<sup>2</sup> e 183,73m<sup>2</sup>, respectivamente. Foi possível observar um alto consumo energético na edificação devido aos elevados coeficientes de absorvância térmica, em função da pintura das paredes externas e das telhas de fibrocimento. Além disso, a falta de um material isolante na cobertura, torna a região pouco eficiente termicamente. Assim sendo, uma alternativa viável foi a implementação de uma camada de lã de vidro logo abaixo da telha de fibrocimento, garantindo assim, um maior isolamento térmico da cobertura. Por outro lado, uma alteração na coloração das telhas também oferece uma redução no consumo geral, observa-se que as pinturas de cor clara, oferecem baixa absorvância térmica, como pode ser observado na tabela 1. Para a cobertura, foi selecionada uma pintura de cor clara, semelhante àquela presente nas paredes internas, reduzindo a absorvância térmica para 0,2, o que representa apenas 28% do valor inicial. A mesma ideia foi aplicada nas paredes externas, que apresentam um expressivo consumo energético uma vez que possuem um coeficiente de absorvância ainda maior, de 0,92. Com um coeficiente de 0,2, observa-se uma redução de quase cinco vezes, quando comparada à pintura atual da edificação. Essas alterações nas propriedades físicas da envoltória podem ser observadas na tabela 11. Vale destacar que a proposta energética manteve o mesmo sistema de climatização, com condicionadores individuais do tipo *VRF (Variable Refrigerant Flow)* para cada uma das zonas térmicas.

Tabela 11 - Propriedades térmicas dos materiais da proposta energética. Fontes: ABNT (2005); INMETRO (2013); ASHRAE (2017).

Superfície	Camada	Descrição	$L$ (m)	$k$ (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kgK)	$R$ (m <sup>2</sup> K/W)	$\epsilon$	$\alpha$
Paredes Externas	1	Argamassa de reboco externo cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
	2	Tijolo furado 9x14x19cm	0,09	0,4	1100	800	-	0,9	0,2
	3	Argamassa de reboco interno cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
Paredes Internas	1	Argamassa de reboco interno cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
	2	Tijolo furado 9x14x19cm	0,09	0,4	1100	800	-	0,9	0,92
	3	Argamassa de reboco interno cor clara	0,025	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
Piso	1	Laje de concreto pesado	0,20	2,9	2400	1000	-	0,9	0,3
	2	Argamassa de contrapiso	0,03	1,15	2000	1000	-	0,9	0,2
	3	Lajota piso cerâmico branco	0,005	1,00	1900	1000	-	0,9	0,43
Cobertura	1	Telha de fibrocimento	0,003	0,080	1900	830	-	0,9	0,2
	2	Lã de Vidro	0,05	0,035	32	700	-	0,9	0,5
	3	Camada de ar	-	-	-	-	0,21	-	-
	4	Laje de concreto pesado	0,20	2,9	2400	1000	-	0,9	0,2
	5	Camada de ar	-	-	-	-	0,21	-	-
	6	Placa de gesso	0,02	0,35	750	840	-	0,9	0,2
Portas	1	Madeira	0,03	0,16	720	1255	-	0,9	0,7

#### 4. RESULTADOS

A LBE determina o consumo inicial de um projeto antes que qualquer alteração ou melhoria seja implantada. Com ela, pode-se avaliar o desempenho das medidas tomadas, levando em conta a redução no consumo energético que essa determinada medida causa no indicador de consumo total. Desta forma, foi compilado na tabela 12, o consumo mensal, dividido entre o consumo por equipamentos elétricos, iluminação e consumo com climatização dos ambientes. Vale destacar que, uma vez que a RTQ-R não oferece valores para climatização de ambientes com *VRF (Variable Refrigerant Flow)*, uma solução que simula o comportamento de *Splits* do tipo *Inverter*, com maior eficiência energética. Portanto foram utilizados os valores de referência fornecidos pelo EnergyPlus, sendo eles um COP para resfriamento de 3,48 e um COP para aquecimento de 3,55. Além disso, foi utilizada uma taxa de ar por pessoa de 0,00944 m<sup>3</sup>/s, um eficiência do ventilador de 0,7 e 0,9 para a eficiência do motor elétrico.

Tabela 12 - Consumo energético da linha de base energética. Fonte: O autor

Mês	Equipamentos (kWh)	Iluminação (kWh)	Climatização (kWh)	Total (kWh)
Janeiro	462,20	107,20	758,21	1327,61
Fevereiro	417,47	97,02	578,81	1093,30
Março	462,20	108,74	494,57	1065,51
Abril	447,29	101,75	137,07	686,12
Mai	462,20	108,74	216,71	787,66
Junho	447,29	104,83	497,10	1049,22
Julho	462,20	105,66	739,45	1307,31
Agosto	462,20	108,74	362,90	933,85
Setembro	447,29	103,31	235,32	785,92
Outubro	462,20	107,20	140,89	710,29
Novembro	447,29	104,83	442,16	994,28
Dezembro	462,20	105,66	590,80	1158,66
Total	5442,06	1263,69	5193,98	11899,73

Vale destacar que a RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para Aplicações Comerciais), utilizada para prédios comerciais, de serviços e públicos, recomenda a utilização de um COP de 3,81 tanto para aquecimento, quanto para resfriamento, para máquinas do tipo *VRF* com com potência inferiores à 19kWh. Contudo, por não se enquadrar de maneira exata com esse estudo, optou-se por utilizar os valores de referência tendo que em vista que dessa forma obter-se um caso mais crítico.

O resultados expressos na tabela 12 demonstram o acentuado consumo energético devido aos equipamentos e a climatização dos ambientes. Ao analisar o consumo anual, tem-se um consumo de 5442,06 kWh para equipamentos elétricos, o que representa 45,73% da demanda total, 1263,69 kWh em iluminação, totalizando 10,62% e 5193,98 kWh de potência destinada à climatização, resultando nos 43,65% restantes. Um fator bastante impactante é o alto consumo energético dos equipamentos da cozinha, essa zona térmica, sozinha, concentra mais de 30% do total da energia consumida por equipamentos.

Com a determinação da LBE, buscam-se alternativas que melhorem o consumo energético na edificação. As modificações realizadas foram citadas anteriormente,

e o impacto no consumo geral de cada uma delas pode ser visto na tabela abaixo. Buscou-se realizar uma análise individual para cada uma das melhorias, visando avaliar o desempenho de cada uma das modificações, possibilitando analisar quais geram maior impacto no desempenho energético e ainda verificar a viabilidade econômica das mesmas. Criou-se então uma pequena análise do custo de cada uma das melhorias selecionadas, com objetivo de analisar o desempenho de cada uma das mudanças comparado com um custo aproximado de implementação. Para isso, um indicador de impacto foi criado para medir o custo em R\$ para reduzir um kWh no consumo energético da edificação. Vale destacar que os valores utilizados para determinar o custo de implementação foram obtidos através de orçamentos com alguns fornecedores locais, onde o menor valor foi utilizado para esse comparativo. Para a pintura das paredes e coberturas, utilizou-se um valor de R\$624,90 para 150 m<sup>2</sup> de área pintada, sendo necessário três unidades, ambas as melhorias foram consideradas no mesmo cálculo, uma vez que pode-se aplicar a mesma tinta para ambos os casos. Para a lâ de vidro foi utilizado R\$144,90 para cada 15 m<sup>2</sup> de área da cobertura, totalizando 16 unidades. Para os vidros, foi utilizado um valor de R\$400,00 por m<sup>2</sup>.

A tabela 13 mostra os resultados após a implementação de cada uma das melhorias. Através dos resultados exibidos abaixo, pode-se observar que o somatório das melhorias individuais representa uma redução de 1528,12 kWh no consumo anual. Contudo, após a aplicação simultânea das modificações, obteve-se uma redução de 1250 kWh, o que representa uma redução percentual de 11,84% no consumo anual de energia elétrica. Além disso, pode-se perceber uma grande diferença no custo por kWh entre as melhorias aplicadas. Observa-se um bom custo-benefício na aplicação da pintura e do isolante térmico, por outro lado, a implementação dos vidros fornece custo mais de dez vezes maior que a aplicação da lâ de vidro e mais de 20 vezes quando comparada com a pintura do telhado e cobertura.

Tabela 13 - Redução de consumo das melhorias implementadas. Fonte: O autor.

Descrição	Consumo (kWh)	Redução (kWh)	Redução Percentual	Custo Médio	Impacto (R\$/kWh)
LBE	11899,73	-	-	-	-
Paredes	11530,60	369,13	3,20%	R\$ 1.874,70	2,23
Cobertura	11426,58	473,15	4,14%		
Janelas	11743,95	155,78	1,33%	R\$ 7.672,00	49,25
Lã de Vidro	11369,65	530,08	4,66%	R\$ 2.318,40	4,37
Proposta	10640,36	1259,36	11,84%	R\$ 11.865,10	9,42

Através da análise de cada uma das melhorias da proposta energética, tem-se então a economia total da proposta implementada nesse trabalho. Através da determinação do consumo total obtido após a realização das melhorias, parte-se para o dimensionamento do sistema fotovoltaico. A determinação da quantidade necessária de painéis e dos demais componentes do sistema de geração de energia, foi determinada conforme a metodologia utilizada por Oliveira (2018). Para esse sistema foi selecionado um modelo de painel fotovoltaico de 330W com 72 células de silício policristalino. Para suprir a demanda total de energia, foi necessário um total de 24 painéis dispostos em uma grade de 12x2. Os painéis possuem eficiência solar de 16,97% e foi selecionado um inversor de 8000W com eficiência de 98,1%. O dimensionamento do sistema fotovoltaico segue conforme a tabela 14.

Tabela 14 - Dimensionamento do sistema fotovoltaico. Fonte: O autor.

Consumo Anual	10640,36 kWh
Consumo Médio Mensal	786,70 kWh/mês
Consumo Médio Diário	26,22 kWh/dia
Disponibilidade	100 kWh
Horas de Sol Pleno	4,81 h
Desempenho do Sistema	0,7
Potência do sistema	7788,30 W
Potência da Placa	330 W
Número de placas	24
Potência Nominal do Inversor	8000 W

O fator de disponibilidade mostrado na tabela, refere-se a tarifa mínima para operar um sistema trifásico, conforme ANEEL (2021). Esse valor é descontado do consumo médio mensal uma vez se trata de uma taxa obrigatória para sistemas trifásicos. Por outro lado, o fator de horas de sol pleno foi obtido conforme CRESESB (2018) para as coordenadas de latitude 29,125278° S e longitude 56,553056° O, para a cidade de Itaquí.

Os resultados obtidos após a implementação da proposta energética e do dimensionamento do sistema fotovoltaico, está expresso na tabela 15. Pode-se observar que o consumo crítico de energia é no mês de julho, com uma demanda energética de 1202,95 kWh, isso deve-se ao fato do inverno possuir temperaturas baixas. Além disso, a geração de energia do sistema dimensionado proporcionou ao sistema um total de 10790,52kWh, o que representa um excesso de apenas 150 kWh, quantidade que pode ser devolvida à rede.

Tabela 15 - Consumo e geração de energia com a aplicação da proposta energética. Fonte: O autor.

Mês	Equipamentos (kWh)	Iluminação (kWh)	Climatização (kWh)	Total (kWh)	Geração (kWh)
Janeiro	462,20	107,20	537,44	1106,84	1440,30
Fevereiro	417,47	97,02	390,30	904,80	1145,70
Março	462,20	108,74	346,86	917,81	995,77
Abril	447,29	101,75	84,48	633,52	648,38
Maio	462,20	108,74	194,60	765,55	441,97
Junho	447,29	104,83	449,09	1001,21	370,26
Julho	462,20	105,66	635,09	1202,95	392,84
Agosto	462,20	108,74	335,52	906,47	577,74
Setembro	447,29	103,31	224,22	774,82	794,61
Outubro	462,20	107,20	95,21	664,61	1040,48
Novembro	447,29	104,83	247,38	799,50	1452,19
Dezembro	462,20	105,66	394,42	962,29	1490,28
Total	5442,06	1263,69	3934,61	10640,36	10790,52

A tabela 16, trás uma análise de custos com alguns indicadores para todas as melhorias juntamente com o sistema fotovoltaico. Ela pode-se observar o custo individual e total de implementação, vale destacar que a estimativa de custo de implementação

do sistema fotovoltaico é dada por SOLAR (2023). Além disso, foram selecionados os indicadores de impacto para avaliar a geração ou a redução de consumo energético de cada uma das modificações. O retorno anual representa a redução de custo na tarifa energética, para isso foi considerada uma tarifa de R\$0,65/kWh. Observa-se que o valor de retorno das modificações não é somado, uma vez que as melhorias implementadas foram visando reduzir o consumo final para dimensionar o sistema de maneira que o custo de implementação do sistema fosse o menor possível, dessa forma, o retorno total anual será dado pela geração de energia em relação a tarifa. O retorno avalia o tempo necessário, em anos, para recuperar o investimento realizado, observa-se que a medida com maior tempo de retorno são as janelas, com um tempo de mais de 75 anos. As demais modificações apresentam um tempo médio de 4,5 anos para retornar o investimento total, e caso a medida das janelas não fosse implementada, o tempo total de retorno seria de 5,07 anos, comparado aos 6,16 da proposta completa.

Tabela 16 - Redução de consumo das melhorias implementadas. Fonte: O autor.

Descrição	Custo Instalação	Impacto (kWh)	Retorno Anual	Retorno (Anos)
Geração Solar	R\$ 31.360,00	10790,52	R\$ 7.013,84	4,47
Paredes	R\$ 824,87	369,128	R\$ 239,93	3,44
Cobertura	R\$ 1.049,83	473,148	R\$ 307,55	75,77
Janelas	R\$ 7.672,00	155,778	R\$ 101,26	6,73
Lã de Vidro	R\$ 2.318,40	530,078	R\$ 344,55	6,16
Proposta	R\$ 43.225,10	10790,52	R\$ 7.013,84	

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade em converter uma residência pré-existente em uma edificação NZEB. Para isso, foi necessário analisar diversas metodologias e determinar a melhor maneira de propor melhorias que gerassem impacto no consumo energético e desta maneira fizessem com que a edificação se tornasse mais eficiente. Por outro lado, fez-se necessário a criação e dimensionamento de um sistema de geração de energia renovável seguindo os mesmos moldes das melhorias energéticas, focando em viabilidade econômica e eficiência no projeto.

Uma vez que foi determinada a LBE, buscou-se maneiras de melhorar o desempenho energético da edificação e após diversas análises das melhorias propostas, as melhorias que mais impactaram o indicador de desempenho energético foram escolhidas. Vale destacar que as modificações implementadas tiveram como um dos critérios a viabilidade econômica e a fácil aplicabilidade das mesmas. Assim sendo, obteve-se um consumo para a linha de base energética de 11899,73kWh e com a aplicação das melhorias, o projeto atingiu uma melhoria de 11,84% no consumo final, promovendo assim uma redução de 1259,36kWh no consumo anual, o que resulta um consumo total anual de 10640,36kWh. Por outro lado, quanto a breve análise de custos realizadas, pode-se obter uma estimativa de custo de implementação em relação à economia gerada pela melhoria. Assim sendo, é possível determinar que as mudanças que oferecem o melhor custo benefício são a mudança nas paredes, cobertura e a implementação do isolamento térmico. Uma vez que a modificação das janelas em relação

a mudança na pintura e ao isolamento oferece um custo, em R\$ por kWh, 20 e dez vezes maior, respectivamente.

Tendo em vista que um dos focos desse estudo foi a viabilidade econômica no projeto, como trabalho futuro, pode-se realizar um estudo detalhado de custos de implementação em comparação à economia energética gerada. Levando em conta que o *software* utilizado para a realização desse estudo oferece uma ferramenta onde podem ser calculadas as taxas de tarifas de consumo de energia elétrica da rede, fornecendo uma estimativa para os custos mensais com tarifas, pode-se avaliar um estudo focado no prazo de retorno do investimento do projeto. Outras alternativas de melhoria bem como mudanças no comportamento dos padrões de ocupação ou até buscar equipamentos elétricos mais eficientes, também fornecem alternativas interessantes para um estudo futuro.

## REFERÊNCIAS

ABIVIDRO. **CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS E ÓTICAS DE VIDROS COMERCIALIZADOS NO BRASIL**, 2013.

ABNT. **NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 15220-2:2005**, 2005.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021**, 2021.

ASHRAE. **2017 ASHRAE Handbook: Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017. (ASHRAE handbook). ISBN 9781939200587. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=6VhRswEACAAJ>>.

ASHRAE. Ashrae climatic design conditions. In: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 2021. Acesso em: 10 de março de 2023. Disponível em: <<http://ashrae-meteo.info/v2.0/>>.

ATTIA, S. **Net Zero Energy Buildings (NZEB): Concepts, frameworks and roadmap for project analysis and implementation**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2018.

ATTIA, S. et al. Achieving informed decision-making for net zero energy buildings design using building performance simulation tools. In: SPRINGER. **Building Simulation**. [S.l.], 2013. v. 6, p. 3–21.

BRAHME, R. et al. Using existing whole building energy tools for designing net-zero energy buildings—challenges and workarounds. In: CITESEER. **Proceedings of building simulation**. [S.l.], 2009. p. 9–16.

CHARRON, R. A review of design processes for low energy solar homes. **Open house international**, Open House International, v. 33, n. 3, p. 7–16, 2008.

CRESESB. Potencial solar. In: CENTRO DE REFERENCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. 2018. Acesso em: 15 de maio de 2023. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>.

ENERGYPLUS. Energyplus. In: ENERGYPLUS. 2023. Acesso em: 15 de maio de 2023. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>.

EUROPEIA, C. Directiva 2010/31/ue do parlamento europeu e do conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. **Official Journal of the European Union**, 2010.

GOMES, R. A. **ESTUDO TERMOENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR COM ENERGIA LÍQUIDA ZERO**. 2021. Monografia (Bacharel em Engenharia de Gestão de Energia), UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Tramandaí, Brazil.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (lc-zeb). **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 42, n. 6, p. 815–821, 2010.

INMETRO. Portaria nº50/2013. **ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS**, 2013.

IQBAL, M. A feasibility study of a zero energy home in newfoundland. **Renewable energy**, Elsevier, v. 29, n. 2, p. 277–289, 2004.

KILKIS, S. A new metric for net-zero carbon buildings. In: **Energy Sustainability**. [S.l.: s.n.], 2007. v. 47977, p. 219–224.

OLIVEIRA, L. H. de. **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2018. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UFU (Universidade Federal de Uberlândia), Uberlândia, Brasil.

PBE-EDIFICA. Portaria nº18/2012. **MANUAL DE APLICAÇÃO DO RTQ-R**, 2012.

SOLAR, P. Paine solar: preços e custos de instalação. In: PORTAL SOLAR. 2023. Acesso em: 12 de junho de 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>>.

TORCELLINI, P. et al. **Zero energy buildings: a critical look at the definition**. [S.l.], 2006.