

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR

por

Alexsander Pontes Moskalewski

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, maio de 2021.

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

MOSKALEWSKI, ALEXSANDER PONTES  
AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO  
UNIFAMILIAR / ALEXSANDER PONTES MOSKALEWSKI. -- 2021.  
19 f.  
Orientador: LETÍCIA JENISCH RODRIGUES.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto  
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Avaliação termo energética. 2. EnergyPlus. 3.  
Eficiência energética. 4. Carga térmica. I. RODRIGUES,  
LETÍCIA JENISCH, orient. II. Título.

Alexsander Pontes Moskalewski

AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mario Roland Sobczyk Sobrinho  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Leticia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof./Prof<sup>ª</sup>. Dr. Guilherme Henrique Fiorot

Prof./Prof<sup>ª</sup>. Dr. Cirilo Seppi Bresolin

Prof./Prof<sup>ª</sup>. Dr. Paulo Smith Schneider

Porto Alegre, maio de 2021.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a minha família e amigos que me apoiaram durante os anos de minha formação escolar e faculdade. Destaco meu pai, minha mãe, meu irmão, minha namorada (e família), minha dinda, minha avó e meus tios, que permitiram que utilizasse a sua moradia para realizar o estudo que se tornou este trabalho.

Agradeço à Universidade, por manter a excelência de ensino e políticas de incentivo aos estudantes, mesmo diante de todas as adversidades. Agradecimentos também a todos os servidores, que de diversos modos, contribuíram para que eu chagasse até este ponto.

Agradecimentos à Escola de Engenharia e a todos os professores do DEMEC. Em especial à professora Letícia Jenisch, pela orientação no trabalho de conclusão e ao professor Cirilo Bresolin, pelo modo que apresentou a área de Energia e Fenômenos de Transporte (especificamente Climatização); Aos professores, Rafael Laranja, Ignácio Iturrioz e Guilherme Fiorot, pela dedicação, exemplo, e por apresentarem-se sempre dispostos a auxiliar os alunos; Agradeço ao professor Francis, pelo exemplo de postura e comportamento, e aos professores Alexandre e Fabiano pelo exemplo de didática.

Agradecimentos a todos os colegas de curso que convivi, os quais em sua grande maioria, mostraram-se dispostos a ajudar uns aos outros e a compartilhar os conhecimentos.

Por fim, agradeço a todos os supervisores que tive até aqui, em bolsas na Universidade, e em experiências profissionais fora dela. Muitas ferramentas foram-me apresentadas por eles.

MOSKALEWSKI, A. P. **Avaliação do Consumo Energético de uma Edificação Unifamiliar**. 2021. 19f. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

## RESUMO

Neste trabalho realizou-se uma avaliação termo energética de uma edificação unifamiliar localizada em Porto Alegre. Através de uma auditoria energética na edificação, coletou-se os dados de entrada para o software *EnergyPlus* realizar cálculos energéticos anuais. Inicialmente simulou-se o consumo atual da edificação, e em seguida, simulou-se melhorias propostas para obter a redução do consumo de energia elétrica e aumentar a eficiência energética da edificação. Dentre as melhorias cita-se a utilização de toldos de sombreamento, pintura das telhas que compõem a cobertura e a troca das lâmpadas do sistema de iluminação por LED. Após as simulações, uniu-se todas as propostas de melhorias em uma simulação e verificou-se a economia total anual que poderia ser obtida ao implementar essas propostas na edificação. Verificou-se que, a maior porcentagem do consumo elétrico é atribuída aos equipamentos elétricos, seguido do sistema de iluminação. Quando o sistema de ar condicionado foi utilizado apenas no período noturno nos dias de verão, seu gasto energético representou uma parcela de 8% da energia total consumida pela residência. Ao término do estudo, foi possível concluir que, mudanças na cor das telhas podem reduzir a carga térmica de maneira considerável e que mudanças na arquitetura, relativamente simples, podem representar uma solução passiva de climatização.

**PALAVRAS-CHAVE:** avaliação termo energética, EnergyPlus, eficiência energética, carga térmica.

MOSKALEWSKI, A. P. **Evaluation of Energy Consumption of a Single-family House.** 2021. 19p. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

## ABSTRACT

This monography deals with a thermal energy evaluation of a single-family building located in Porto Alegre. Through an energy audit of the building, input data was collected for the *EnergyPlus* software to perform annual energy calculations. Initially, the current consumption of the building was simulated, and then proposed improvements were simulated to reduce electricity consumption and increase the energy efficiency of the building. Among the improvements, the use of shading awnings, painting of the roof tiles, and changing the light bulbs in the lighting system to LEDs were adopted as solutions. After the simulations, all the proposed improvements were combined in one simulation and the total annual savings that could be obtained by implementing these proposals in the building were verified. It was found that the largest percentage of the electrical consumption is attributed to the electrical equipment, followed by the lighting system. When the air conditioning system was used only during the night in summer days, its energy consumption represented a portion of 8% of the total energy consumed by the residence. At the end of the study, it was possible to conclude that changes in the color of the roof tiles can reduce the thermal load considerably and changes in the architecture, relatively simple, can represent a passive solution for air conditioning.

**KEYWORDS:** thermal energy evaluation, EnergyPlus, energy efficiency, thermal load.

## NOMENCLATURA

### Símbolos

|            |  |                     |
|------------|--|---------------------|
| $R$        | Resistência térmica de uma camada homogênea  | $[m^2 K W^{-1}]$    |
| $R_k$      | Resistência térmica de uma camada homogênea k  | $[m^2 K W^{-1}]$    |
| $e$        | Espessura de uma camada homogênea  | $[m]$               |
| $R_t$      | Resistência térmica de um componente plano composto por camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, de superfície a superfície | $[m^2 K W^{-1}]$    |
| $R_T$      | Resistência térmica de um componente plano composto por camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, de ambiente a ambiente     | $[m^2 K W^{-1}]$    |
| $R_{si}$   | Resistência térmica superficial interna  | $[m^2 K W^{-1}]$    |
| $R_{se}$   | Resistência térmica superficial externa  | $[m^2 K W^{-1}]$    |
| $q''$      | Fluxo de calor de ambiente à ambiente  | $[W m^{-2}]$        |
| $\Delta T$ | Diferença de temperaturas entre os ambientes   | $[K]$               |
| $U$        | Transmitância térmica de componentes   | $[W m^{-2} K^{-1}]$ |

### Símbolos gregos

|           |                                      |                     |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|
| $\lambda$ | Condutividade térmica de um material | $[W m^{-1} K^{-1}]$ |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|

### Abreviaturas e acrônimos

|       |   |
|-------|---|
| EPE   | Empresa de Pesquisa Energética            |
| ANEEL | Agência nacional de energia elétrica      |
| TE    | Tarifa de Consumo de Energia              |
| VRF   | Variable Refrigerant Flow                 |
| HVAC  | Heating, Ventilating and Air Conditioning |
| NBR   | Norma Brasileira                          |
| AC    | Ar condicionado                           |

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| NOMENCLATURA.....  | vii |
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 1   |
| 1.1 MOTIVAÇÃO.....   | 1   |
| 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 1   |
| 1.3 OBJETIVO.....  | 2   |
| 2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....   | 2   |
| 3 CASO DE ESTUDO.....  | 3   |
| 3.1 ZONAS TÉRMICAS .....   | 3   |
| 3.2 ARQUIVO CLIMÁTICO E DIA DE PROJETO .....                                       | 3   |
| 3.3 RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA .....                              | 3   |
| 3.4 AUDITORIA ENERGÉTICA.....  | 4   |
| 3.5 ENERGYPLUS .....   | 4   |
| 3.6 DESEMPENHO TÉRMICO, CONFORTO TÉRMICO, GERAÇÃO<br>METABÓLICA E VESTIMENTA ..... | 5   |
| 4 RESULTADOS .....   | 5   |
| 4.1 PRIMEIRA SIMULAÇÃO.....  | 5   |
| 4.1.1 CONSUMO ENERGÉTICO ATUAL DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO....                        | 7   |
| 4.1.2 CONSUMO ENERGÉTICO ATUAL DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS                          | 7   |
| 4.1.3 DESEMPENHO TÉRMICO ATUAL.....  | 8   |
| 4.2 PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS .....   | 10  |
| 4.3 SEGUNDA SIMULAÇÃO.....   | 10  |
| 4.3.1 SUPERFÍCIES DE SOMBREAMENTO - TOLDOS .....                                   | 10  |
| 4.3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED.....   | 11  |
| 4.3.3 OUTRAS MELHORIAS.....  | 11  |
| 4.4 IMPACTOS ENERGÉTICOS .....   | 12  |
| 5 CONCLUSÃO.....   | 14  |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 14  |
| APÊNDICE.....  | 17  |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética brasileira (EPE, 2021a), o consumo de energia elétrica por residências vem aumentando com o passar dos anos. De 2001 a 2018, o consumo de energia elétrica por residências aumentou cerca de 86%. Ainda segundo a EPE, 64,9% da matriz elétrica brasileira é composta por hidrelétricas (EPE, 2021b), que são consideradas fontes de energia limpa, porém responsáveis por danos socioambientais significativos. A ANEEL, 2021, disponibiliza a evolução da Tarifa de Consumo de Energia (TE) em R\$/MWh. Analisando a série temporal de 2010 a 2020, tem-se o valor mínimo da TE no ano de 2013, quando 1 MWh de energia elétrica custava, em média R\$ 255,00. O valor máximo do custo energético foi atingido no ano de 2018, quando 1 MWh custou cerca de R\$ 358,30. Dado este cenário, pode-se afirmar, em termos gerais que, o consumo e o custo da energia elétrica para residências brasileiras vêm subindo com o passar dos anos. Assim, faz-se conveniente o estudo do uso da energia elétrica com o objetivo de reduzi-lo, evitando desperdícios de recursos energéticos e financeiros.

Neste trabalho realizou-se um estudo termo energético em uma residência unifamiliar, e buscou-se propor melhorias como: mudanças na arquitetura, no perfil de utilização dos equipamentos elétricos e no sistema de iluminação, com o objetivo de obter-se menor gasto energético anual. A eficiência e validação das melhorias propostas foi realizada através de simulações energéticas com o software *EnergyPlus*. Primeiramente foi realizada uma simulação do consumo energético da residência com as condições atuais, da qual obteve-se o valor do consumo teórico simulado, em kWh/ano. Em seguida foi realizada uma comparação do consumo elétrico real, através de consulta à fatura energética da concessionária, com o consumo teórico simulado, para então realizar a segunda etapa, caracterizada por simulações energéticas utilizando as condições provenientes das propostas de melhorias para diminuir o consumo energético. Por fim, com os resultados das simulações, foram realizadas conclusões acerca da viabilidade das propostas, no que diz respeito ao impacto no gasto energético.

## 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Frantz, 2020, realizou um estudo termo energético em um restaurante no qual um de seus objetivos era reduzir a carga térmica da edificação através da modificação da arquitetura. Ao utilizar um toldo de lona retrátil como superfície de sombreamento, observou uma redução de aproximadamente 21% na carga térmica de uma das zonas estudadas.

Pozza, 2011, propôs a alteração do sistema de ar condicionado Split com ciclo reverso presente em uma edificação, o qual representava 42% do consumo total de energia elétrica, por um sistema VRF. Realizando simulações com o *EnergyPlus*, conseguiu reduzir o percentual de consumo energético do sistema HVAC para 29,6%. Após melhorias na envoltória da edificação e seleção das máquinas VRF, observou que o sistema de HVAC passou a consumir 9,3% do consumo total de energia elétrica da edificação.

Henriques, 2016, verificou através de simulações com o *EnergyPlus*, que é possível produzir com equipamentos de pequena escala, a maioria da energia elétrica necessária para o funcionamento de uma habitação. Simulando um sistema fotovoltaico de 6,3 m<sup>2</sup>, conseguiu produzir, ao longo de um ano, 0,23 tep (aproximadamente 2675 kWh), de forma renovável.

Peralta, 2006, realizou um experimento prático analisando as temperaturas de telhas de aço sem pintura e com pintura em tinta látex branca. Observou uma temperatura máxima superficial de 48,99°C para telhas de aço sem pintura e de 32,43°C para telhas de aço com pintura branca, representando uma redução de aproximadamente 33%.

Sampaio et. al., 2011, avaliou as temperaturas superficiais externas de telhas de barro e de fibrocimento experimentalmente utilizando modelos de escala reduzida durante dez dias típicos de verão e de inverno. Concluiu que, estas telhas quando pintadas de branco na face externa, têm comportamentos térmicos semelhantes, e apresentam alta eficiência da interceptação da energia solar.

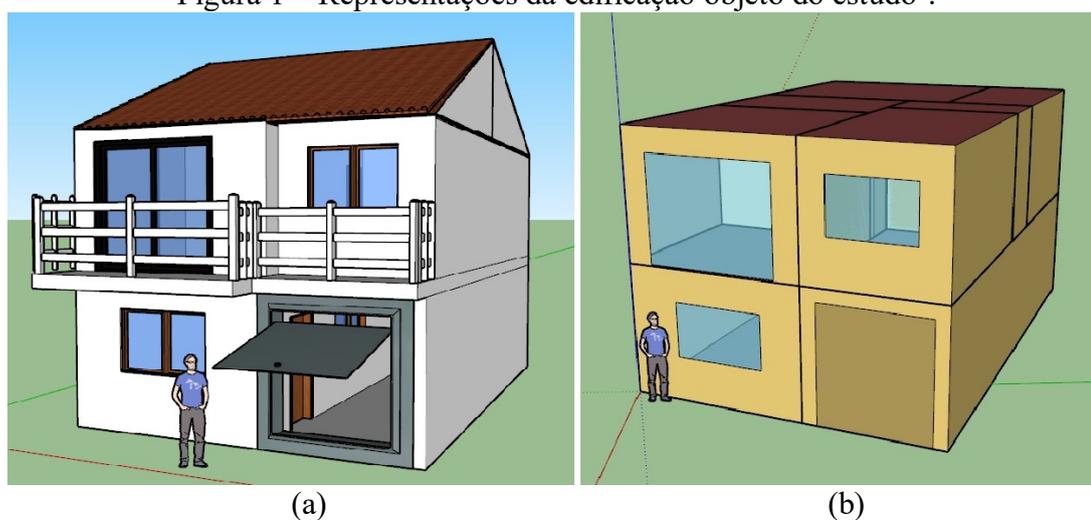
### 1.3 OBJETIVO

Realizar um estudo termo energético de uma residência unifamiliar de quatro pessoas situada da zona sul de Porto Alegre – RS.

## 2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A edificação do estudo é uma residência unifamiliar orientada a 115° norte, composta por dois pavimentos, localizada no bairro Hípica, na Zona Sul de Porto Alegre- RS. A edificação abriga uma família composta por quatro indivíduos: dois adultos e duas crianças. Atualmente, devido as condições impostas pela epidemia de Covid19, as quatro pessoas permanecem em casa a maior parte do tempo, saindo apenas para realizar tarefas essenciais. Foi com base nessa ocupação que as simulações foram realizadas. Os modelos arquitetônico, Fig. 1(a), e de simulação energética, Fig. 1(b), da residência são apresentados a seguir.

Figura 1 – Representações da edificação objeto do estudo<sup>1</sup>.



Para atingir o objetivo realizou-se uma auditoria energética na edificação e verificou-se as fontes de gasto energético bem como o perfil de utilização da energia. Em seguida construiu-se o modelo numérico, e por fim realizou-se as simulações termo energéticas. As propostas de melhoria surgiram de estudos realizados anteriormente por outros autores, como os citados no item 1.2 Revisão Bibliográfica, e após a verificação dos resultados da primeira etapa, onde pôde-se notar os pontos que mais contribuiriam para o aumento da eficiência energética da edificação.

<sup>1</sup> Utilizou-se a versão *trial* do software *SketchUp* para confeccionar os modelos 3D apresentados na Fig.1

### 3 CASO DE ESTUDO

#### 3.1 ZONAS TÉRMICAS

Segundo a NBR 16401-1: 2008 (ABNT, 2008), zona térmica é um grupo de ambientes com o mesmo regime de utilização e mesmo perfil de carga térmica, permitindo que as condições requeridas possam ser mantidas com um único dispositivo de controle, ou atendidas por um único equipamento condicionador destinado somente àquela zona. Nas simulações, foram implementadas 9 zonas térmicas, que correspondem a cada ambiente da edificação (segundo a recomendação do item 11.2 - Simulação computacional - da NBR 15575-1 (ABNT, 2013)). A planta baixa da edificação é apresentada no apêndice com o nome de cada zona térmica declarada no *EnergyPlus* (Figura A).

#### 3.2 ARQUIVO CLIMÁTICO E DIA DE PROJETO

O projeto térmico das edificações deve considerar os parâmetros climáticos locais como: temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, entre outros. Esses dados são coletados e registrados por estações meteorológicas localizadas nas principais cidades, e ao longo dos anos, formam uma série histórica, denominada arquivo climático (BRESOLIN, 2019). Quando os cálculos energéticos do projeto levam em consideração a variância dos parâmetros climáticos locais, previne-se que excessos de custos e de consumo energético aconteçam. O arquivo climático de Porto Alegre, disposto no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE, 2021) foi utilizado para as simulações energéticas deste trabalho.

Os dados do dia de projeto, podem ser utilizados como referência para os cálculos energéticos de projetos de climatização, quando não se pretende realizar uma simulação anual, garantindo assim que o sistema projetado estará adequado para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano. Outro ponto importante sobre o dia de projeto é que alguns parâmetros de desempenho da edificação são avaliados com base nas variáveis climáticas apresentadas neste dia. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) define o dia de projeto de verão como o dia real, mais quente do ano segundo a média do período dos últimos dez anos, caracterizado pelas variáveis: temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal. O dia de projeto de inverno é caracterizado pelos mesmos parâmetros, porém para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos dez anos.

O *EnergyPlus*, utiliza o arquivo do dia de projeto (extensão de arquivo DDY), para obter os parâmetros das condições climáticas extremas, e realizar os cálculos das cargas térmicas e do dimensionamento dos equipamentos (NREL, 2021a). Para a simulação, os dados de dia de projeto foram retirados do site da organização OneBuilding (ONEBUILDING, 2021).

#### 3.3 RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

Da mesma maneira que uma resistência elétrica está associada à condução de eletricidade, uma resistência térmica pode ser associada à condução de calor. Esta pode ser definida como a razão entre um potencial motriz, ou seja, a diferença de temperaturas, e a correspondente taxa de transferência, a taxa de calor (INCROPERA et al., 2011). A NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) define resistência térmica de uma camada homogênea,  $R$ , como a razão de  $e$  por  $\lambda$ . A mesma norma também define que a resistência térmica de um componente plano composto por camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, de superfície a superfície,  $R_t$ , é dada pela soma das resistências,  $R_k$ , de cada camada. A resistência térmica de um componente plano composto por  $n$  camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, de ambiente a ambiente,  $R_T$ , é dada pela Equação (1).

$$R_T = R_{se} + R_{si} + \sum_{k=1}^n R_k \quad (1)$$

A transmitância térmica de componentes, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), ou o Coeficiente Global de Transferência de Calor,  $U$ , (INCROPERA et al., 2011), é igual ao inverso de  $R_T$ , e com este, pode-se obter o fluxo de calor de ambiente à ambiente,  $q''$ , através da Equação 2.

$$q'' = \frac{1}{R_T} \Delta T = U \Delta T \quad (2)$$

Para que o *EnergyPlus* calcule as soluções do problema (cargas energéticas e temperaturas), é necessário inserir nos dados de entrada da simulação, os valores de  $e$  e  $\lambda$  dos componentes dos elementos construtivos da edificação. Os valores inseridos nas simulações deste trabalho, bem como outras propriedades, podem ser verificados através de consulta à Tabela D do apêndice.

### 3.4 AUDITORIA ENERGÉTICA

Através da auditoria energética, adquiriu-se os dados relevantes para realizar o estudo, como as fontes de consumo de energia elétrica da edificação (sistema de iluminação, sistema de ar condicionado, equipamentos elétricos, hábitos de consumo energético das pessoas) e os dados da geometria e localização da residência.

Os dois adultos trabalham em casa, em horário compreendido entre 8 h e 18 h, com intervalo de uma hora. Seus postos de trabalho estão localizados na zona denominada Suíte, para um adulto, e na Sala\_Hall, para o outro adulto. As crianças assistem aulas em casa, uma no turno da manhã, e outra no turno da tarde, e ambas utilizam seus dormitórios, a zona denominada Quarto1, para suas tarefas escolares. O ambiente é revezado entre as crianças: enquanto uma está no quarto assistindo à aula, a outra está na zona Sala\_Hall realizando outras atividades. Com base nessa rotina foram implementados os regimes de ocupação das zonas térmicas para as simulações.

A residência conta atualmente com dois equipamentos de ar condicionado do modelo Split/Hi-wall, localizadas nas zonas Quarto1 e Suíte. Para a simulação foi definido que a utilização dos sistemas de ar condicionado Split seria apenas no modo de resfriamento, durante o período compreendido entre 31/12 e 15/03, das 23 h às 7 h, em todos os dias da semana. O perfil de ocupação das zonas, utilização dos equipamentos elétricos e do sistema de iluminação é apresentado no Apêndice.

### 3.5 ENERGYPLUS

O *EnergyPlus* é uma compilação de módulos de programas, que unidos, simulam construções e os sistemas energéticos a elas associados, quando estes são expostos a diferentes condições de operação e condições climáticas. Baseando-se no princípio do balanço de energia, o programa é capaz de calcular a energia necessária para o aquecimento e resfriamento da construção utilizando diversas fontes de energia (NREL, 2021b).

As cargas energéticas e temperaturas que compõem a solução da simulação, são calculadas integrando-se através de métodos de diferenças finitas, como o Método de Euler, a Equação do balanço de energia no ar da zona (NREL, 2021b).

Para que o *EnergyPlus* possa realizar os cálculos energéticos é necessário inserir detalhes da composição dos materiais que compõem os elementos construtivos, como espessura, condutividade térmica, calor específico, absorvidade e densidade. A espessura dos elementos foi medida durante a auditoria energética, e os valores das propriedades termodinâmicas e termofísicas foram retiradas das normas NBR 15220-2: 2005 (ABNT, 2005b). Dois detalhes

cabem ser ressaltados a respeito das espessuras dos materiais que compõem os elementos construtivos coberturas e paredes. Segundo NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), a espessura da cobertura para o cálculo de sua resistência térmica equivalente, é igual à altura máxima das águas do telhado dividido por dois. Para o cálculo da resistência térmica das paredes, que têm em sua composição tijolos de seis furos, considerou-se que os furos dos tijolos (que constituem câmaras de ar) são camadas homogêneas. Segundo nota da norma (ABNT, 2005b), este método de cálculo resulta em uma diferença de 2% no resultado, quando o cálculo da resistência térmica é realizado considerando-se o tijolo um elemento heterogêneo. Detalhes sobre os valores das propriedades e composição dos elementos construtivos podem ser visualizados na Tabela D do apêndice.

### 3.6 DESEMPENHO TÉRMICO, CONFORTO TÉRMICO, GERAÇÃO METABÓLICA E VESTIMENTA

Com os resultados da simulação avaliou-se o desempenho térmico da edificação segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Em termos gerais, a residência demonstrou desempenho mínimo/satisfatório nas zonas de longa permanência como quartos e sala durante o inverno. A ressalva é feita com relação ao período de temperaturas altas. No dia de projeto de verão, os cômodos de longa permanência mostraram-se satisfatórios apenas enquanto o sistema de AC estava ativado.

Segundo a ASHRAE, 2017, conforto térmico é o estado da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. Os parâmetros térmicos do ambiente são inseridos no *EnergyPlus* através de dados como dia de projeto, localização, geometria da edificação e arquivo climático. Os dados de geração metabólica representam o calor produzido pelo corpo em função da atividade física exercida. No *EnergyPlus*, estes dados foram inseridos supondo-se uma taxa de geração metabólica fixa para cada atividade. Essa taxa de geração de calor foi obtida multiplicando-se o valor de área de superfície corporal (utilizada a área de Dubois de 1,80 m<sup>2</sup> por pessoa (ASHRAE, 2017)) pelo calor produzido por área de superfície corporal (que é dependente da atividade desempenhada). Os valores de calor produzido por área de superfície corporal foram retirados da Tabela 14 – Taxa metabólica e fração radiante para os usuários, da NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Para as simulações, esses valores são iguais a 40 W/m<sup>2</sup> para atividades de sono e 65 W/m<sup>2</sup> para demais atividades, como trabalho e estudo.

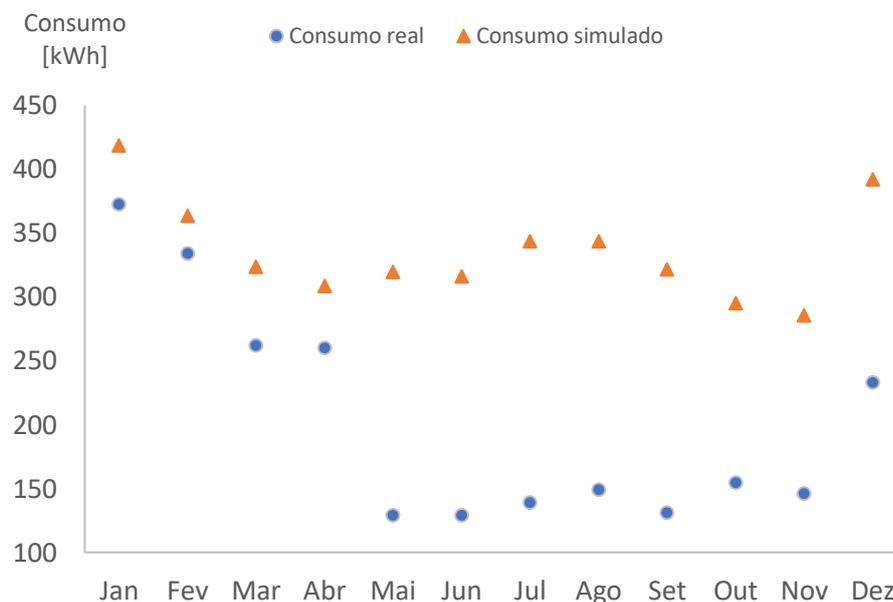
Os valores de resistência térmica da vestimenta utilizados nas simulações são calculados pelo software, e são quantificados em uma unidade denominada clo, onde 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> °C/W. Pelas configurações de simulação impostas, este valor varia durante os dias do ano conforme a temperatura exterior, de 1 clo (quando a temperatura exterior é menor do que -5°C) a 0,46 clo (quando a temperatura exterior é maior ou igual a 26°C) (NREL, 2021b).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PRIMEIRA SIMULAÇÃO

Após implementadas as condições obtidas da auditoria energética, realizou-se a primeira simulação. Os valores do consumo de energia elétrica da edificação (real e simulado) em um ano, podem ser visualizados no gráfico da Fig.2, abaixo.

Figura 2 – Consumo real e consumo simulado.



A Fig.2 apresenta o consumo elétrico anual, mês a mês, do caso real, com valores obtidos através de consulta à fatura energética da edificação, e também apresenta o caso simulado, com valores obtidos pela simulação no *EnergyPlus*, impostas as condições coletadas da auditoria energética. A menor diferença de valor do consumo se deu para o mês de fevereiro, sendo o valor do consumo simulado 9% maior que o valor real. Entretanto no mês de julho, o valor do gasto energético simulado foi 146% maior do que o gasto real obtido.

Comparando o gasto total anual real com o gasto total anual simulado, a diferença observada é cerca de 65% maior para o gasto anual obtido com a simulação. Enquanto o consumo real, é de 2443 kWh por ano, o gasto simulado anual calculado pela simulação foi de 4034 kWh. Essa diferença observada pode ser devida a fatores como:

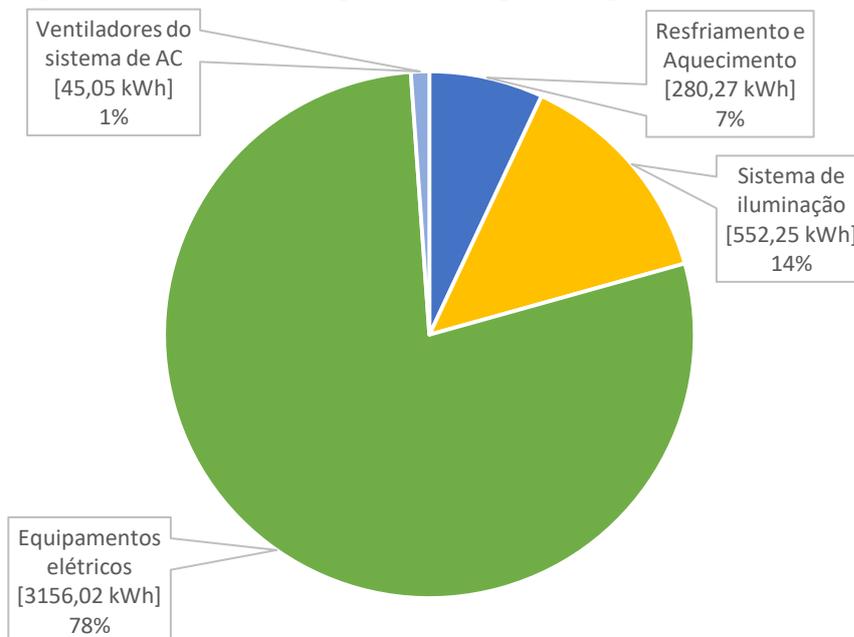
- a) Utilização do ar condicionado - os sistemas de condicionamento de ar do tipo Split/Hi-Wall presentes nas zonas térmicas suíte e quarto1 tiveram seus usos simulados no período compreendido entre 31/12 e 15/03 em uma faixa de horário das 23 h às 7 h durante todos os dias da semana de maneira ininterrupta. Desse modo, foram utilizados apenas no modo de resfriamento dos ambientes, entretanto, essa definição pode acrescentar erros à simulação, pois não prevê períodos em que os ocupantes da edificação não utilizariam o ar condicionado por fatores diversos como noites de temperatura agradável ou saídas de alguns integrantes durante os fins de semana;
- b) Utilização do sistema de iluminação e equipamentos elétricos – na simulação foi prevista a utilização do sistema de iluminação dos cômodos da casa de forma ininterrupta (conforme Tabela C do Apêndice), de modo que essa suposição não levou em conta possíveis viagens em feriados e finais de semana, ou outros motivos que ausentassem os ocupantes e fizesse com que o consumo de energia elétrica fosse nulo durante esses períodos;
- c) Consumo energético precedente – os dados da fatura de energia elétrica obtidos durante a auditoria energética são relativos ao consumo do ano de 2020, ano o qual um dos adultos desempenhava sua jornada de trabalho em rotina externa e o outro adulto tinha um regime de trabalho misto, alternando os dias da semana entre jornadas externas e home-office. Portanto esses dados não contabilizaram o consumo energético

consequente do período de trabalho home-office de dois adultos em tempo integral na residência;

d) Não previsão de alterações de rotina diversas.

O gasto anual simulado de energia elétrica por categoria de consumo da edificação é apresentado no gráfico da Fig.3 abaixo.

Figura 3 – Consumo energético anual por categoria de utilização.



Analisando o gráfico da Fig.3 percebe-se que a maior parte da energia elétrica consumida pela edificação é consequência do uso de equipamentos elétricos (cerca de 78%), seguido do sistema de iluminação (14%). Por outro lado, a Fig. 3 mostra que o percentual de energia gasto pela edificação para climatizar os ambientes das zonas Suíte e do Quarto1, no período estipulado, é muito inferior ao gasto com iluminação e equipamentos elétricos, o que abre um precedente para realizar a climatização de outras zonas futuramente.

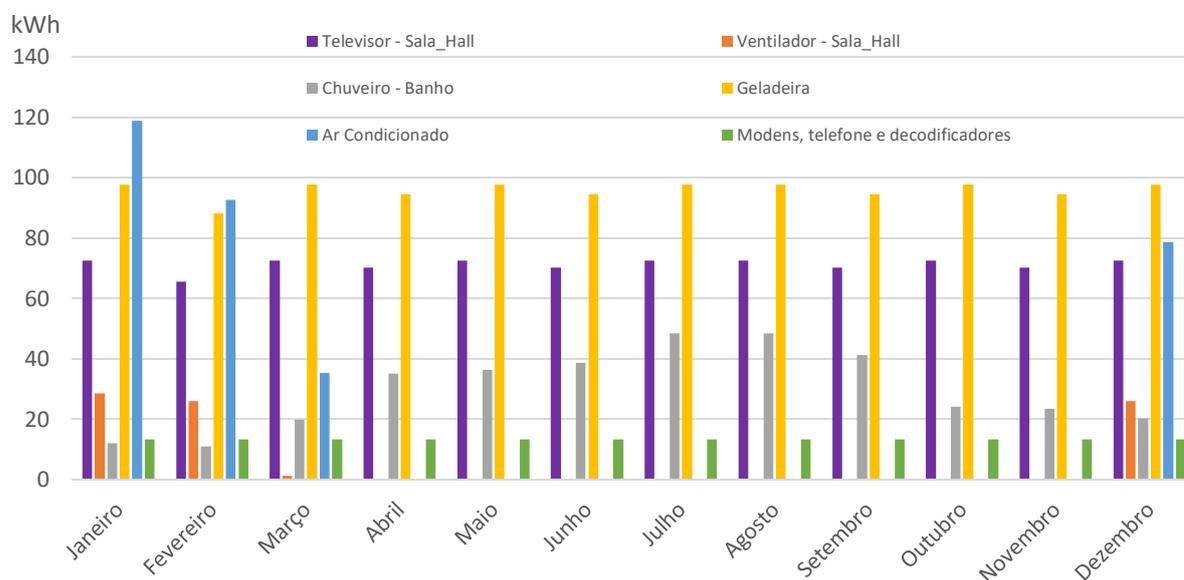
#### 4.1.1 CONSUMO ENERGÉTICO ATUAL DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O consumo das zonas térmicas em iluminação durante o ano ficou em cerca de 552 kWh. As zonas que mais consomem energia para a iluminação são as zonas denominadas Sala\_Hall (cerca de 42% da energia total do sistema de iluminação), Quarto1 (22%) e a zona Suíte (26%).

#### 4.1.2 CONSUMO ENERGÉTICO ATUAL DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

O gasto energético dos equipamentos elétricos que mais consomem energia foi avaliado durante o ano e os valores foram discretizados mês a mês. Os resultados são exibidos na Fig.4, a seguir.

Figura 4 – Consumo anual dos principais equipamentos elétricos.



O gráfico da Fig. 4 mostra que os equipamentos que mais consomem energia elétrica durante o ano são o televisor da zona Sala\_hall, que permanece ligado cerca de 12 horas por dia, o refrigerador e os chuveiros (para fins de melhor visualização do gráfico apenas um chuveiro foi plotado). Os equipamentos de uso intermitente como modem, telefone e 3 decodificadores de TV a cabo tiveram consumo anual de aproximadamente 160 kWh por ano. No apêndice é mostrada uma tabela com os valores de potência elétrica de todos os equipamentos elétricos utilizados em cada zona (Tabela B).

#### 4.1.3 DESEMPENHO TÉRMICO ATUAL

Através de consulta ao Anexo A.1 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), verificou-se que a cidade de Porto Alegre se encontra na zona bioclimática nº 3, e pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), verificou-se os requisitos de desempenho mínimos para a edificação nos períodos de inverno e verão quando este é avaliado através de simulação computacional. Para o período de verão, o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior no dia típico de projeto de verão. No período de inverno, os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C, no dia típico de projeto de inverno. Com base nesses critérios, analisou-se o desempenho térmico atual da edificação nas zonas térmicas denominadas Sala\_hall, Quarto I e Suíte, pois estes são os ambientes que os ocupantes estão a maior parte do tempo. Os resultados são apresentados nos gráficos abaixo.

Figura 5 – Temperatura do ar interior das zonas térmicas de longa permanência no inverno.

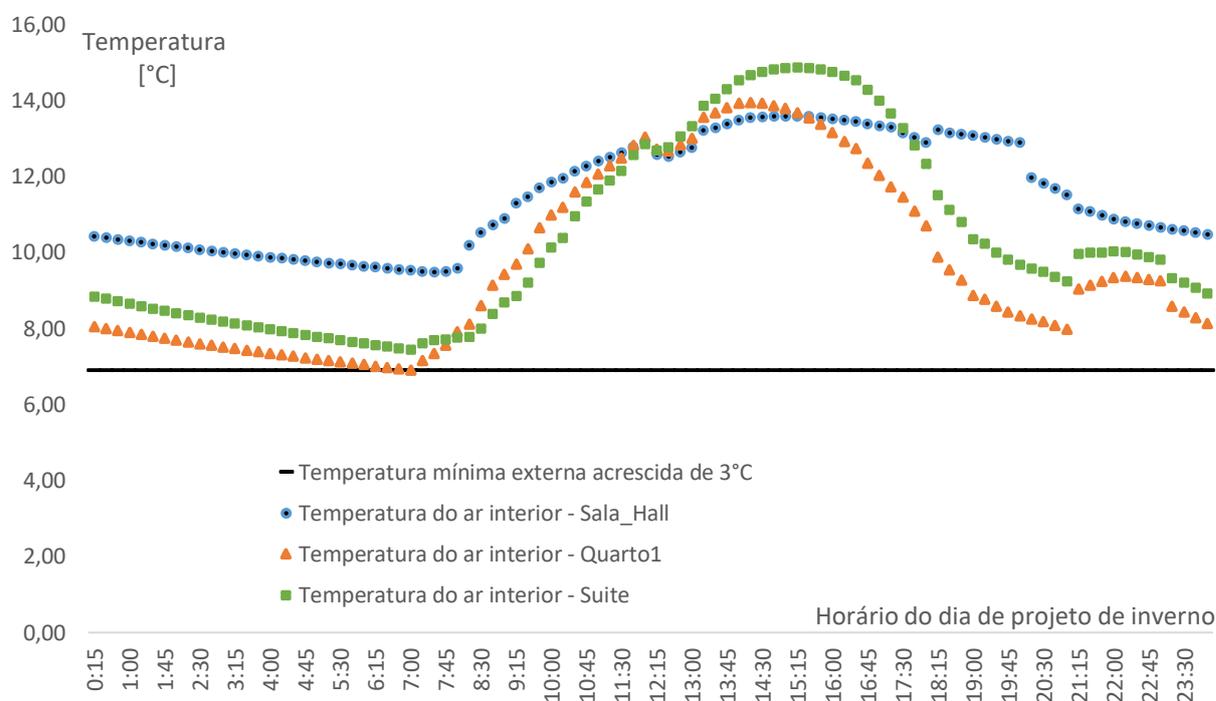
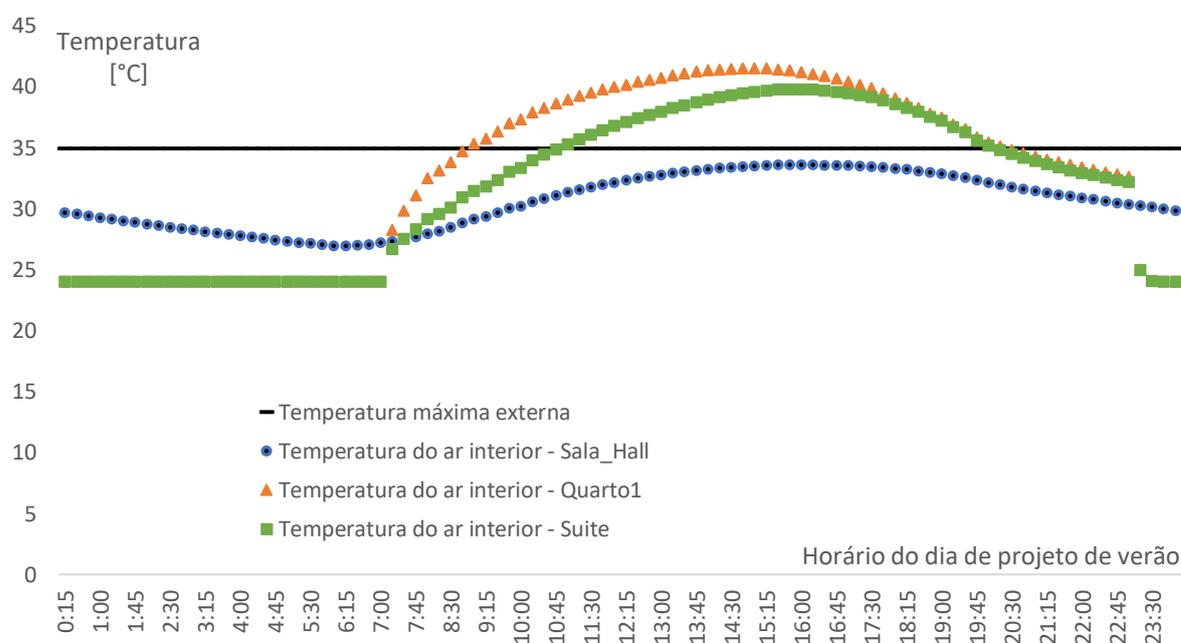


Figura 6 – Temperatura do ar interior das zonas térmicas de longa permanência no verão.



Para a condição de inverno (Fig.5), as zonas térmicas avaliadas demonstraram desempenho mínimo satisfatório, pois suas temperaturas interiores estão acima da temperatura mínima externa acrescida de 3°C. Entretanto para a condição de verão (Fig.6), as zonas Quarto1 e Suíte,

não passaram no critério mínimo de avaliação em um período significativo do dia de projeto de verão. Ressalta-se que, o período que ambas as zonas satisfazem o critério mínimo de desempenho térmico (temperatura interior abaixo da temperatura máxima externa) é equivalente ao período no qual os sistemas de condicionamento de ar Split estão em funcionamento, com a temperatura do termostato definida em 24°C.

Apesar de a zona Sala\_Hall não ser artificialmente climatizada, esta foi aprovada nos critérios mínimos de desempenho térmico de verão e de inverno.

## 4.2 PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS

Após a primeira simulação verificou-se as paredes de maior temperatura externa para que recebessem toldos de sombreamento em seu exterior. Conforme Frota, A. B. e Schiffer S. R. (1987), para a latitude de Porto Alegre, as superfícies da envoltória que mais recebem radiação solar no período de verão são, as voltadas para o leste e para o oeste, seguidas das voltadas para sudoeste e sudeste. Desse modo foram adicionados toldos de cor branca nas paredes da fachada frontal da edificação (orientadas a sudeste) e nas paredes dos fundos da edificação (orientadas a noroeste). Outras propostas de melhorias que foram simuladas são as seguintes:

- Troca das lâmpadas do sistema de iluminação de fluorescente para LED;
- Alteração do tempo de uso dos chuveiros elétricos e da televisão da zona Sala\_Hall;
- Pintura do portão da garagem (frente e fundos) de cor branca;
- Pintura das telhas de barro em cor amarela.

## 4.3 SEGUNDA SIMULAÇÃO

### 4.3.1 SUPERFÍCIES DE SOMBREAMENTO - TOLDOS

Foram analisados 5 casos de sombreamento com toldos de cor branca durante o dia de projeto de verão. A tabela a seguir mostra a temperatura média do ar no interior da zona Sala\_Hall, as temperaturas do interior, do exterior da superfície e a taxa líquida de calor para cada caso. Taxas de calor negativas representam fluxo do interior para o exterior. Taxas de calor positivas representam fluxo de calor do exterior para o interior da edificação.

Tabela 1 – Análise de casos de sombreamento para a parede da zona Sala\_Hall.

| CASOS DE SOMBREAMENTO - PAREDE SUDESTE - ZONA SALA_HALL |                      |                                       |  |  |                           |
|---|----------------------|---------------------------------------|--|--|---------------------------|
| CASO  | TIPO DE SOMBREAMENTO | TEMPERATURA MÉDIA DO AR INTERIOR (°C) | TEMPERATURA MÉDIA DA SUPERFÍCIE INTERNA (°C) | TEMPERATURA MÉDIA DA SUPERFÍCIE EXTERNA (°C) | TAXA DE CALOR LÍQUIDA (W) |
| A   | SEM SOMBREAMENTO     | 31,15                                 | 30,94  | 31,02  | 218,54                    |
| B   | HORIZONTAL           | 31,00                                 | 30,54  | 30,48  | -174,80                   |
| C   | 15 GRAUS             | 30,76                                 | 30,33  | 30,29  | -121,54                   |
| D   | 30 GRAUS             | 30,32                                 | 30,01  | 30,05  | 111,69                    |
| E   | 45 GRAUS             | 30,68                                 | 30,59  | 30,74  | 441,90                    |

Analisando os dados dispostos na Tab.1 é possível concluir que a melhor configuração de sombreamento é obtida quando as superfícies de sombreamento são instaladas a 30° da horizontal. Com esta configuração foi possível obter uma redução na temperatura média do ar interior da zona de aproximadamente 2,65%, de 31,15°C (sem sombreamento) para 30,32°C (com superfície de sombreamento). Além disso, as temperaturas médias, externas e internas, da parede analisada também foram reduzidas em valores próximos de 1°C e a taxa de calor do exterior para o interior da parede foi reduzida em cerca de 106 W, quando comparadas ao caso sem sombreamento.

Quando o ângulo da superfície de sombreamento é aumentado para 45° a partir da horizontal, a temperatura do ar do interior da zona volta a aumentar e a taxa de calor é praticamente multiplicada por dois. Além disso, ângulos maiores que 30° para superfícies de sombreamento poderiam afetar negativamente os efeitos de iluminação natural.

#### 4.3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO LED

É conhecido que lâmpadas LED têm eficiência maior que lâmpadas fluorescentes e incandescentes. Segundo Dallabrida et. al., 2015, lâmpadas fluorescentes e LED têm eficiência luminosa com valores médios de 64 lm/W e 88 lm/W, respectivamente. Então, possuindo os valores de potência das lâmpadas fluorescentes que a edificação atualmente possui, calculou-se a luminosidade de cada zona. Em seguida, com a luminosidade de cada zona definida, calculou-se o valor da potência das novas lâmpadas LED utilizando o valor da eficiência luminosa das lâmpadas LED.

Mantendo-se o mesmo perfil de utilização do sistema de iluminação e realizando a troca das lâmpadas da edificação, foi possível obter-se uma queda de consumo anual de energia de 167 kWh por ano, passando de um consumo anual total de 4033 kWh para 3866 kWh. O consumo específico do sistema de iluminação foi de 552,25 kWh/ano para 385,07 kWh/ano, o que representa uma redução de 30%.

#### 4.3.3 OUTRAS MELHORIAS

Buscando economia de energia com baixo custo de investimento, propôs-se a pintura de algumas superfícies da envoltória da edificação em oposição à troca dos vidros ou à inserção de isolamento térmico nas paredes e cobertura. Especificamente, propôs-se a pintura dos portões da frente e dos fundos da garagem, que atualmente são pretos, por uma cor de menor absorvância térmica, como a cor branca, e foi proposta a pintura das telhas de barro da cobertura, que atualmente são de cor marrom, pela cor amarela.

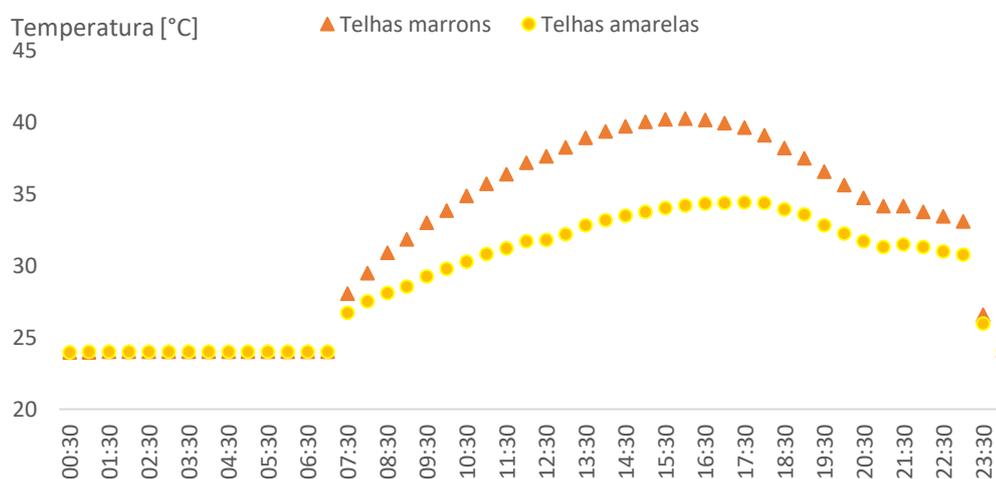
Outro ponto proposto é a utilização dos equipamentos elétricos da residência com parcimônia. Essa proposta foi representada na simulação através da:

- a) Redução do tempo de uso dos chuveiros elétricos, que anteriormente era suposta de 30 minutos por dia para cada chuveiro, para 20 minutos por dia;
- b) Redução do tempo de utilização do televisor da zona Sala\_Hall, que possui potência elevada e tempo de uso ininterrupto durante todos os dias do ano das 09 h às 21 h. Para este propôs-se um período de utilização diário das 10 h às 12 h e das 14 h às 20 h.

Após aplicação das melhorias citadas anteriormente, foi possível obter uma redução anual do consumo energético de aproximadamente 16%. Enquanto o consumo obtido na primeira simulação foi de aproximadamente 4034 kWh ao ano, o consumo observado após as melhorias de pinturas e alteração de hábitos de consumo foi de 3361 kWh ao ano. Esse fato foi observado devido à menor demanda energética do sistema de ar condicionado (decréscimo de 325 kWh para 176 kWh) e dos equipamentos elétricos (decréscimo de 3156 kWh para 2632 kWh).

Com essas medidas, a temperatura do ar do interior da zona Suíte também foi reduzido. A Fig.7 abaixo apresenta a variação da temperatura do ar do interior da zona Suíte no dia de projeto de verão para o caso de telhas marrons (cor atual da cobertura) e telhas amarelas.

Figura 7 – Comportamento da temperatura do ar do interior da zona Suíte no dia típico de projeto de verão.

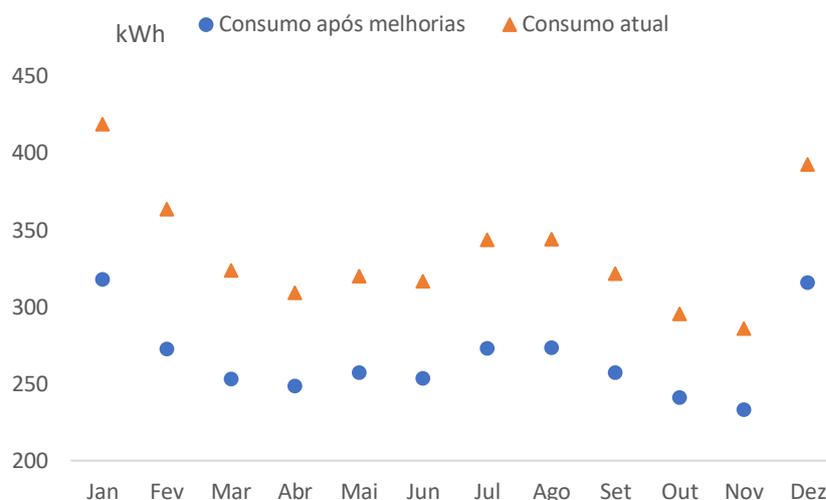


A Fig.7 mostra que no período compreendido entre 00 h e 8 h, ambos os casos apresentam a mesma temperatura do ar do interior da zona, a temperatura do termostato do ar condicionado (24°C). Entretanto quando o sistema de AC é desligado, o caso em que as telhas são amarelas apresenta melhor desempenho térmico. A maior diferença se dá por volta das 15 h. Enquanto a temperatura do ar do interior da zona, no caso de telhas marrons é de 40,0°C, a temperatura do ar do interior da zona com telhas amarelas, no mesmo horário, é de 33,7°C. No segundo caso a zona estaria dentro do critério mínimo satisfatório de desempenho da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) para o período de verão (Fig.6).

#### 4.4 IMPACTOS ENERGÉTICOS

Unindo todas as propostas de melhorias e realizando uma nova simulação, verificou-se qual seria a nova demanda energética da edificação. O resultado pode ser visto na Fig.8 abaixo.

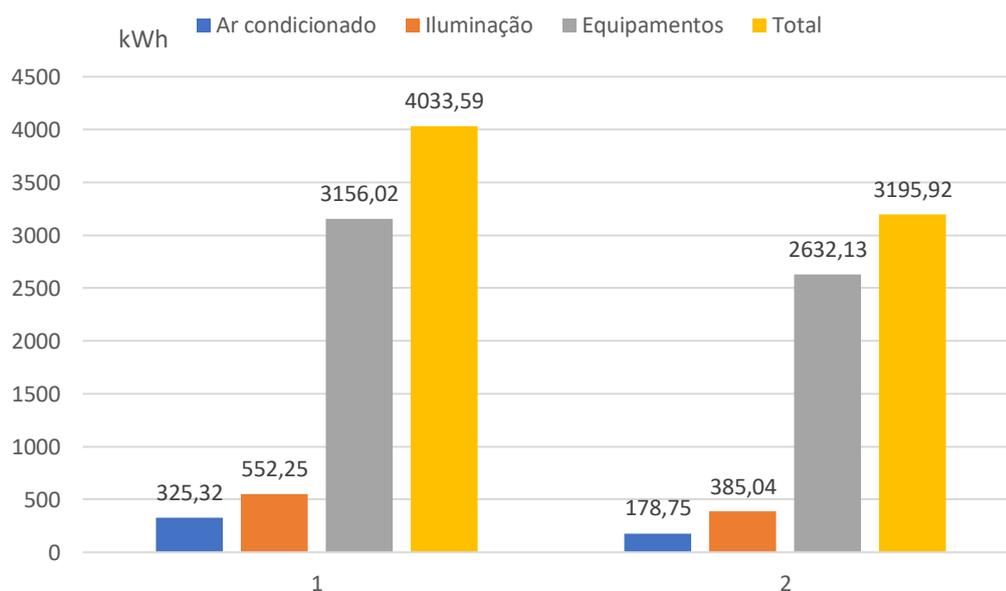
Figura 8 – Demanda energética anual após melhorias.



Pela Fig.8, a maior redução mensal observada foi de 24% no mês de fevereiro, onde o consumo do mês caiu de 419 kWh para 317 kWh. A redução anual do consumo energético da edificação foi de 21%. Enquanto na simulação sem melhorias o consumo anual era de 4034 kWh, na simulação que uniu todas as melhorias, a demanda anual foi de 3195 kWh, economizando cerca de 839 kWh.

A Fig.9 apresentada a seguir, é o gráfico do consumo anual por categorias de utilização da energia elétrica. O índice 1 abaixo do conjunto de barras, indica resultados da primeira simulação, a qual representa o perfil de consumo atual da edificação. O índice 2 abaixo do conjunto de barras representa os resultados da simulação que reúne todas as melhorias propostas.

Figura 9 – Consumo energético anual por categoria de utilização.



Analisando o consumo energético por categoria de utilização, a maior queda percentual foi obtida no sistema de ar condicionado onde a redução foi cerca de 45%. Na primeira simulação, cerca de 325 kWh eram gastos ao ano para climatizar as zonas Quarto1 e Suite. Na

segunda simulação, o sistema utilizou cerca de 178 kWh para climatizar as mesmas zonas, com a mesma temperatura do termostato. Essa redução pode ser atribuída às melhorias utilizadas, como troca das lâmpadas do sistema de iluminação, inserção de toldos de sombreamento e pintura de algumas superfícies da envoltória. Com essas medidas, a carga térmica da edificação diminuiu e o sistema de AC utilizou menos energia para condicionar os ambientes. Além disso, as lâmpadas LED consumiram menos energia durante o ano, devido à menor potência que dissipam, e os equipamentos elétricos diminuíram seu gasto, pelos efeitos de redução do tempo de uso dos chuveiros e do televisor da zona Sala\_Hall.

## 5 CONCLUSÃO

As propostas de melhorias mostraram-se capazes de reduzir as cargas térmicas e o consumo energético da edificação ao mesmo tempo em que proporcionaram maior conforto térmico à zona Suíte durante o período de verão.

Com as propostas, conseguiu-se aprovar a zona Suíte no critério mínimo satisfatório de desempenho para a condição de verão da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), pois o valor máximo diário da temperatura do ar interior deste recinto de permanência prolongada, ficou menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior no dia típico de projeto de verão de 34,9°C, durante todas as horas do dia.

Para trabalhos futuros, poder-se-ia realizar uma simulação mais minuciosa e com maiores detalhes, inserindo schedules que representem o perfil de uso da energia elétrica de maneira mais autêntica. Também é sugerido realizar um estudo luminotécnico, a fim de otimizar a luz diurna e reduzir o consumo energético em iluminação, realizar o cálculo do dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaico, calcular a viabilidade da troca do sistema de ar condicionado por outro energeticamente mais eficiente, como o sistema VRF (e que climatize mais zonas da edificação). Essas medidas também poderiam ser eficazes para a redução do gasto energético anual da edificação e um sinônimo de investimento financeiro.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades - ABNT NBR 15220-1:2005**, 2005a.

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

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - ABNT NBR 15220-3:2005**, 2005c.

ABNT. **Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais - ABNT NBR 15575-1:2013**, 2013.

ABNT. **Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projetos das Instalações - ABNT NBR 16401-1:2008**, 2008.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório Evolução das Tarifas Residenciais**. Brasil: 2021. Disponível em:

< <https://www.aneel.gov.br/relatorio-evolucao-tarifas-residenciais> > Acessado em 8 de abril de 2021.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta, GA, 2017.

BRESOLIN, C. S. **Climatologia**. Apostila de aula – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

DALLABRIDA, E.C.; GONÇALVES, C.M.; PIOVESAN, T. R. **Análise Comparativa da Eficiência Energética em Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e LED**. Relatório técnico-científico – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/4990>>

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **BEN – Séries Históricas Completas**. Balanço Energético Nacional, Brasil: 2021a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>> Acessado em 25 de março de 2021b.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Matriz Energética e Elétrica**. Brasil: 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acessado em 25 de março de 2021.

FRANTZ, B. T. **Análise de Investimento para a Redução de Carga Térmica em um Estabelecimento Comercial**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/217464>>

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1987. 5ª ed, São Paulo, 1987. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>>

HENRIQUES, S.M.; BRITES, G.J.; BRITO, S.N. **Simulação em EnergyPlus – Soluções de Elevada Eficiência Energética na Reabilitação de um Edifício Residencial de Construção Antiga**. VI Congresso Ibero-Americano de Ciências e Técnicas do Frio, Coimbra, Portugal, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/302964745\\_SIMULACAO\\_EM\\_ENERGYPLUS\\_-](https://www.researchgate.net/publication/302964745_SIMULACAO_EM_ENERGYPLUS_-)

[\\_SOLUCOES\\_DE\\_ELEVADA\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA\\_NA\\_REABILITACAO\\_DE\\_UM\\_EDIFICIO\\_RESIDENCIAL\\_DE\\_CONSTRUCAO\\_ANTIGA](https://www.researchgate.net/publication/302964745_SIMULACAO_EM_ENERGYPLUS_-SOLUCOES_DE_ELEVADA_EFICIENCIA_ENERGETICA_NA_REABILITACAO_DE_UM_EDIFICIO_RESIDENCIAL_DE_CONSTRUCAO_ANTIGA)>

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 7ª ed, Rio de Janeiro, 2017.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos climáticos**. Santa Catarina. Brasil: 2021. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>> Acessado em 11 de março de 2021.

NREL - NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Engineering Reference – EnergyPlus**. U.S. Department of Energy. USA: 2021b.

NREL - NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Input Output Reference - EnergyPlus**. U.S. Department of Energy. USA: 2021a.

ONEBUILDING. **Repository of free climate data for building performance simulation**. USA: 2021. Disponível em: <<http://climate.onebuilding.org>> Acessado em 11 de março de 2021.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-16042007-154420/publico/Dissertacao.pdf>>

POZZA, F. **Análise Térmica e Energética de uma Edificação Residencial Climatizada com Sistema de Fluxo Refrigerante Variável - VRF**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <  
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/34759> >

SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. **Análise Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico**. Artigos científicos – Construções rurais e ambiência – Scielo, 2011. Disponível em: < <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/32666> >

## APÊNDICE

Figura A – Planta baixa da edificação real.

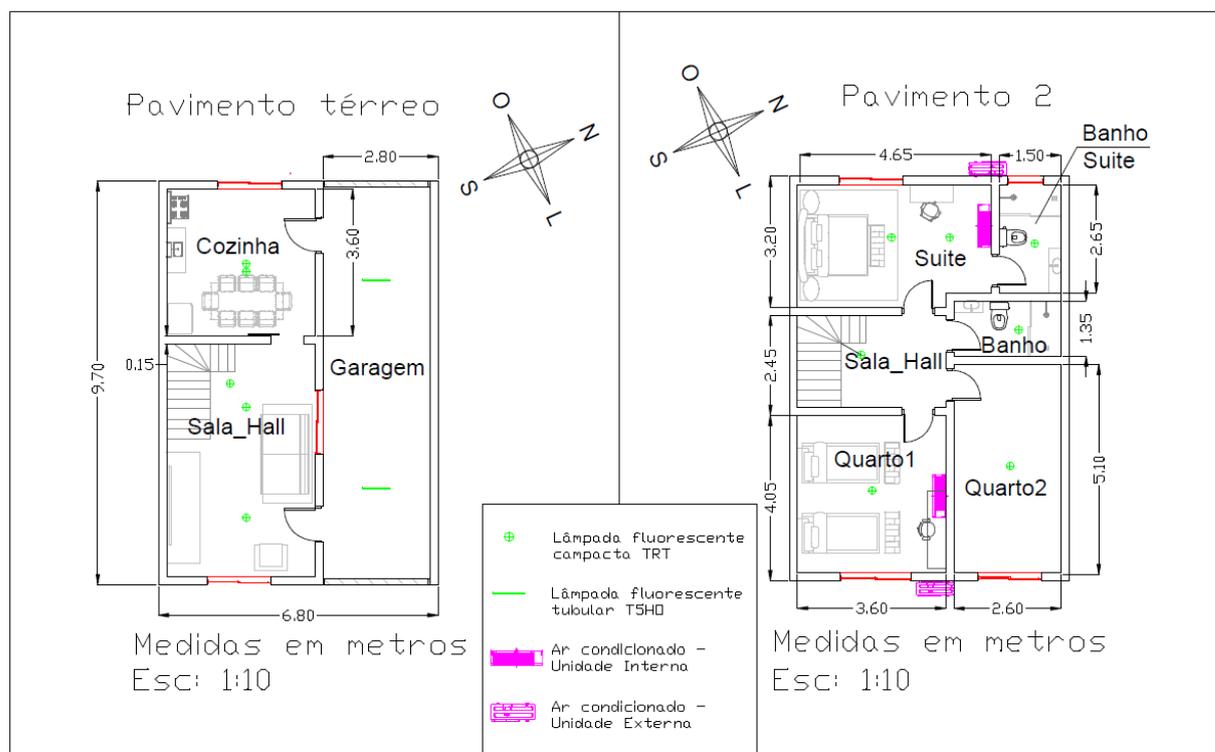


Tabela A – Ocupação dos ambientes da residência em função de horários diários.

| OCUPAÇÃO DE AMBIENTES: ZONAS TÉRMICAS   |                     |                     |         |                     |         |                    |                     |                    |
|---|---------------------|---------------------|---------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
|   | Sala_hall           | Cozinha             | Garagem | Quarto1             | Quarto2 | Banho              | Suite               | BanhoSuite         |
| 00 h às 8 h   | vazio               | vazio               | vazio   | 2 pessoas dormindo  | vazio   | vazio              | 2 pessoas dormindo  | vazio              |
| 08 h às 12 h  | 2 pessoas digitando | vazio               | vazio   | 1 pessoa digitando  | vazio   | vazio              | 1 pessoa digitando  | vazio              |
| 12 h às 13 h  | vazio               | 4 pessoas digitando | vazio   | vazio               | vazio   | vazio              | vazio               | vazio              |
| 13 h às 18h   | 2 pessoas digitando | vazio               | vazio   | 1 pessoa digitando  | vazio   | vazio              | 1 pessoa digitando  | vazio              |
| 18 h às 18h 30 min  | 2 pessoas digitando | vazio               | vazio   | vazio               | vazio   | 1 pessoa digitando | vazio               | 1 pessoa digitando |
| 18 h 30 min às 20 h   | 4 pessoas digitando | vazio               | vazio   | vazio               | vazio   | vazio              | vazio               | vazio              |
| 20 h às 21h   | vazio               | 4 pessoas digitando | vazio   | vazio               | vazio   | vazio              | vazio               | vazio              |
| 21 h às 23h   | vazio               | vazio               | vazio   | 2 pessoas digitando | vazio   | vazio              | 2 pessoas digitando | vazio              |
| 23 h às 00h   | vazio               | vazio               | vazio   | 2 pessoas dormindo  | vazio   | vazio              | 2 pessoas dormindo  | vazio              |
| <p>Área de Dubois: 1,8 m<sup>2</sup><br/> Dormindo: 40 W/m<sup>2</sup><br/> Digitando: 65 W/m<sup>2</sup></p> |                     |                     |         |                     |         |                    |                     |                    |

Tabela B – Equipamentos elétricos e utilização atual.

| UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS |                                       |              |  |  |   |                          |   |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--|--|---|--------------------------|---|
| Zona                                  | Equipamento                           | Potência [W] | Período anual de funcionamento                     | Período semanal de funcionamento                   | Horário de funcionamento  | Carga                    | Observação  |
| Sala_Hall                             | Televisor 65"                         | 195          | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | Das 9h às 21h   | 100%                     | Televisor utilizado de forma ininterrupta do período matinal ao noturno.  |
|                                       | Modem (12 V/ 4 A)                     | 7            | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | 24 h/dia  | 100%                     | -   |
|                                       | Telefone sem fio (7,5Vdc/ 300mA)      | 2,25         | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | 24 h/dia  | 100%                     | -   |
|                                       | Decodificador TV a cabo (12V/ 250 mA) | 3            | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | 24 h/dia  | 100%                     | -   |
|                                       | Ventilador                            | 130          | De 31/12 à 01/03                                   | Todos os dias                                      | Das 10 h às 20 h  | 100%                     | -   |
|                                       | Notebook                              | 30           | Todos os meses do ano                              | Segunda à sexta-feira (finais de semana desligado) | Das 8 h às 9 h<br>Das 9 h às 13 h<br>Das 13 h às 14 h<br>Das 14 h às 18 h | 100%<br>0%<br>100%<br>0% | Suposto que o notebook trabalha 1h com potência máxima para carregar a bateria, e 4 h utilizando a bateria carregada.   |
| Cozinha                               | Geladeira                             | 350          | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | Das 11 h às 21 h  | 100%                     | Suposto que o refrigerador trabalha com potência máxima durante 10h por dia.  |
| Quarto1                               | Televisor 32"                         | 100          | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | Das 21 h as 23 h  | 100%                     | -   |
|                                       | Decodificador TV a cabo (12V/ 250 mA) | 3            | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | 24 h/dia  | 100%                     | -   |
|                                       | Notebook                              | 30           | Todos os meses do ano                              | Segunda à sexta-feira (finais de semana desligado) | Mesmo regime que o notebook da Sala_Hall                                  | -                        | -   |
|                                       | Ar condicionado HiWall                | -            | De 01/12 à 15/03                                   | Todos os dias                                      | Todos os dias da semana, das 23 h às 7 h                                  | -                        | 1: O EnergyPlus calcula o consumo energético com base na temperatura setada no termostato. 2: Suposto que o ar condicionado funciona apenas no modo de resfriamento durante os meses quentes. |
| Banho                                 | Chuveiro elétrico                     | 7800         | De 01/01 à 21/03                                   | Todos os dias                                      | Das 8 h às 8h 30 min  | 20%                      | Estimado um período de 15 minutos por banho de cada usuário (duas crianças).  |
|                                       |                                       |              | De 21/03 à 21/06                                   | Todos os dias                                      | Das 8 h às 8h 30 min  | 60%                      |   |
|                                       |                                       |              | De 21/06 à 23/09                                   | Todos os dias                                      | Das 8 h às 8h 30 min  | 80%                      |   |
|                                       |                                       |              | De 23/09 à 31/12                                   | Todos os dias                                      | Das 8 h às 8h 30 min  | 40%                      |   |
| Suite                                 | Televisor 32"                         | 100          | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | Das 21 h as 23 h  | 100%                     | -   |
|                                       | Decodificador TV a cabo (12V/ 250 mA) | 3            | Todos os meses do ano                              | Todos os dias                                      | 24 h/dia  | 100%                     | -   |
|                                       | Notebook                              | 30           | Todos os meses do ano                              | Segunda à sexta-feira (finais de semana desligado) | Mesmo regime que o notebook da Sala_Hall                                  | -                        | -   |
|                                       | Ar condicionado HiWall                | -            | De 01/12 à 15/03                                   | Todos os dias                                      | Todos os dias da semana, das 23 h às 7 h                                  | -                        | 1: O EnergyPlus calcula o consumo energético com base na temperatura setada no termostato. 2: Suposto que o ar condicionado funciona apenas no modo de resfriamento durante os meses quentes. |
| Banho_Suite                           | Chuveiro elétrico                     | 7800         | Mesmo regime que o chuveiro elétrico da zona Banho |  |   |                          |   |

Tabela C – Sistema de iluminação atual e sua utilização

| UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO |                                   |  |      |              |                    |  |                       |       |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--|------|--------------|--------------------|--|-----------------------|-------|
| Ambiente                            | Lâmpada                           | Reference EnergyPlus (Tabela 1.28)           | QTD. | Potência [W] | Potência total [W] | Período de utilização                            | Horário de utilização | Carga |
| Sala_Hall                           | Lâmpada Fluorescente compacta 30W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 3    | 30           | 90                 | Todos os meses do ano em todos os dias da semana | Das 8h às 18h         | 50%   |
|                                     |                                   |  |      |              |                    |  | Das 18h às 20h        | 100%  |
| Cozinha                             | Lâmpada Fluorescente compacta 20W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 2    | 20           | 40                 |  | Das 12h às 14h        | 100%  |
|                                     |                                   |  |      |              |                    |  | Das 20h às 22h        | 100%  |
| Quarto1                             | Lâmpada Fluorescente compacta 30W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 1    | 30           | 30                 |  | Das 20h às 22h        | 100%  |
| Quarto2                             | Lâmpada Fluorescente compacta 30W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 1    | 30           | 30                 |  | Das 18h às 20h        | 100%  |
| Banho                               | Lâmpada Fluorescente compacta 20W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 1    | 20           | 20                 |  | Das 18h às 19h        | 100%  |
| Suite                               | Lâmpada Fluorescente compacta 30W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 2    | 20           | 40                 |  | Das 8h às 21h         | 100%  |
| Banho_Suite                         | Lâmpada Fluorescente compacta 20W | Downlights, Compact Fluorescent compact, TRT | 1    | 20           | 20                 |  | Das 18h às 19h        | 100%  |
| Garagem                             | Lâmpada Fluorescente Tubular 18W  | Surface Mounted T5HO                         | 2    | 18           | 36                 |  | Das 20h às 20h30min   | 100%  |

Tabela D – Composição dos elementos construtivos

## COMPOSIÇÃO MATERIAL DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

| Elemento construtivo | Camadas                | Espessura (m) | Condutividade térmica (W/m.K) | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Calor específico (J/kg.K) | Absortância solar |
|----------------------|------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Pisos                | Laje de concreto       | 0,180         | 1,75                          | 2300,00                        | 1000                      | -                 |
|                      | Cerâmica               | 0,010         | 1,80                          | 2500,00                        | 840                       | 0,20              |
| Paredes              | Reboco (argamassa)     | 0,030         | 1,15                          | 1950,00                        | 1000                      | 0,20              |
|                      | Tijolo 6 furos         | 0,010         | 0,90                          | 1600,00                        | 920                       | -                 |
|                      | Câmara de ar - tijolo  | 0,030         | 26,30                         | 1,16                           | 1000                      | -                 |
|                      | Tijolo 6 furos         | 0,010         | 0,90                          | 1600,00                        | 920                       | -                 |
|                      | Câmara de ar           | 0,030         | 26,30                         | 1,16                           | 1000                      | -                 |
|                      | Tijolo 6 furos         | 0,010         | 0,90                          | 1600,00                        | 920                       | -                 |
|                      | Reboco (argamassa)     | 0,030         | 1,15                          | 1950,00                        | 1000                      | 0,20              |
| Cobertura            | Telha de barro         | 0,015         | 0,88                          | 1500,00                        | 920                       | 0,77              |
|                      | Câmara de ar - telhado | 1,050         | 26,30                         | 1,16                           | 1000                      | -                 |
|                      | Forro de gesso         | 0,012         | 0,35                          | 875,00                         | 840                       | -                 |
| Portas exteriores    | Chapa metálica preta   | 0,003         | 55,00                         | 7800,00                        | 460                       | 0,97              |
| Portas interiores    | Chapa de madeira       | 0,035         | 0,29                          | 900,00                         | 1340                      | -                 |

## COMPOSIÇÃO MATERIAL DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS TRANSLÚCIDOS

| Elemento construtivo | Camada             | Espessura (m) | Transmitância solar para incidência normal | Refletância solar | Condutividade térmica (W/m.K) | Emissividade hemisférica |
|----------------------|--------------------|---------------|--|-------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Janelas              | Vidro - Clear 3 mm | 0,003         | 0,837                                      | 0,075             | 0,9                           | 0,84                     |