

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS – UFGD**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

**LETÍCIA SCHNEIDER FERRARI**

**APLICAÇÃO DO RTQ-R EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

**DOURADOS**

**2018**



LETÍCIA SCHNEIDER FERRARI

**APLICAÇÃO DO RTQ-R EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia, sob a orientação do Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa.

**DOURADOS**

**2018**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

F375a Ferrari, Leticia Schneider

Aplicação do RTQ-R em uma Habitação de Interesse Social / Leticia  
Schneider Ferrari -- Dourados: UFGD, 2018.

95f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Reginaldo Ribeiro de Sousa

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia,  
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Eficiência energética. 2. Etiquetagem. 3. RTQ-R. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.**

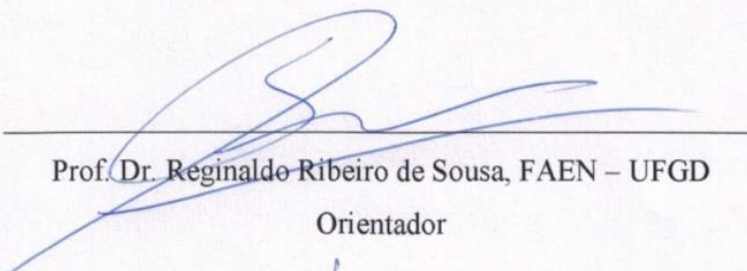
**LETÍCIA SCHNEIDER FERRARI**

**APLICAÇÃO DO RTQ-R EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Data de Aprovação: Dourados – MS, 28 de fevereiro de 2018.

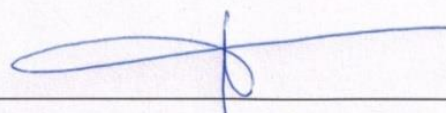
**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa, FAEN – UFGD


Orientador



---

Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima, FAEN – UFGD

Membro Convidado



---

Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli, FAEN – UFGD

Membro Convidado



*“Equipado com seus cinco sentidos, o homem explora o universo que o cerca e chama essa aventura de Ciência. ”*

(Edwin Hubble)





## RESUMO

Com a crescente conscientização do desenvolvimento sustentável na indústria da construção, a implementação de procedimentos para a avaliação energética de edifícios está se tornando importante, mesmo assim, esses procedimentos não atingem o segmento de Habitação de Interesse Social (HIS) devido a utilização de recursos mínimos. Dessa maneira, o objetivo desta pesquisa é o estudo de diversas soluções construtivas e de sistemas, para que se obtenha uma maior eficiência energética de uma residência unifamiliar, reduzindo-se as necessidades energéticas da mesma. Este trabalho apresenta uma análise do desempenho energético de uma edificação típica do programa MCMV (Minha Casa Minha Vida), localizada na cidade de Dourados no estado do Mato Grosso do Sul (MS), de Zona Bioclimática 3. Assim, foi feito um estudo dos requisitos da envoltória, aquecimento de água e bonificações fornecidas pelo selo de etiquetagem brasileiro, o PROCEL Edifica, criado pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com o Governo Federal. Foi utilizado, como base, o método prescritivo do Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Residenciais (RTQ-R) do PROCEL. Foi constatado um nível de eficiência C para a edificação em estudo. Assim, foram propostas medidas para melhorar o nível de eficiência obtido, como a modificação da absorvidade externa da residência; as absorções de calor influenciadas pelo sombreamento das aberturas e a influência do sistema de aquecimento de água. Algumas dessas ações resultaram na elevação do nível eficiência energética da casa popular.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Etiquetagem, RTQ-R.



## **ABSTRACT**

With the increasing awareness of sustainable development in the construction industry, the implementation of procedures for the energy evaluation of buildings is becoming important, even so, these procedures do not reach the Social Interest Housing (HIS) segment due to the use of minimal resources. In this way, the objective of this research is the study of several constructive solutions and systems, in order to obtain a greater energy efficiency of a single-family residence, reducing energy needs of the same. This work presents an analysis of the energy performance of a typical building of the MCMV (My House My Life) program, located in the city of Dourados in the state of Mato Grosso do Sul (MS), of Bioclimatic Zone 3. Thus, a study was made of the requirements of the enclosure, water heating and subsidies provided by the Brazilian label, PROCEL Edifica, created by the Ministry of Mines and Energy in partnership with the Federal Government. The prescriptive method of the Brazilian Energy Labeling Schemes for Residential Buildings (RTQ-R) of PROCEL was used as a basis. A level of efficiency C was found for the building under study. Thus, measures were proposed to improve the level of efficiency obtained, such as the modification of the external absorptivity of the residence; the heat absorptions influenced by the shading of the openings and the influence of the water heating system. Some of these actions have resulted in raising the energy efficiency level of the popular home.

**Keywords:** Energy Efficiency, Labeling, RTQ-R.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico do consumo de energia elétrica por setor referente ao ano de 2014. ....	26
Figura 2 – Demonstração dos níveis de eficiência da etiqueta PROCEL. ....	28
Figura 3 – Consumo de Energia Elétrica (KWh) <i>per capita</i> anual. ....	31
Figura 4 – Gráfico do consumo de energia elétrica residencial. ....	33
Figura 5 – Modelo de uma ENCE para edificações comerciais. ....	36
Figura 6 – Selo PROCEL. ....	38
Figura 7 – Gráfico do consumo percentual de energia elétrica, por equipamento, nas residências da região Centro-Oeste do Brasil. ....	39
Figura 8 – Zoneamento bioclimático brasileiro. ....	41
Figura 9 – Exemplo de uma etiqueta gerada pelo RTQ-R. ....	44
Figura 10 – Conjunto Habitacional Harrison de Figueiredo II. ....	47
Figura 11 – Janelas da residência em estudo. ....	49
Figura 12 – Planta baixa da residência em estudo. ....	51
Figura 13 – Captura de tela do software ZBBR. ....	52
Figura 14 – Ponderação dos Equivalentes Numéricos. ....	57
Figura 15 – Simulação da ENCE para a residência em estudo. ....	75
Figura 16 – Janelas com brises. ....	78



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo e número de consumidores do Mato Grosso do Sul. ....	27
Tabela 2 – Transmitância térmica de alguns fechamentos opacos. ....	42
Tabela 3 – Capacidade térmica de alguns fechamentos opacos. ....	43
Tabela 4 – Absortância solar para algumas cores. ....	43
Tabela 5 – Estrutura do cálculo da eficiência energética para cada ambiente. ....	45
Tabela 6 – Classificação do nível de eficiência de acordo com o número de pontos obtidos...	46
Tabela 7 – Área dos ambientes da residência. ....	49
Tabela 8 – Área das aberturas da residência. ....	50
Tabela 9 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente para a Zona Bioclimática 3. ....	53
Tabela 10 – Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 3. ....	55
Tabela 11 – Equações utilizadas para a determinação da eficiência energética, de acordo com o RTQ-R, para a Zona Bioclimática 3. ....	56
Tabela 12 – Classificação do nível de eficiência de acordo com o número de pontos obtidos	61
Tabela 13 – Absortância Solar ( $\alpha$ ), Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT)	63
Tabela 14 – Percentual de aberturas de ventilação de cada APP. ....	64
Tabela 15 – Percentual de aberturas de iluminação de cada APP. ....	65
Tabela 16 – Verificação dos pré-requisitos da envoltória. ....	66
Tabela 17 – Planilha avaliação da envoltória (SALA). ....	67
Tabela 18 – Valores de $GH_R$ , $C_A$ e $C_R$ para a unidade habitacional em análise. ....	70
Tabela 19 – Ponderação do EqNumEnvResf. ....	71
Tabela 20 – Ponderação do EqNumEnvA. ....	71
Tabela 21 – Classificação final da envoltória. ....	72
Tabela 22 – Porosidade das fachadas da residência em análise. ....	73
Tabela 23 – Verificação do atendimento a bonificação de iluminação natural. ....	74
Tabela 24 – Pontuação final da UH. ....	74
Tabela 25 – Alteração da absortância. ....	77
Tabela 26 – Resultados obtidos variando o valor de somb. ....	79

Tabela 27 – Alteração do sistema de aquecimento de água. .... 80

Tabela 28 – Bonificações aliado a alteração do sistema de aquecimento de água. .... 80



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACEEE – American Council for an Energy-Efficient Economy

AGEHAB – Agência Estadual de Habitação Popular de Mato Grosso do Sul

APP – Ambiente de Permanência Prolongada

AUC – Áreas de Uso Comum

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

ASTM – American Society for Testing and Materials

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações

CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction

CONSERVE – Programa de Promoção da Conservação de Energia

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EM – Edificação Multifamiliar

EU – Edificação Unifamiliar

HIS – Habitação de Interesse Social

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – International Energy Agency

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO – International Organization for Standardization

L – Orientação Leste

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

MME – Ministério de Minas e Energia

MPOG – Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão

MS – Mato Grosso do Sul

N – Orientação Norte

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

O – Orientação Oeste

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PVC – Policloreto de Vinila

RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R – Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Residenciais

S – Orientação Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos

UH – Unidade Habitacional

ZB – Zona Bioclimática

ZBBR – Zoneamento Bioclimático do Brasil

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $A_1$  – Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação
- $A_2$  – Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações
- $AA_{bO}$  – Área de Aberturas voltadas para Oeste
- $A_{ilum}$  – Área de iluminação natural
- $A_{U_{amb}}$  – Área útil do ambiente
- $A_v$  – Área de abertura para Ventilação
- $C_A$  – Consumo Relativo para Aquecimento
- $C_R$  – Consumo Relativo para Refrigeração
- $CT$  – Capacidade Térmica
- $CT_{alta}$  – Capacidade Térmica Alta
- $CT_{baixa}$  – Capacidade Térmica Baixa
- $CT_{cob}$  – Capacidade Térmica da Cobertura
- $CT_{par}$  – Capacidade Térmica das Paredes
- $EqNumAA$  – Equivalente Numérico do Aquecimento de Água
- $EqNumEnv$  – Equivalente Numérico da Envoltória
- $EqNumA$  – Equivalente Numérico para Aquecimento
- $EqNumRefrig$  – Equivalente Numérico para Refrigeração
- $EqNumResf$  – Equivalente Numérico para Resfriamento
- $EqNumAmbA$  – Equivalente Numérico do Ambiente para Aquecimento
- $EqNumAmbRefrig$  – Equivalente Numérico do Ambiente para Refrigeração
- $EqNumAmbResf$  – Equivalente Numérico do Ambiente para Resfriamento
- $F_{vent}$  – Fator de ventilação
- $GH_R$  – Graus Hora para Resfriamento
- $h_a$  – Distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, excluindo caixilhos
- $K$  – Unidade de temperatura termodinâmica em kelvin
- $kJ$  – Unidade de energia em quilojoule

m – Unidade de medida de comprimento em metro

m<sup>2</sup> – Unidade de medida de área em metros quadrados

m<sup>3</sup> - Unidade de medida de volume em metros cúbicos

PT<sub>UH</sub> – Pontuação total do nível de eficiência da Unidade Habitacional

P – Profundidade do ambiente

PD – Pé direito

somb – Variável referente ao sombreamento das aberturas

U – Transmitância Térmica

U<sub>cob</sub> – Transmitância Térmica da cobertura

U<sub>par</sub> – Transmitância Térmica das paredes

W – Unidade de potência em watt

α – Absortância solar de superfícies

% – Porcentagem

°C – Unidade de medida de temperatura em grau Celsius

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	25
1.1. Objetivos.....	29
1.1.1. Objetivo geral .....	29
1.1.2. Objetivos específicos .....	29
1.2. Justificativa .....	29
1.3. Estrutura do Trabalho .....	30
2. REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	31
2.1. Consumo Energético .....	31
2.2. Programas de Eficiência Energética .....	34
2.2.1 Programa de Promoção da Conservação de Energia .....	35
2.2.2. Programa Brasileiro de Etiquetagem.....	35
2.2.3 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica .....	37
2.2.4 Lei de Eficiência Energética.....	38
2.3. Eficiência energética em edificações.....	39
2.3.1 Zoneamento bioclimático .....	40
2.3.2. Variáveis de desempenho térmico .....	42
2.4 O Regulamento Técnico de Qualidade para o nível de eficiência em edificações residenciais (RTQ – R).....	44
3. METODOLOGIA.....	47
3.1. Objeto de Estudo.....	47

3.2. Avaliação da Residência através do RTQ-R.....	51
3.2.1. Zona Bioclimática.....	52
3.3.2. Verificação dos Pré-Requisitos Gerais .....	52
3.3.3. Ventilação natural.....	53
3.3.4. Iluminação natural .....	54
3.3.5. Avaliação da Envoltória .....	54
3.3.6. Bonificações .....	58
<b>4 RESULTADOS DE CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R. ....</b>	<b>63</b>
4.1. Verificação do atendimento aos pré-requisitos.....	63
4.1.1. Ventilação Natural.....	64
4.1.2. Ventilação Cruzada.....	64
4.1.3. Iluminação Natural .....	65
4.2. Equivalente numérico da envoltória - EqNumEnv .....	66
4.3. Avaliação do Sistema de Aquecimento de Água.....	72
4.4. Bonificações.....	72
4.4.1. Bonificação de ventilação natural.....	72
4.4.2. Bonificação de iluminação natural .....	73
4.4.3. Bonificação de medição individualizada.....	74
4.4.4. Outras bonificações .....	74
4.5. Classificação da UH.....	74

5. ALTERAÇÕES PROPOSTAS .....	77
5.1. Absortância solar .....	77
5.2. Sombreamento das Aberturas .....	78
5.3. Aquecimento de Água .....	79
5.4. Bonificações.....	80
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
GLOSSÁRIO.....	89
APÊNDICE A – Planilha preenchida para o Quarto 1.....	91
APÊNDICE B – Planilha preenchida para o Quarto 2.....	92
ANEXO A – Cálculo do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento e Cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento para a Zona Bioclimática 3.....	93
ANEXO B – TABELA DE ABSORTÂNCIAS.....	95





## 1. INTRODUÇÃO

Para alcançar reduções nas emissões de carbono, a maioria dos governos está buscando melhorar a eficiência energética em todos os setores, fazendo com que as emissões diminuam e que, conseqüentemente, tenha uma melhora na economia. É assumido que o aumento da eficiência energética de um sistema qualquer irá reduzir o consumo de energia do mesmo. Aliado a isso, e ao uso desenfreado da energia, existe um grande esforço no desenvolvimento da indústria da construção civil, com o objetivo de reduzir o consumo de energia tanto na construção como na gestão de edifícios, limitando, assim, as suas conseqüências em cidades ou até para o planeta.

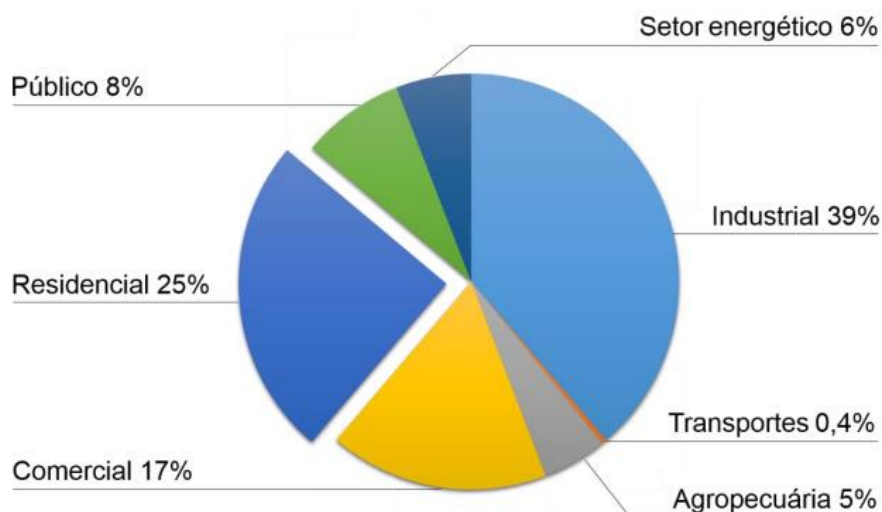
A eficiência energética pode ser definida como a razão entre as saídas "úteis" e as entradas de energia para um sistema. O sistema em questão pode ser um dispositivo individual de conversão de energia, por exemplo, uma caldeira, um edifício, uma empresa, etc. Em todos os casos, a medida da eficiência energética dependerá de como "o útil" é definido e como as entradas e saídas são medidas. Quando as saídas são medidas em termos termodinâmicos ou físicos, o termo eficiência energética tende a ser usado, mas quando as saídas são medidas em termos econômicos, é mais comum utilizar o termo "produtividade energética". O inverso de ambas as medidas é denominado "intensidade energética". (PÓVOA, 2014)

Tal esforço para a melhoria da eficiência energética pode ser visto a nível nacional e internacional com o lançamento de programas voluntários de construção ambiental para medir o desempenho dos edifícios. O programa mais representativo e amplamente utilizado é o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), sendo aceito internacionalmente para práticas de construção ecológica.

Mesmo com diversos programas de incentivo à eficiência energética e ao uso racional de energia, observa-se que a demanda continua aumentando a cada ano. De acordo com a apuração da *International Energy Agency* (IEA) (2008), entre os anos de 1973 e 2006, houve um aumento de 73 % no consumo de energia no mundo. Sendo que grande parte dessa expansão se deve pelo crescimento econômico acelerado de países Asiáticos e Latino-americanos (BRASIL, 2008).

No Brasil, tem-se que 9,3 % do gasto energético referente ao ano de 2014 foi para o setor residencial. Analisando apenas o uso de energia elétrica, tem-se que 25 % do total é consumido pelas residências do país, como mostra a Figura 1 (EPE, 2015).

Figura 1 – Gráfico do consumo de energia elétrica por setor referente ao ano de 2014.



Fonte: Adaptado de (EPE, 2015).

Ainda referente ao ano de 2014, o crescimento do consumo de energia elétrica no Mato Grosso do Sul, em GWh, na área residencial foi de 11,6 %, representando cerca de 32,8 % do total consumido. Nesse mesmo período, o número de consumidores residenciais foi de 808.216, o que acarretou em um crescimento de 4 %. Sendo que o total de consumidores residenciais equivale a 80,7 % do total de consumidores no Mato Grosso do Sul, conforme verificado na Tabela 1 (EPE, 2015).

Tabela 1 – Consumo e número de consumidores do Mato Grosso do Sul.

	2010	2011	2012	2013	2014	Δ% (2014/2013)	Part. % (2014)	
<b>Consumo (GWh)</b>	<b>4.017</b>	<b>4.302</b>	<b>4.694</b>	<b>5.098</b>	<b>5.345</b>	<b>4,9</b>	<b>100</b>	<b>Consumption (GWh)</b>
Residencial	1.238	1.326	1.451	1.571	1.753	11,6	32,8	Residential
Industrial	998	1.054	1.153	1.346	1.236	-8,1	23,1	Industrial
Comercial	815	903	1.015	1.077	1.194	10,8	22,3	Commercial
Rural	408	429	456	464	497	7,0	9,3	Rural
Poder público	202	222	234	240	257	7,0	4,8	Public Sector
Iluminação pública	193	202	216	221	226	2,1	4,2	Public lighting
Serviço público	155	159	162	170	176	3,0	3,3	Public service
Consumo próprio	8	8	7	7	7	-1,2	0,1	Own use
<b>Consumidores (unidades)</b>	<b>861.819</b>	<b>898.247</b>	<b>935.531</b>	<b>964.597</b>	<b>1.001.463</b>	<b>3,8</b>	<b>100</b>	<b>Consumers (units)</b>
Residencial	691.798	720.852	752.014	776.904	808.216	4,0	80,7	Residential
Industrial	5.988	6.454	7.057	7.804	8.795	12,7	0,9	Industrial
Comercial	69.090	72.448	76.482	78.754	80.430	2,1	8,0	Commercial
Rural	83.610	86.785	87.686	88.523	90.986	2,8	9,1	Rural
Poder público	8.439	8.621	8.788	8.990	9.289	3,3	0,9	Public Sector
Iluminação pública	1.787	1.929	2.317	2.393	2.418	1,0	0,2	Public lighting
Serviço público	906	956	992	1.030	1.130	9,7	0,1	Public service
Consumo próprio	201	202	195	199	199	0,0	0,0	Own use

Fonte: (EPE, 2015).

Com o intuito de reduzir a carência de habitações no Brasil, em 2009 foi criado o programa “Minha Casa, Minha Vida” (MCMV), sendo que após a sua criação aumentou-se notavelmente o acesso à moradia. Este programa está distribuído em faixas: famílias com renda até 1800 reais (faixa 1), famílias com renda até 2600 reais (faixa 1,5), famílias com renda até 4000 reais (faixa 2), famílias com renda até 9000 reais (faixa 3); sendo que estas faixas foram atualizadas em fevereiro de 2017 (CAIXA, 2017).

Assim, tendo por finalidade o estímulo do uso eficiente de energia elétrica, o governo criou, na década de 1980, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), tendo este um subprograma chamado PROCEL Edifica, que tem como propósito promover a eficiência energética em edificações (BRASIL, 2011). No Brasil, o Ministério de Minas e Energia e a Eletrobrás, em parceria com o INMETRO e por meio do PROCEL Edifica, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), promoveram a elaboração do Regulamento Técnico da Qualidade, para a

etiquetagem voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), em 2009. Em 2010, foi publicado o Regulamento Técnico de Qualidade para edifícios residenciais (RTQ-R), com o intuito de analisar o desempenho energético de edificações residenciais a fim de avaliar o nível de eficiência energética (MME, 2011). A avaliação por meio destes tem como resultado a etiqueta A (mais eficiente) até a etiqueta E (menos eficiente), como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Demonstração dos níveis de eficiência da etiqueta PROCEL.



Fonte: (PROCEL, 2017).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf – MME, 2011), estabeleceu-se a obrigação da Etiqueta de Edificações do Programa Brasileiro de Etiquetagem (Etiqueta PBE Edifica) para edificações públicas até 2020, até 2025 para prédios comerciais, e 2030 para as residências. Porém, de acordo com a emissão da Instrução Normativa n°. 02 de 04 de junho de 2014 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), a etiquetagem para edificações públicas federais tornou-se obrigatória a partir de agosto de 2014. Portanto, tem-se que o uso do RTQ-R pode chegar antecipadamente, preferencialmente para Habitação de Interesse Social (HIS), por ser de cunho público.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Contribuição para a redução do consumo energético em habitações de interesse social juntamente com o aumento do conforto térmico.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- a) Aplicar a metodologia prescritiva do RTQ-R;
- b) Avaliar o nível de eficiência energética de uma HIS, localizada em Dourados, MS, de acordo com a metodologia proposta;
- c) Identificar medidas que possam ser implementadas nessa edificação a fim de torná-la mais eficiente e com melhor desempenho térmico.

## **1.2. Justificativa**

No município de Dourados, do mesmo modo que nas demais cidades médias do Brasil, tem-se averiguado um aumento notório das edificações residenciais, devido ao crescimento populacional. Em Dourados, no começo da década de 1990, o IBGE registrou uma população de 135.984 habitantes, contra os 196.035 habitantes verificados no último Censo (IBGE, 2010) e uma estimativa para 2016 de 215.486 pessoas. O crescimento da demanda de energia está relacionado com o aumento do número de residências no município de Dourados está relacionado com, havendo uma necessidade de um uso mais eficiente da mesma, levando em conta a posição do setor residencial no consumo energético do Brasil.

Além disso, vem aumentando o número de HIS, como as do programa “Minha Casa, Minha Vida”. Essas habitações são construídas com um custo limitado, não dando prioridade com o desempenho energético da mesma, sendo que se tem um custo maior do que o requisitado para a obtenção do conceito A da etiqueta PROCEL.

Sabe-se que os padrões mínimos de construção não levam em conta o conforto térmico, a iluminação e a ventilação, havendo assim uma necessidade de avaliar e sugerir melhorias para essas habitações destinadas a pessoas com baixa renda.

### **1.3. Estrutura do Trabalho**

O trabalho realizado está organizado em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo foi feito uma breve introdução sobre a necessidade atual de se elaborar a eficiência energética em edificações e apresentou os objetivos do estudo.

No segundo capítulo será apresentada uma breve revisão bibliográfica, apresentando o conceito de eficiência energética juntamente com as normas vigentes.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia da avaliação do nível de eficiência energética em edifícios residenciais proposta no documento do RTQ-R.

Os resultados obtidos a partir do terceiro capítulo estão no quarto capítulo, onde serão mostradas as alterações propostas para a melhoria do desempenho energético da edificação residencial em estudo.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões finais deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BILIOGRÁFICA

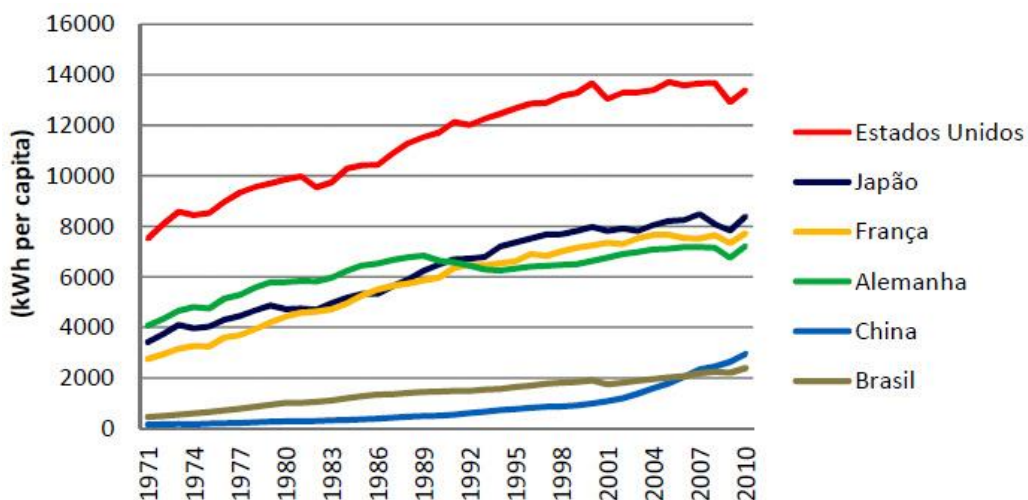
### 2.1. Consumo Energético

Na sociedade atual, a energia é caracterizada como parte essencial de sobrevivência, sendo uma componente chave para a inserção social, avanço e melhoria da qualidade de vida das pessoas.

O aumento excessivo e o uso inadequado da energia elétrica oferecem sérios problemas na economia do país, degradando o meio ambiente com os impactos da geração. O aumento do consumo de energia elétrica é advindo do desenvolvimento econômico do país e se agrava com os hábitos que a maioria da população possui, como por exemplo, a obtenção de equipamentos elétricos sem o certificado de eficiência.

Uma pesquisa realizada até o ano de 2010, mostrou que os Estados Unidos tinha o maior consumo energético *per capita* (o que cada habitante consumiu de energia por ano), mostrando que o consumo está relacionado com o grau de desenvolvimento do país, tendo pessoas com um maior acesso a equipamentos essenciais e infraestrutura. Perdendo sua colocação para a China, o Brasil tornou-se o sexto menor consumidor de energia elétrica. A China tem avançado a sua industrialização devido ao processo de desenvolvimento do país, caracterizando assim a expansão do seu consumo, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Consumo de Energia Elétrica (kWh) *per capita* anual.



Fonte: Adaptado de (THE WORLD BANK, 2013).

Na Europa tem-se que aproximadamente 28 % do consumo da energia elétrica total são do setor industrial, já o setor de transporte é responsável pela maior parte, ou seja, 31 % da demanda. As residências consomem 29 % da energia elétrica e o setor de serviços conta com aproximadamente 12 % de energia consumida. Nos Estados Unidos, metade do consumo de energia em todo o país é em virtude das edificações em geral (BUTERA, 2009).

No Brasil, foi registrada uma expansão de 0,6 % no consumo de energia elétrica no setor residencial no ano de 2015 em relação ao ano de 2014. Sendo que o setor industrial e de transportes tiveram um decréscimo de 3,1 % e 2,6 %, respectivamente. As edificações dos setores residencial, comercial e público consomem 47,7 % da energia elétrica produzida no Brasil, sendo que 27,8 % do consumo de energia elétrica devem-se ao setor residencial, do qual a maior parte dela é utilizada pelo chuveiro e pelo condicionador de ar, sendo este último com o intuito de obter conforto térmico, e 19,9 % do consumo de energia elétrica se deve aos setores comercial e público (EPE, 2015).

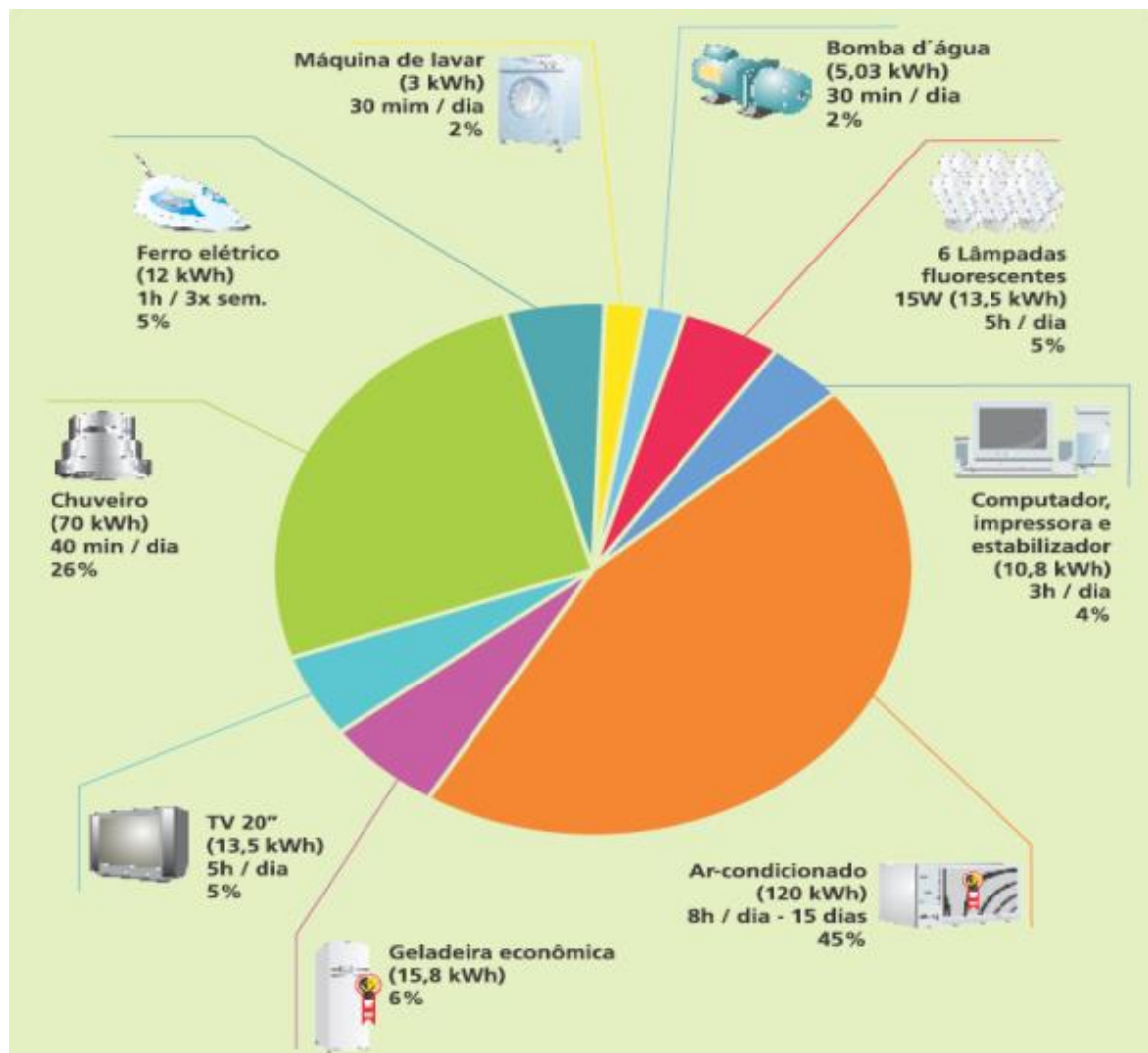
Em janeiro de 2015, o consumo de energia elétrica registrou 40.660 GWh representando aumento de 1,1 % sobre o mesmo mês de 2014. O setor residencial acumulou crescimento de 6,1 % em 12 meses, tendo registrado 12.501 GWh de consumo. O aumento desse consumo é originado pelo aumento do uso de eletrodomésticos, sendo que houve estímulos do Governo Federal através de programas de cunho social, conseqüentemente, houve expansão no consumo médio proveniente das residências (EPE,2015).

Em relação ao consumo de energia elétrica no estado de Mato Grosso do Sul, este expandiu em 33,06 % em quatro anos. Em 2014, foram consumidos 5.345 GWh, enquanto que em 2010, o consumo havia sido de 4.017 GWh. Neste mesmo período, houve um aumento no número de unidades consumidoras em 16,20 %, ou seja, de 861.819 para 1.001.463, sendo predominantemente consumidores residenciais (EPE, 2015).

Os responsáveis pelo maior consumo de energia nas residências são os equipamentos como o chuveiro elétrico e o condicionador de ar, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 – Gráfico do consumo de energia elétrica residencial.



Fonte: (Light, 2012).

Ainda, segundo a Figura 4, observa-se que o consumo de energia elétrica nas residências se divide da seguinte maneira: se a residência possuir condicionador de ar, este consta como primeiro lugar no consumo, com 45 %, em seguida, o chuveiro elétrico e a geladeira, com 26 % e 6 %, respectivamente. A busca pelo conforto térmico é responsável pelo alto consumo nesses aparelhos. O crescimento da participação do setor residencial no consumo do país se deve a vários fatores, como o enaltecimento do bem-estar, a diminuição de obstáculos para a aquisição de aparelhos eletrônicos, e também ao aumento da violência nos grandes centros urbanos fazendo com que as pessoas fiquem mais em suas residências (ELETROBRÁS, 2007).

Observa-se que em políticas habitacionais dá-se destaque as moradias com espaços pequenos juntamente com construções de qualidade baixa, uma vez que necessário se ajustar aos limites do financiamento disponibilizado (OLIVEIRA, SILVA; PINTO, 2012). Com isso, não se leva em conta as condições locais de cada caso, uma vez que para essas construções são utilizados projetos arquitetônicos prontos. Assim, Vieira et al. (2012) buscaram analisar HIS de Florianópolis utilizando o RTQ-R, e concluíram que adequados níveis de eficiência energéticas podem ser obtidos com ações simples que não ocasionam grande diferença no custo final da residência.

## **2.2. Programas de Eficiência Energética**

As edificações têm como aspecto essencial o amparo para o indivíduo de modo que proporcione conforto e comodidade aos usuários, fazendo com que estes possam cumprir seus encargos com agilidade, e de preferência com baixo consumo de energia.

De acordo com Carlo (2008), os sistemas condicionadores de ar são necessários para superar as cargas de calor nas edificações, a fim de manter condições de conforto aceitáveis dentro do ambiente. Os sistemas devem fornecer aquecimento para superar as perdas de calor e resfriamento para superar os ganhos de calor, sendo que esses ganhos e perdas estão relacionados com a carga interna.

A carga interna é a energia térmica das pessoas, da iluminação e dos equipamentos que liberam calor no interior do ambiente. Considerando que isto é desejável para o tempo frio, uma vez que reduz a necessidade de energia para o aquecimento, em tempo quente aumenta a energia necessária para o resfriamento. Em edifícios de escritórios, lojas comerciais, centros comerciais, salas de entretenimento, etc., grande parte do problema do superaquecimento durante o verão pode ser causada pelo calor produzido por equipamentos ou por um alto nível de iluminação artificial. Quando há um grande número de ocupantes ou clientes, o calor metabólico gerado pode também adicionar ao problema.

Posteriormente à crise do petróleo, na década de 1970, houve um aumento na preocupação com a eficiência energética. Isso se deve ao aumento do preço do petróleo aliado à sua escassez. Com isso, surgiram ações voltadas à conservação do petróleo juntamente com o uso eficiente de seus derivados (BRASIL, 2011).

Dessa maneira, de acordo com Carlo (2008), foram criados diversos programas de eficiência energética, incentivando o uso eficiente da energia elétrica. Tendo isso em vista, houve a criação de normas regulamentadoras em todo o mundo, como a mais conhecida mundialmente, a Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design, e a norma californiana Title 24 de 1978.

O impulso à redução do consumo e a maior eficiência da energia elétrica no Brasil parte de programas governamentais, sendo que estes programas são destinados desde a geração até o usuário final (SANTOS; SOUZA, 2008).

### **2.2.1 Programa de Promoção da Conservação de Energia**

Em 1981, para cumprir com as imposições relacionadas à conservação de energia na indústria e à substituição de petróleo por fontes alternativas, criou-se O Programa de Promoção da Conservação de Energia (CONSERVE).

Conforme o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), o propósito do programa era incentivar a conservação e a troca de óleo combustível por outras fontes, principalmente, nas indústrias de aços e ferros fundidos (siderurgia), nas indústrias de cimento e nas indústrias de papel e celulose (BRASIL, 2011)

Segundo De Souza, Guerra e Kruguer (2011), no ano em que foi lançado o CONSERVE foi obtido um declínio de aproximadamente 18 % de óleo combustível consumido nas indústrias. No entanto, o objetivo do programa não foi atingido devido aos obstáculos encarados no decorrer do seu desenvolvimento.

Tendo o aumento do consumo energético em indústrias, a conservação de energia foi transferida para o setor elétrico.

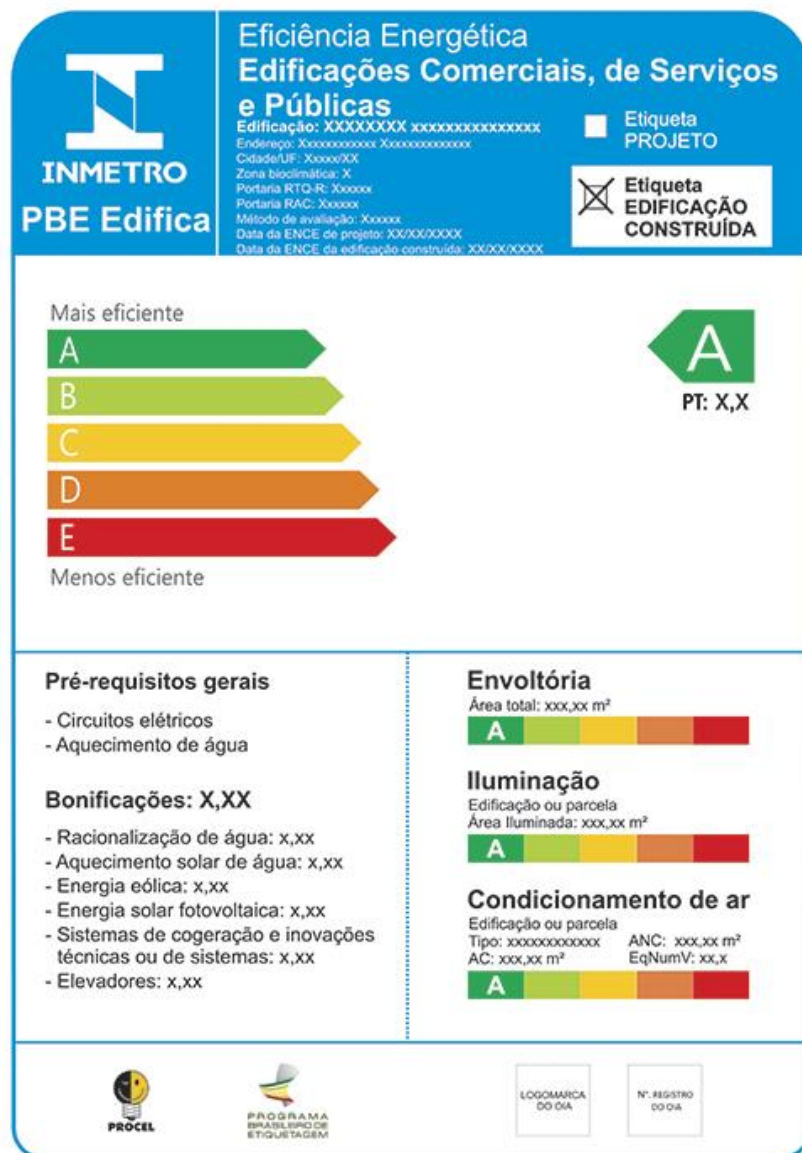
### **2.2.2. Programa Brasileiro de Etiquetagem**

No ano de 1984, com o propósito de aumentar a redução do consumo de energia elétrica provenientes de equipamentos eletrodomésticos, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) executou o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos (PROCEL).

Posteriormente, o programa começou a ser chamado de Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), conciliando a meta inicial com a elaboração de padrões de segurança e de ações que definem as exigências mínimas de eficiência energética (BRASIL, 2011).

Assim, por meio do PBE, os itens (eletrodomésticos, edificações comerciais ou residenciais) são ensaiados podendo receber a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), sendo que essas etiquetas são representadas com faixas coloridas diferenciando-se de acordo com o nível de eficiência energética (Figura 5).

Figura 5 – Modelo de uma ENCE para edificações comerciais



Fonte: (PROCEL).

Com base na Lei nº 10.295, promulgada em 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, existe o estímulo ao desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional.

### **2.2.3 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**

Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobras, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) se caracteriza por fomentar o uso eficiente da energia elétrica combatendo o seu desperdício, sendo criado em 30 de dezembro de 1985.

Segundo de Souza et al. (2011), o PROCEL teve três fases distintas a partir da sua fundação. Sendo que até o ano de 1989 o programa relacionou-se apenas com a questão tecnológica, através de pesquisa e suporte para as indústrias, visando o certificado dos equipamentos.

Na segunda fase, por meio de um decreto presidencial, o programa transformou-se do Governo Federal, ampliando suas obrigações.

Na terceira fase, o programa foi renovado com o propósito de introduzir condutas de eficiência energética no sistema elétrico. Com isso, relatou-se a redução de perdas dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e, principalmente, dando preferência na conservação de energia elétrica em curto prazo.

Foi fundado em 2003, como um subprograma, o programa PROCEL Edifica, visando à eficiência energética em edificações. Tem como objetivo instaurar os conceitos de eficiência energética em construções com a utilização de tecnologias com desempenho energético eficiente (ELETROBRAS, 2007).

#### *2.2.3.1 O Selo PROCEL*

O Selo PROCEL (Figura 6), instaurado em 1993, contempla os produtos com os melhores índices de eficiência energética. Assim, quando um produto possui o selo, o consumidor ao adquirir algum eletrodoméstico saberá sobre o nível de eficiência do mesmo.

Com isso, haverá o estímulo para a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes, reduzindo os impactos ambientais (DIAS, 2010).

Figura 6 – Selo PROCEL



Fonte: (PROCEL).

#### 2.2.4 Lei de Eficiência Energética

Em 2001, houve o racionamento de energia elétrica devido à crise do apagão, assim, foi aprovado um projeto de lei relacionado à eficiência energética pelo Congresso Nacional, sendo que este projeto estava em tramitação há mais de 10 anos no Senado. Tendo isso em vista, em outubro de 2001 foi decretada a Lei nº 10.295, conhecida como Lei de Eficiência Energética (DAVID, 2013).

A lei visa uma política nacional para o uso racional da energia elétrica, com isso o Poder Executivo indica os níveis máximos de consumo de produtos que consomem energia e também indica os níveis mínimos de eficiência energética. Segundo a lei, o Poder Executivo também exerce mecanismos que impulsionam a eficiência energética em edificações (BRASIL, 2011).

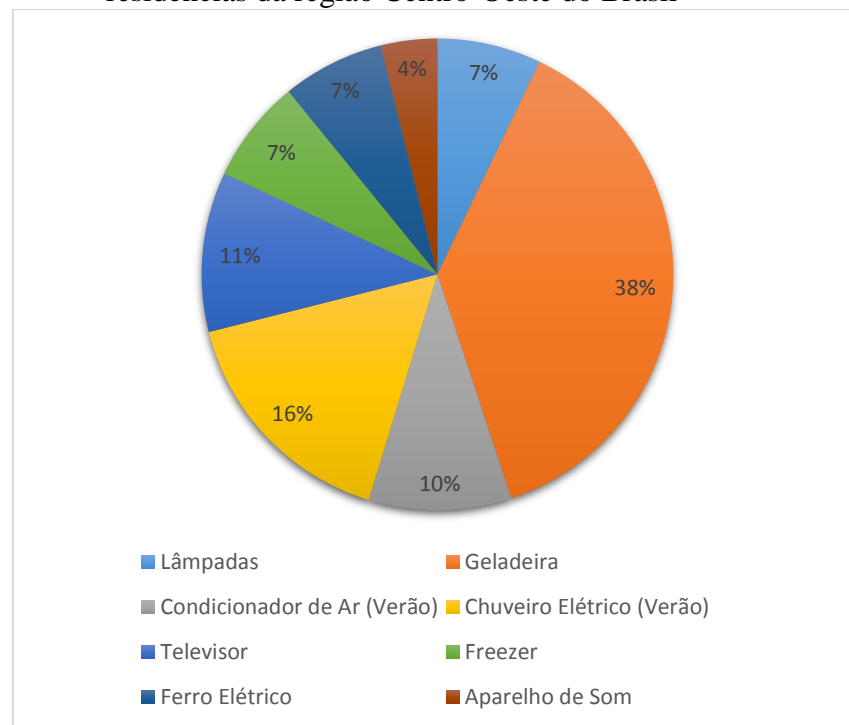
### 2.3. Eficiência energética em edificações

De acordo com Carlo (2008), com a operação de equipamentos eletrodomésticos, iluminação artificial e condicionadores de ar tem-se o consumo de energia em edificações. Assim, a intensidade do consumo irá depender de diversas variáveis que podem interferir nesse sistema, como a envoltória da edificação, sendo que esta é incumbida pelas trocas térmicas existentes do ambiente externo para interno.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2010), a caracterização de uma edificação também depende da eficiência energética da mesma, retratando a sua capacidade em disponibilizar conforto térmico e audiovisual com um consumo de energia mínimo. Com isso, tem-se que um edifício é mais eficiente que o outro, quando este apresenta, nas mesmas condições ambientais, um consumo de energia inferior.

A Figura 7 ilustra a distribuição, em percentual, do consumo de energia elétrica dos equipamentos nas residências na região Centro-Oeste do Brasil, com destaque para a geladeira.

Figura 7 – Gráfico do consumo percentual de energia elétrica, por equipamento, nas residências da região Centro-Oeste do Brasil



Fonte: Adaptado de (Eletrobras, 2007).

De 1980 até o começo de 1990 as pesquisas na área de eficiência energética estavam focadas apenas na parte teórica, somente mais tarde, no meio da década de 1990, aplicou-se os conceitos na realização das construções civis (BORGES, 2008).

Algumas organizações elaboraram esses conceitos, como a *International Organization for Standardization (ISO)*, a *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, e o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)* (ROMAN et al., 2003).

O desenvolvimento de ações de eficiência energética por meio de instituições tornou-se uma tendência mundial, dessa maneira, no Brasil, com o intuito da regulamentação do programa de etiquetagem, o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com o INMETRO e com a Eletrobras, começou a desenvolver no ano de 2004 o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), sendo publicado no ano de 2009.

O Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência em Edificações Residenciais (RTQ-R) foi anunciado no final de 2010, tendo como base alguns cálculos considerando a envoltória da edificação, a iluminação, o condicionamento de ar e o aquecimento de água, levando em conta a localização da edificação no zoneamento bioclimático.

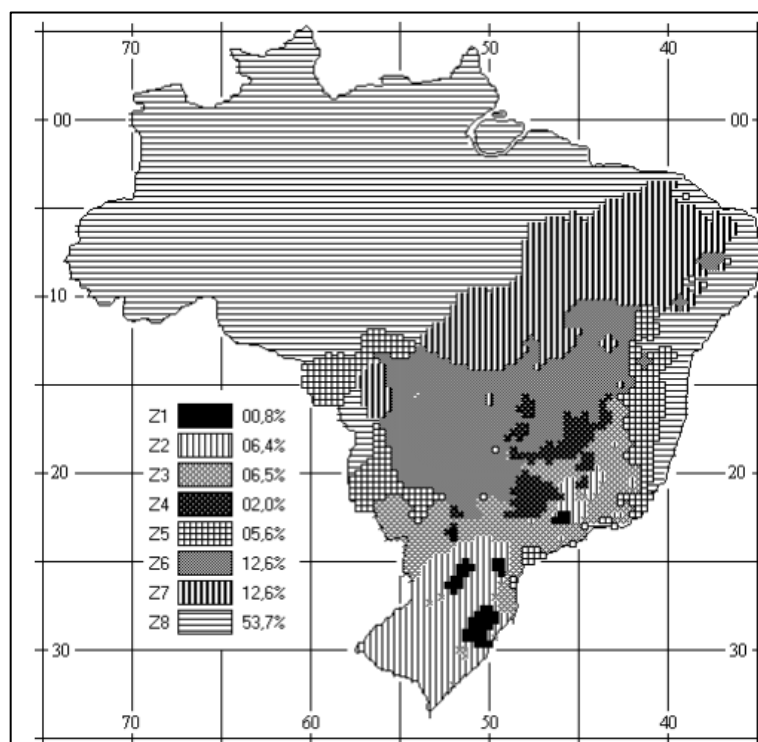
### **2.3.1 Zoneamento bioclimático**

De acordo com a norma “Desempenho Térmico de Edificações” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 15.220-3:2005, o território brasileiro é dividido em oito zonas, parcialmente homogêneas, interferindo nas relações entre o conforto humano e o ambiente construído (ABNT, 2005).

Para a elaboração de cada Zona Bioclimática foi estabelecida a semelhança das áreas junto com as temperaturas registradas e com as médias da umidade relativa do ar de cada mês. A Figura 8 ilustra a distribuição das oito Zonas Bioclimáticas do Brasil.



Figura 8 – Zoneamento Bioclimático brasileiro



Fonte: (ABNT, 2005).

Tendo em mãos a Zona Bioclimática em que a edificação está inserida, deve-se seguir características construtivas, como as dimensões e proteções de aberturas, materiais a serem utilizados e técnicas de condicionamento térmico.

A Zona Bioclimática 1, que abrange cerca de 0,8 % do território brasileiro, é a zona mais fria, assim não possui nenhuma técnica Bioclimática para o verão. A Zona Bioclimática 2 também representa regiões frias, mas essa zona tem a exigência de utilização da ventilação em poucos dias quentes do ano (ABNT, 2005).

As Zonas Bioclimáticas 3 e 4 têm mais horas de conforto por ano, tendo assim técnicas Bioclimáticas precisas para o inverno e o verão, sendo que a Zona Bioclimática 3 é mais úmida e a 4 é mais seca. A cidade de Dourados – MS está localizada na Zona Bioclimática 3 (ABNT, 2005).

A Zona Bioclimática 6 é caracterizada por regiões quentes e semiúmidas. A Zona Bioclimática 7 também representa as regiões quentes, porém secas, tendo assim técnicas Bioclimáticas apenas para o verão. As Zonas Bioclimáticas 5 e 8 são regiões quentes e úmidas, sendo que a 8 abrange a maior parte do território nacional (53,7 %), sendo caracterizada por

mais horas de desconforto por calor, tendo a necessidade de utilizar ventilação cruzada permanente (ABNT, 2005).

Desde que foi publicado o zoneamento bioclimático brasileiro, houveram críticas relacionadas ao mesmo, sendo que os dados são imprecisos (RORIZ, 2012). Assim, está havendo uma revisão do zoneamento desde 2012, não tendo uma previsão de término.

### 2.3.2. Variáveis de desempenho térmico

#### 2.3.2.1. Transmitância Térmica ( $U$ )

Essa variável é conhecida como uma das principais variáveis que influenciam no desempenho térmico de uma edificação. A transmitância térmica [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] é caracterizada como o inverso da resistência térmica ( $RT$ ), designada como a razão entre o fluxo de calor que transita por meio do componente opaco (paredes externas e coberturas) e a diferença de temperatura do ar em contato com cada componente. É calculada através do método especificado na NBR 15220-2. A Tabela 2 mostra alguns valores de transmitância térmica.

Tabela 2 – Transmitância térmica de alguns fechamentos opacos.

Parede	Transmitância térmica [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]
Tijolo 4 furos – espessura = 14,5 cm	2,49
Tijolo 8 furos – espessura = 15,0 cm	2,24
Tijolo 6 furos (parede dupla) – espessura = 36,0 cm	1,21
Tijolo 8 furos (parede dupla) – espessura = 44,0 cm	1,12

Fonte: (ABNT, 2005).

#### 2.3.2.2. Capacidade Térmica ( $C_T$ )

A capacidade térmica ( $kJ/m^2 \cdot K$ ) é a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de um objeto a uma certa temperatura. Quanto maior a capacidade térmica dos

componentes de uma edificação, maior será o amortecimento das temperaturas internas (LAMBERTS, et al., 2010). A Tabela 3 mostra alguns valores de capacidade térmica.

Tabela 3 – Capacidade Térmica de alguns fechamentos opacos

<b>Cobertura</b>	<b>Capacidade térmica [kJ/ (m<sup>2</sup>. K)]</b>
Telha de barro sem forro	18
Telha de fibrocimento, forro em madeira	25
Telha de barro, forro de laje mista	113
Telha de barro, laje de concreto de 25 cm	568

Fonte: (ABNT, 2005).

### 2.3.2.3. Absortância solar ( $\alpha$ )

A absortância solar é a razão entre a taxa de radiação solar que uma superfície absorve e a taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície. Colocando cor nas paredes externas de uma edificação, tem-se um filtro das radiações solares, sendo que isso influenciará as condições térmicas da edificação. A Tabela 4 apresenta os valores de absortância de algumas cores de superfícies.

Tabela 4 – Absortância solar para algumas cores.

<b>Cor</b>	<b>Coefficiente de absorção</b>
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: (ABNT, 2005).

## 2.4 O Regulamento Técnico de Qualidade para o nível de eficiência em edificações residenciais (RTQ – R)

O RTQ-R define as exigências para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, um exemplo de etiqueta é mostrada na Figura 9, sendo caracterizada pela letra A como mais eficiente e até chegar a letra E como menos eficiente, além disso, a etiqueta também vem caracterizada por cores para um melhor entendimento, como o verde para mais eficiente e vermelho como menos eficiente. Esse regulamento mostra os quesitos técnicos, assim como os procedimentos fundamentais para a classificação relacionada à eficiência energética.

Figura 9 – Exemplo de uma etiqueta gerada pelo RTQ-R.



Fonte: (BRASIL, 2013).

O RTQ-R traz os procedimentos fundamentais para a avaliação da eficiência energética de uma Unidade Habitacional (UH), Edificação Unifamiliar (EU), Edificação Multifamiliar

(EM) e Áreas de Uso Comum (AUC). O RTQ-R considera somente os Ambientes de Permanência Prolongada (APP), como dormitórios e salas.

A classificação das EU e das UHs se dá pela avaliação do desempenho térmico da envoltória e do sistema de aquecimento de água, podendo haver bonificações relacionadas com a ventilação, iluminação, uso racional de água e sistemas refrigeradores e condicionadores, podendo aumentar em 1 ponto a pontuação total de eficiência energética.

Conforme o RTQ-R, para os Pontos da Unidade Habitacional (PTUH) existem diferentes pesos de acordo com a região geográfica. Assim, a importância do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv), indicando a eficiência da envoltória no RTQ-R, este equivalente é calculado por uma equação contendo o Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento (EqNumEnvResf) e para Aquecimento (EqNumEnvA).

Para as particularidades construtivas de cada APP, são conceituadas as variáveis – “somb” (sombreamento das aberturas),  $CT_{par}$  (Capacidade Térmica das Paredes) e  $AAb_O$  (Área de Aberturas voltadas para Oeste) – para serem usadas nas equações de regressão linear resultando no Indicador de Graus Hora para Resfriamento ( $GH_R$ ), no Consumo Relativo para Refrigeração ( $C_R$ ) utilizado somente nos dormitórios e para o Consumo Relativo para Aquecimento ( $C_A$ ) referente à UHs que se localizam nas Zonas Bioclimáticas 1, 2, 3 e 4. Abaixo na Tabela 5 tem-se os equivalentes numéricos para cada ambiente.

Tabela 5 – Estrutura do cálculo da eficiência energética para cada ambiente

<b>Indicador de consumo</b>	<b>Equivalente Numérico</b>	<b>Ambiente aplicável</b>	<b>Zona Bioclimática aplicável</b>
$GH_R$	EqNumEnvAmbResf	APP	Todas
$C_A$	EqNumEnvAmbA	APP	1 a 4
$C_R$	EqNumEnvAmbRefrig	Dormitórios	Todas

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

A análise da envoltória não se resume no Equivalente Numérico, o RTQ-R exige pré-requisitos nos componentes construtivos (absortância, transmitância térmica e capacidade térmica) de paredes e coberturas, e também nos componentes de ventilação e iluminação natural.

Por meio de cada Equivalente Numérico é obtido um nível de eficiência energética, assim, tem-se o nível de eficiência da envoltória para verão por meio do EqNumEnvAmbResf e, para inverno, por meio do EqNumEnvAmbA, e o nível de eficiência energética da envoltória condicionada artificialmente por meio do EqNumEnvAmbRefrig.

O RTQ-R também avalia o sistema de aquecimento de água, por meio de pré-requisitos para cada sistema – aquecimento elétrico, bombas de calor, aquecimento solar, aquecimento a gás e utilização de caldeiras – havendo também pré-requisitos para a tubulação e reservatório de água quente. Avalia-se cada sistema separadamente a fim de se obter o Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água (EqNumAA) tendo assim o Nível de Eficiência do Sistema de Aquecimento de Água.

É utilizado pelo RTQ-R o EqNumEnv e o EqNumAA para a determinação do  $PT_{UH}$ , somado com as Bonificações. O RTQ-R também avalia os Ambientes de Uso Coletivo (AUC) para os condomínios residenciais, como por exemplo, elevadores e salões de festa. A Tabela 6 mostra a relação dos  $PT_{UH}$  com o nível de eficiência.

Tabela 6 - Classificação do nível de eficiência de acordo com o número de pontos obtidos

Pontuação ( $PT_{UH}$ )	Nível de eficiência
$PT_{UH} \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT_{UH} < 4,5$	B
$2,5 \leq PT_{UH} < 3,5$	C
$1,5 \leq PT_{UH} < 2,5$	D
$PT_{UH} < 1,5$	E

Fonte: (BRASIL, 2012).

### 3. METODOLOGIA

Avaliou-se uma residência de um conjunto de Habitação de Interesse Social (HIS) construída na cidade de Dourados – MS. Foi avaliada a eficiência energética conforme o RTQ-R e foram propostas alterações para a melhoria da eficiência energética.

Para a avaliação da edificação de acordo com o método prescritivo do RTQ-R, foi necessário analisar a envoltória, sistema de aquecimento de água, junto com as bonificações que podem ser obtidas através da utilização de ventiladores de teto, aparelhos com o selo PROCEL e etc. Após serem feitas essas análises, a eficiência energética pôde ser obtida.

#### 3.1. Objeto de Estudo

Foi aplicado o método prescritivo do RTQ-R em uma residência do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). A residência faz parte do conjunto habitacional Harrison de Figueiredo II, localizado na MS-156, na cidade de Dourados – MS. A Figura 10 ilustra as residências do conjunto habitacional.

Figura 10 – Conjunto Habitacional Harrison de Figueiredo II.



Fonte: (Jornal Folha do Povo, 2014).

O Residencial em estudo possui 224 unidades com 36,9 m<sup>2</sup>, sendo que oito destas são adaptadas para pessoas com necessidades especiais, tendo a área de 42,19 m<sup>2</sup>. A residência em estudo não é adaptada para pessoas com necessidades especiais, assim possui 36,9 m<sup>2</sup> de área privativa. As moradias são destinadas a famílias que possuem renda de até R\$ 1,6 mil. O empreendimento do Residencial Harrison de Figueiredo possui um total de 722 casas, que foi dividido em três conjuntos habitacionais: Harrison de Figueiredo I com 240 casas, Harrison de Figueiredo II com 232 casas e Harrison de Figueiredo III com 250.

A residência tem dois quartos, sala, cozinha e banheiro, contém também uma área de serviço externa sem cobertura. As paredes externas e internas das edificações possuem a mesma composição que as HIS do estado de Mato Grosso do Sul, sendo esta de tijolos cerâmicos de 8 furos assentados a meia vez, com reboco externo e interno de argamassa, cimento e areia com 1,5 cm, tendo a espessura total da parede de 15 cm.

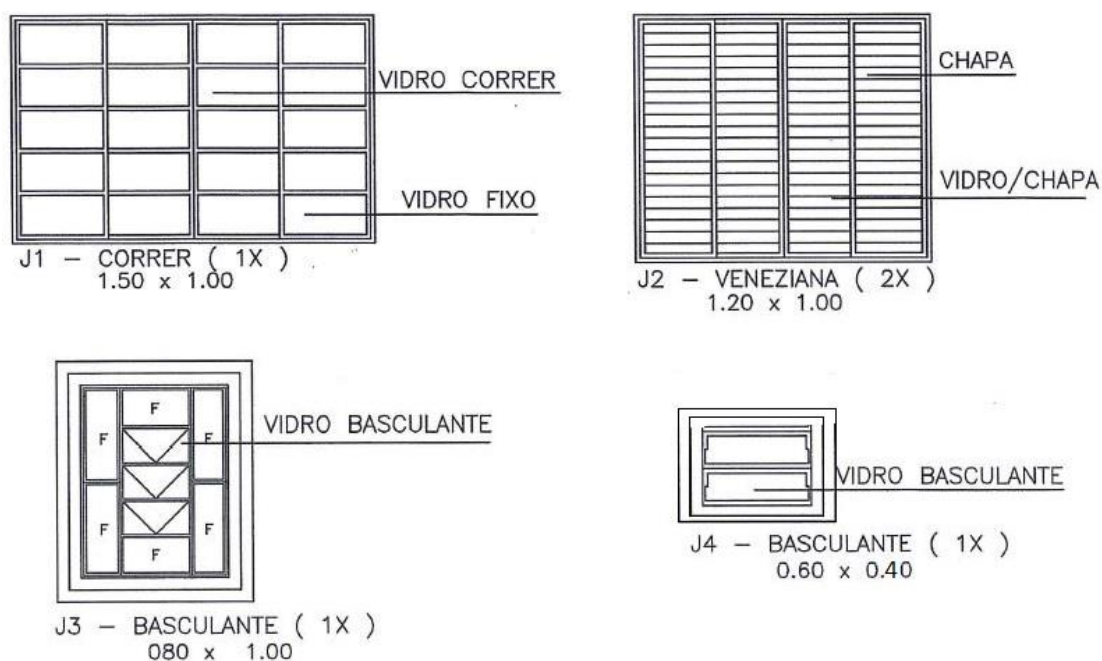
A cobertura da edificação é telhada com telhas cerâmicas, possuindo duas águas, e forro em PVC. O pé-direito da edificação é de 2,47 m.

As cores das paredes das habitações são bege podendo ter detalhe vermelho, verde ou azul.

Todas as janelas das residências são metálicas, seguindo 4 modelos, sendo J1 na sala, J2 nos dormitórios, J3 na cozinha e J4 no banheiro, assim como suas respectivas aberturas conforme mostra a Figura 11. Nenhuma das aberturas possui sombreamento, exceto o beiral de 0,50 m ao redor de toda a edificação, mas numa altura relativamente alta para proporcionar sombreamento às aberturas.



Figura 11 – Janelas da residência em estudo.



Fonte: Adaptado de (AGEHAB, 2015).

A Tabela 7 indica as áreas do ambiente, e a Tabela 8 as áreas de abertura da residência.

Tabela 7 – Área dos ambientes da residência

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )
Sala	11,28
Cozinha	4,77
Quarto 1	8,76
Quarto 2	7,60
Banheiro	2,77

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Tabela 8 – Área das aberturas da residência

Aberturas	Área (m <sup>2</sup> )
Janelas Quartos 1 e 2 Iluminação (70 % do total)	0,84
Janelas Quartos 1 e 2 Ventilação (40 % do total)	0,48
Janela Sala Iluminação	1,50
Janela Sala Ventilação (40 % do valor total)	0,60
Janela Cozinha Iluminação (65 % do valor total)	0,52
Janela Cozinha Ventilação (70 % do valor total)	0,56
Janela Banheiro Iluminação (65 % do valor total)	0,156
Janela Banheiro Ventilação (70 % do valor total)	0,168
Área das Portas	1,64

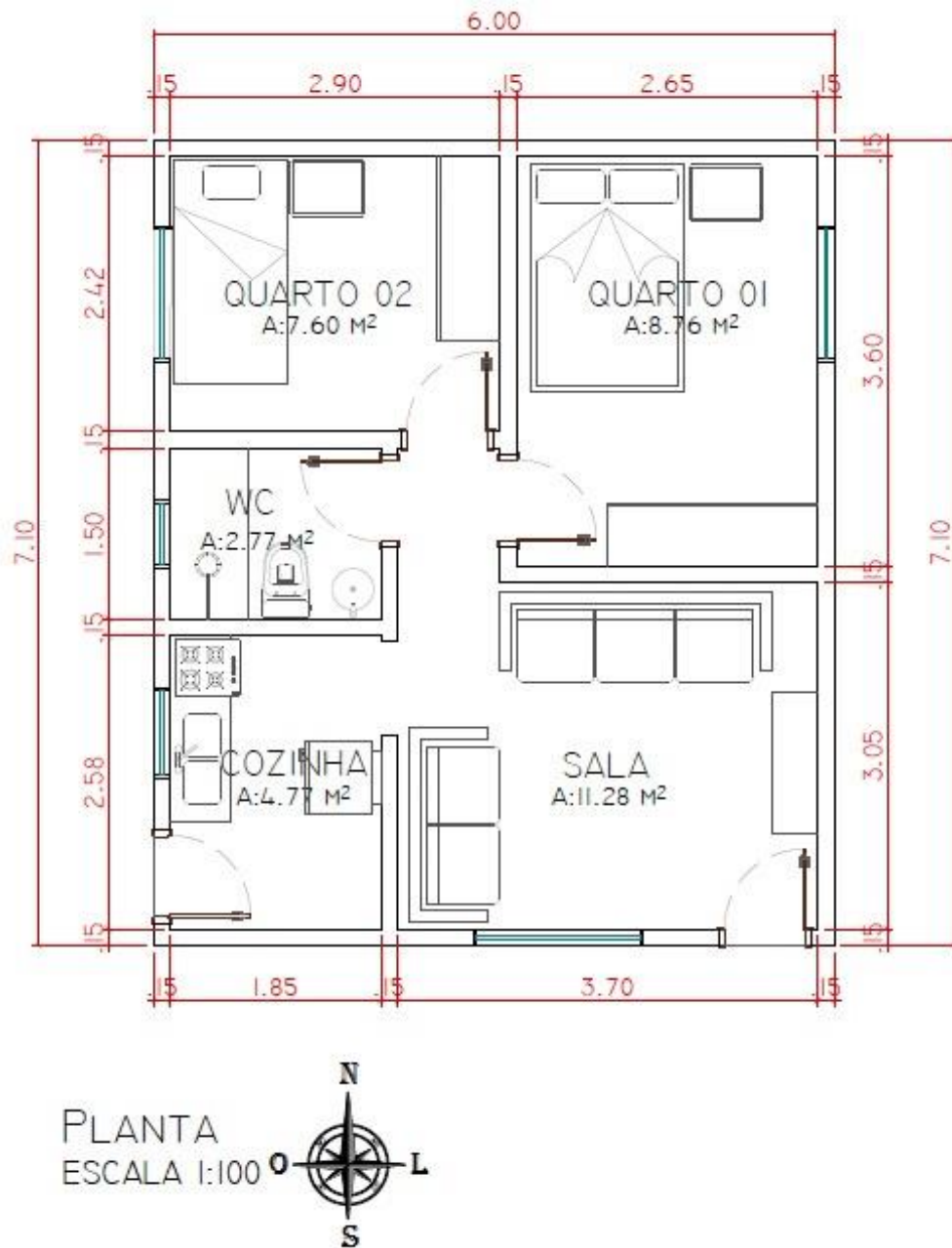
Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

As áreas das janelas para iluminação quando a janela é basculante, como é o caso da janela da cozinha e do banheiro, considera-se 65 % do valor da área da janela, já para a ventilação considera-se 70 % do valor total se o ângulo da janela para a ventilação for 45°, como é o caso das janelas em questão, conforme o regulamento. Quando o material da janela não é todo de vidro, como é o caso das janelas dos quartos, em que parte da janela é de vidro e a outra parte é chapa fixa, tem-se que, de acordo com o RTQ-R, a área de iluminação é 70 % do valor da área da janela e a área de ventilação é 40 % do valor da área da janela.

Para as áreas das janelas para ventilação da sala, em que uma parte da janela é fixa e o outro móvel, tem-se que, de acordo com o RTQ-R, a área de ventilação é 40 % do valor total da área da janela.

Na Figura 12 tem-se a planta baixa da residência em estudo.

Figura 12 – Planta baixa da residência em estudo.



Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

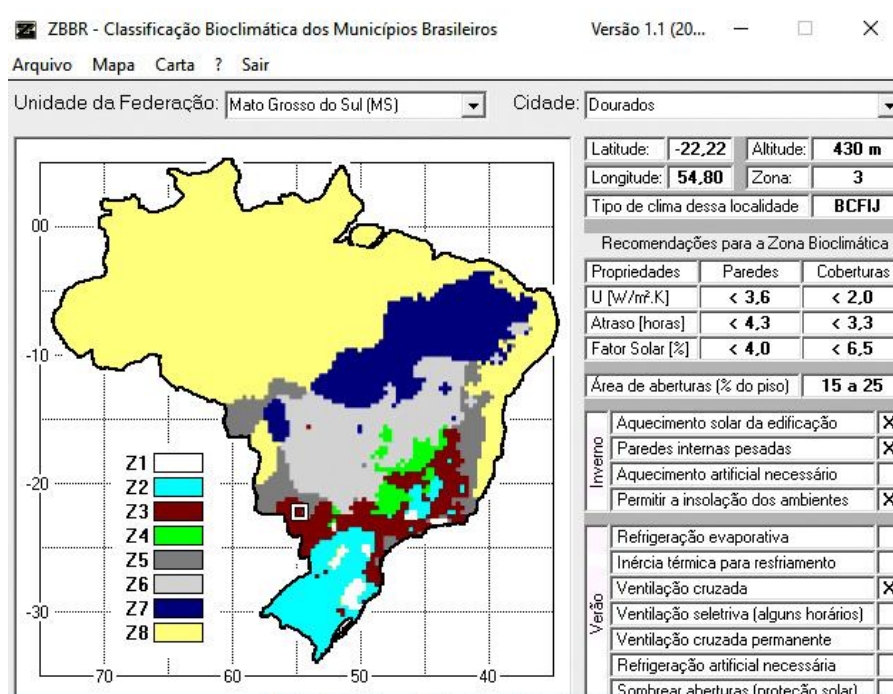
### 3.2. Avaliação da Residência através do RTQ-R

A avaliação da residência é feita através do método prescritivo do RTQ-R, onde será verificado o nível de eficiência.

### 3.2.1. Zona Bioclimática

Utilizou-se o software ZBBR do ano de 2004 desenvolvido pelo professor Maurício Roriz da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) para a determinação da Zona Bioclimática da edificação. São inseridos o estado e a cidade em que a edificação está localizada. Assim, na Figura 13 tem-se o resultado da inserção dos dados, constatando que Dourados – MS se encontra na Zona Bioclimática 3.

Figura 13 – Captura de tela do software ZBBR



Fonte: (Elaborado pela autora a partir do software ZBBR, 2017).

### 3.3.2. Verificação dos Pré-Requisitos Gerais

Para se obter os níveis de eficiência A ou B, conforme o RTQ-R, tendo mais de uma unidade habitacional autônoma no mesmo lote, estas devem possuir medição individual de água e eletricidade. Como a residência atende esse pré-requisito, então está apta a receber o nível A ou B de eficiência energética.

### 3.3.3. Ventilação natural

Exige-se para Ambiente de Permanência Prolongada (APP) um percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação, conforme mostra a Tabela 9. O não cumprimento a este pré-requisito resulta em um nível de eficiência máximo C (EqNum = 3) para refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig).

Tabela 9 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente para a Zona Bioclimática 3

Percentual de abertura para ventilação em relação à área de	
Ambiente	piso (A)
	Zona Bioclimática 3
<b>Permanência Prolongada</b>	$A \geq 8 \%$

Fonte: (BRASIL, 2012).

Na Eq. 1 abaixo tem-se o cálculo do percentual de áreas de abertura para ventilação natural.

$$A = 100 \left( \frac{A_v}{AU_{amb}} \right) \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo:

A: percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%);

$A_v$ : área de abertura para ventilação ( $m^2$ );

$AU_{amb}$ : área útil do ambiente ( $m^2$ ).

Obs.: As portas não entram nesse cálculo, pois não são utilizadas para ventilação.

Para a Zona Bioclimática 3, exige-se ventilação cruzada por escoamento do ar entre as aberturas de pelo menos duas fachadas distintas. Assim, para o atendimento deste pré-requisito, utiliza-se a Equação 2.

$$\frac{A_2}{A_1} \geq 0,25 \quad \text{Eq. (2)}$$

Sendo:

A<sub>1</sub>: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>);

A<sub>2</sub>: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m<sup>2</sup>).

### **3.3.4. Iluminação natural**

A disponibilidade de iluminação natural para APP deve ser assegurada por uma ou mais aberturas para o exterior, sendo que a soma das áreas dessas aberturas deve ser no mínimo 12,5 % da área total do ambiente em questão. O não cumprimento a este pré-requisito resulta em um nível de eficiência máximo C para os equivalentes numéricos de refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig) e aquecimento (EqNumAmbA).

### **3.3.5. Avaliação da Envoltória**

#### *3.3.5.1. Absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica*

Para os pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas e coberturas de APP, é necessário que estas atendam a Tabela 10, conforme a Zona Bioclimática 3. O não cumprimento a este pré-requisito resulta em um nível de eficiência máximo C (EqNum = 3), para aquecimento (EqNumEnvAmbA) e para refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig).

Tabela 10 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 3

Zona Bioclimática	Componente	Tipo	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância Térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Capacidade Térmica kJ/(m <sup>2</sup> .K)
3	Parede	Leve	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		Pesada	$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Leve	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
		Pesada	$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: (BRASIL, 2012).

### 3.3.5.2. Indicador Graus-Hora para Resfriamento e Consumo Relativo para Aquecimento dos Ambientes da UH

Conforme o regulamento, tem-se a opção de se calcular o nível de eficiência de uma Unidade Habitacional (UH) por meio de simulação ou por equações regressivas. Assim, escolheu-se o método por equações regressivas, sendo que já foi escolhido o método prescritivo.

Primeiramente, calculou-se os equivalentes numéricos para cada ambiente especificado anteriormente – EqNumEnvAmbResf, EqNumEnvAmbA e EqNumEnvAmbRefrig – por meio da determinação do GH<sub>R</sub>, C<sub>A</sub> e C<sub>R</sub>. Abaixo, na Tabela 11, tem-se as equações utilizadas de acordo com o RTQ-R.

Tabela 11 – Equações utilizadas para a determinação da eficiência energética, de acordo com o RTQ-R, para a Zona Bioclimática 3.

Zona Bioclimática	Equivalente Numérico	Indicador	Equação
3	EqNumEnvAmbResf	GHR	ANEXO A
	EqNumEnvAmbA	CA	ANEXO A

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Para o cálculo do EqNumEnv foi utilizado uma planilha desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações – CB3E, sendo disponibilizada e testada pelo LabEEE (2012a), contemplando todas as equações do método prescritivo, essas equações podem ser vistas no ANEXO A: “RTQ-R – Método Prescritivo (UH): Cálculo do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento e Cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento”. Nessa planilha contém todos os cálculos do equivalente numérico para resfriamento e aquecimento e de refrigeração para todas as Zonas Bioclimáticas, com isso deve-se inserir todas as variáveis correspondentes à equação.

### 3.3.5.3. Equivalente numérico da envoltória

Pelo método prescritivo, tem-se que o equivalente numérico da envoltória é necessário para que a Equação 4 seja calculada. Assim, na Equação 3 tem-se o cálculo do Equivalente Numérico, que utiliza a ponderação dos resultados de EqNumEnvAmb<sub>Resf</sub> e EqNumEnvAmb<sub>A</sub>.

$$EqNumEnv = 0,64 \cdot EqNumEnvAmbResf + 0,36 \cdot EqNumEnvAmbA \quad Eq. (3)$$

Sendo:

EqNumEnv: Equivalente Numérico da Envoltória;

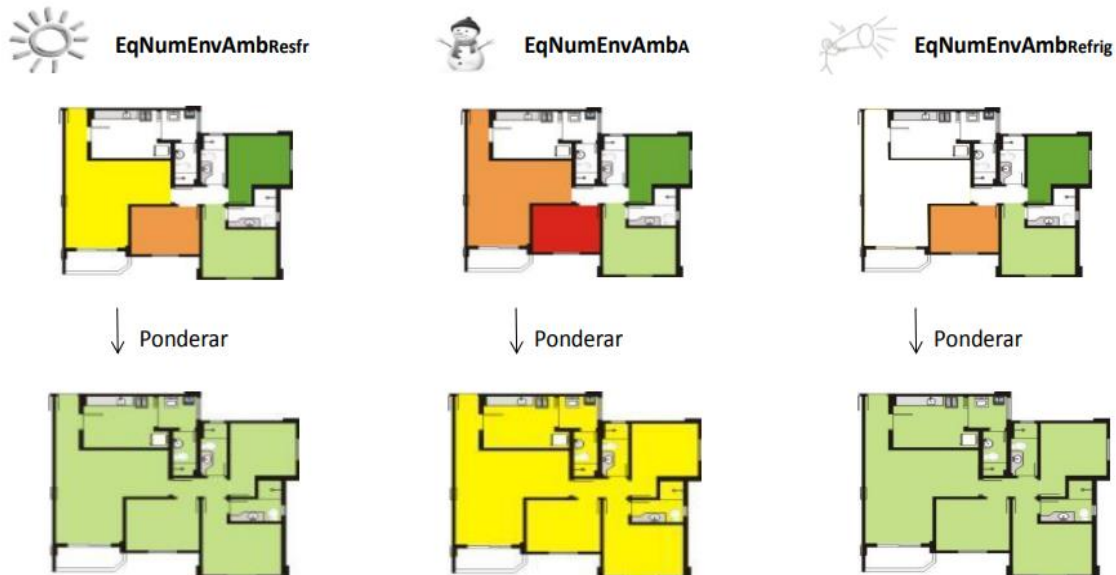
EqNumEnvAmb<sub>Resf</sub>: Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Resfriamento;

EqNumEnvAmb<sub>A</sub>: Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Aquecimento.



A Figura 14 mostra como fica o EqNumEnv ponderado, ou seja, referente à edificação inteira.

Figura 14 – Ponderação dos Equivalentes Numéricos



Fonte: (LAMBERTS, 2010).

#### 3.3.5.4. Obtenção dos resultados da eficiência

O nível de eficiência energética é obtido através da Equação 4, sendo a classificação geral da residência.

$$PTUH = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad \text{Eq. (4)}$$

Sendo:

a: coeficiente de acordo com a região geográfica, para a região da residência em análise, centro-oeste, o valor do coeficiente é 0,65.

PTUH: Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional Autônoma;

EqNumEnv: Equivalente Numérico da Envoltória;

EqNumAA: Equivalente Numérico do sistema de Aquecimento de Água;

Bonificações: são pontuações atribuídas a iniciativas que podem aumentar o nível de eficiência da residência.

O EqNumEnv é calculado através da Equação 3.

O EqNumAA para a Zona Bioclimática 3, se a residência não utilizar equipamento de energia solar para o aquecimento da água, é atribuído o seu equivalente numérico mínimo, 1 (um). Se a residência tiver equipamento de aquecimento de água, pode-se aumentar o equivalente numérico até 5 (cinco), podendo aumentar o nível de eficiência da residência.

### **3.3.6. Bonificações**

Com as bonificações pode-se melhorar o nível de eficiência da residência, sendo que este valor não ultrapassa 1 (um).

#### *3.3.6.1. Bonificação de ventilação natural*

Trata-se de uma bonificação que varia de 0 a 0,40 pontos no nível de eficiência da edificação, se dividindo em quatro partes: A) porosidade das fachadas; B) utilização de dispositivos especiais que aumentam o desempenho da ventilação; c) presença de aberturas externas baixas e D) permeabilidade das aberturas intermediárias.

Para a porosidade das fachadas, em uma unidade habitacional de até dois pavimentos – como é o caso do objeto de estudo – deve-se ter que a razão entre a soma das áreas das aberturas e a área da fachada seja maior que 20 % em pelo menos duas fachadas da edificação, podendo obter 0,12 pontos de bonificação.

Os dispositivos especiais que aumentam o desempenho da ventilação são dispositivos que controlam a luz natural, as chuvas e os raios solares, como por exemplo a utilização de venezianas móveis, podendo obter 0,16 pontos de bonificação.

Aberturas externas baixas são aberturas cujo vão livre tem o centro geométrico localizado entre 0,40 m e 0,70 m em todos os ambientes de permanência prolongada, com isso obtém-se 0,06 pontos de bonificação.

### 3.3.6.2. *Bonificação de iluminação natural*

Podem ser acrescidos até 0,30 pontos de bonificação de iluminação natural no nível de eficiência da edificação. Atribui-se 0,10 pontos se cada APP, cozinha e área de serviço apresentarem refletância do teto acima de 60 %.

Recebem 0,20 pontos de bonificação se a maioria dos ambientes de permanência prolongada tiverem profundidade máxima determinada por meio da Equação 5. Para ambientes com várias aberturas em paredes diferentes, considera-se a de menor profundidade.

$$P \leq 2,4 \cdot h_a \quad \text{Eq. (5)}$$

Sendo:

P: profundidade do ambiente (m);

$h_a$ : distância medida entre o piso e a altura máxima de abertura para iluminação, sem os caixilhos (m).

### 3.3.6.3. *Bonificação de uso racional de água*

Utilização de sistemas e equipamentos que racionalizem a utilização da água, como chuveiros com regulador de pressão, sanitários com descarga de duplo acionamento, torneiras com temporizadores, aproveitamento de água pluvial para descarga de bacias sanitárias, irrigação de jardins, limpeza de áreas externas e fachadas. Com a utilização de um desses sistemas pode-se obter 0,20 pontos de bonificação.

### 3.3.6.4. *Bonificação de condicionamento artificial de ar*

Atribuem-se 0,20 pontos de bonificação para as unidades habitacionais que atingirem nível A de eficiência quando condicionada artificialmente, a pontuação é proporcional ao número de APPs que possuem condicionadores de ar com etiqueta nível A.

### *3.3.6.5. Bonificação de iluminação artificial*

Tem-se bonificação de até 0,10 pontos se as UHs possuírem, em todos os ambientes, 100 % das fontes de iluminação artificial com Selo PROCEL ou com eficiência superior a 75 lm/W. Se 50 % dessas fontes forem como o mencionado, então 0,05 pontos serão atribuídos.

### *3.3.6.6. Bonificação de ventiladores de teto*

Dois terços dos APPs das Zonas Bioclimáticas 2 a 8 devem possuir ventiladores de teto com Selo PROCEL para o recebimento de 0,10 pontos de bonificação.

### *3.3.6.7. Bonificação de refrigeradores*

Para o recebimento de 0,10 pontos de bonificação, as UHs devem ter instalados refrigeradores com Selo PROCEL, e ainda garantir as condições especificadas pelo fabricante, como a distância mínima recomendada para a ventilação da serpentina trocadora de calor localizada externamente.

### *3.3.6.8. Bonificação de medição individualizada*

Se as UHs possuírem sistema central de aquecimento de água com medição individualizada, atribui-se 0,10 pontos de bonificação.

Assim, tem-se a pontuação final obtida pela Equação 4. A Tabela 12 mostra a classificação do nível de eficiência de acordo com o PTUH.

Tabela 12 - Classificação do nível de eficiência de acordo com o número de pontos obtidos

<b>Pontuação (PT<sub>UH</sub>)</b>	<b>Nível de eficiência</b>
$PTUH \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PTUH < 4,5$	B
$2,5 \leq PTUH < 3,5$	C
$1,5 \leq PTUH < 2,5$	D
$PTUH < 1,5$	E

Fonte: (BRASIL, 2012).



## 4 RESULTADOS DE CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R.

### 4.1. Verificação do atendimento aos pré-requisitos

Primeiramente foi identificado quais são os Ambientes de Permanência Prolongada (APP), sendo estes a sala, quarto 1 e quarto 2.

Foi encontrado o valor de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) para as paredes. Na Tabela 13 se encontram os dados referentes à absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as paredes e coberturas estipuladas pelo RTQ-R com os respectivos valores calculados ou encontrados na NBR 15220.

A cobertura da edificação é composta por forro PVC de 1 cm de espessura com telha cerâmica e as paredes externas são compostas por tijolos de 8 furos, assentados na menor dimensão, tendo espessura de 15 cm.

Tabela 13 – Absortância Solar ( $\alpha$ ), Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT)

	<b>RTQ-R</b>	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
Paredes	<b>Valor encontrado</b>	$\alpha = 0,277$ Cor vanila ver ANEXO B	$U = 2,24$ Tijolo 8 furos espessura 15 cm (NBR 15220-2)	$CT = 167$ (NBR 15220-2)
Cobertura	<b>RTQ-R</b>	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT =$ Sem exigência
	<b>Valor encontrado</b>	$\alpha = 0,75$ Telha cerâmica espessura 1 cm (NBR 15220)	$U = 1,75$ Telha cerâmica forro PVC 1 cm (NBR 15220)	$CT = 21$ Telha cerâmica forro PVC 1 cm (NBR 15220)

Com os resultados da Tabela 13, observa-se que a UH cumpre os pré-requisitos do RTQ-R para as paredes, contudo não cumpre o pré-requisito para a cobertura, a absorvância da cobertura ficou acima do recomendado. Assim, com o não cumprimento a este pré-requisito,

tem-se em um nível máximo C (EqNum = 3) para os equivalentes numéricos da envoltória do ambiente.

#### 4.1.1. Ventilação Natural

##### i. Percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação

Na Tabela 14 consta os valores calculados para a ventilação natural, sendo este a relação entre a área útil do ambiente e a abertura para ventilação.

Tabela 14 – Percentual de aberturas de ventilação de cada APP

Ambiente	AUamb (m <sup>2</sup> )	A <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> )	A (%)	ZB3; A ≥ 8% Atende?	Nível máximo possível para a envoltória
Sala	11,28	0,60	5,32	Não	C
Quarto 1	8,76	0,48	5,48	Não	C
Quarto 2	7,60	0,48	6,31	Não	C

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Outro pré-requisito de ventilação natural é que 50 % dos banheiros da unidade habitacional tenham ventilação natural, como a residência tem um banheiro e este tem ventilação natural, então a UH atende este pré-requisito, tornando-se apto a obter nível máximo A para o mesmo.

Porém, como tem-se um nível máximo C para a abertura de ventilação (Tabela 14), então este nível que será considerado, pois não fora atendido todos os pré-requisitos.

#### 4.1.2. Ventilação Cruzada

É necessário verificar qual fachada da residência que contém o maior número de aberturas, sendo que portas não são consideradas. De acordo com a planta baixa da residência (Figura 12), verifica-se que a fachada com maior número de aberturas é a fachada Oeste, na



qual se tem as janelas da cozinha, do banheiro e do quarto 2; tendo um total de área efetiva de ventilação de 1,208 m<sup>2</sup> (0,56 m<sup>2</sup> + 0,168 m<sup>2</sup> + 0,48 m<sup>2</sup>).

Para as outras fachadas das demais orientações, tem-se que a área efetiva de ventilação é de 1,08 m<sup>2</sup>, sendo esta a soma da área de ventilação das janelas do quarto 1 e a da sala. A relação  $\frac{1,208}{1,08} > 0,25$  atende ao pré-requisito do RTQ-R.

#### 4.1.3. Iluminação Natural

A Tabela 15 apresenta o percentual de aberturas de iluminação de cada APP, sendo que foi calculado a relação entre a área de iluminação natural e a área útil do ambiente a ser analisado.

Tabela 15 – Percentual de aberturas de iluminação de cada APP

Ambiente	AUamb (m <sup>2</sup> )	Ailum (m <sup>2</sup> )	A (%)	A ≥ 12,5% Atende?	Nível máximo possível para a envoltória
Sala	11,28	1,50	13,30	Sim	A
Quarto 1	8,76	0,84	9,59	Não	C
Quarto 2	7,60	0,84	11,05	Não	C

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Observa-se que apenas o ambiente da Sala atendeu o pré-requisito de iluminação natural, porém os outros ambientes de permanência prolongada não atenderam o regulamento. Com isso, obtém-se o máximo nível C (EqNum = 3) nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente (EqNumAmb).

Abaixo na Tabela 16 tem-se um resumo do que foi analisado junto com o cumprimento ou não dos pré-requisitos da envoltória e o nível máximo obtido.

Tabela 16 – Verificação dos pré-requisitos da envoltória

Item	Atende?	Nível máximo possível para a envoltória
<b>Transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar</b>	Não	C
<b>Ventilação natural</b>	Não	C
<b>Ventilação cruzada</b>	Sim	A
<b>Iluminação natural</b>	Não	C

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

#### 4.2. Equivalente numérico da envoltória - EqNumEnv

Por meio do cálculo do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) tem-se a identificação de envoltórias mais eficientes, sendo que esse equivalente avalia como a envoltória impacta seu consumo de energia (SOTOPIETRA, 2012).

Para tal, utilizou-se a planilha de cálculo do desempenho da envoltória (método prescritivo) disponíveis no site do LabEEE, que já contempla todas as equações de todas as Zonas Bioclimáticas, planilha citada no tópico 3.3.5.2.

Elaborou-se a planilha para a facilitação dos cálculos de obtenção dos equivalentes numéricos de resfriamento, aquecimento e refrigeração para a envoltória da UHs. É necessário preencher a planilha e, após, os parâmetros são calculados automaticamente.

Primeiramente, deve-se identificar os Ambientes de Permanência Prolongada, sendo estes a Sala, Quarto 1 e Quarto 2. Assim, tem-se uma planilha preenchida para cada ambiente, calculando os indicadores de grau-hora para resfriamento ( $GH_R$ ) e consumos relativos para aquecimento ( $C_A$ ) e refrigeração ( $C_R$ ).

Na Tabela 17 tem-se a planilha modelo para o ambiente Sala, sendo que as planilhas para os outros ambientes de permanência prolongada se encontram no APÊNDICE A e APÊNDICE B.

Tabela 17 – Planilha avaliação da envoltória (SALA).

Zona Bioclimática	ZB	<b>DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a Zona Bioclimática da célula E10</b>	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	Sala
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	10,22
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1
	Contato com solo	adimensional	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,75
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	21,00
	αcob	adimensional	0,75
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,24
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	167,00
	αpar	adimensional	0,28
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	5,43
	LESTE	m <sup>2</sup>	7,53
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	1,50
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,27
	Somb	adimensional	0,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	11,28
	Pé Direito	m	2,47
	C altura	adimensional	0,242
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	vid	binário	
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>C</b>
			2459
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>C</b> 14,188
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>B</b> 11,104

Fonte: Adaptado de (LabEEE).

a) Situação do piso e cobertura:

Se o ambiente está em contato com o solo, preenche-se com  $solo = 1$ , se o ambiente está sob pilotis, então  $pil = 1$  e se o ambiente está com a cobertura voltada para o exterior,  $cob = 1$ , caso contrário do que foi mencionado, preenche-se com 0.

Todos os APPs estão com a cobertura exposta para o exterior e em contato com o solo, assim o valor inserido para  $cob$  e  $solo$  é 1. A residência não está sob pilotis, assim o valor inserido em  $pil$  é 0.

b) Ambiente:

Identificou-se a Zona Bioclimática seguindo a norma NBR 15220-3, sendo a ZB3 para a cidade de Dourados. Avalia-se a partir da área útil do ambiente (AUamb).

c) Cobertura:

Essa parte na planilha é sobre as características térmicas da cobertura. Se o ambiente possui cobertura voltada para o exterior, preenche-se com os dados da cobertura, mas se o ambiente não possuir cobertura voltada para o exterior, então  $U_{cob} = \alpha_{cob} = 0$  e  $CT_{cob} = 1$  (para efeito de cálculo da equação). No caso em estudo, todos os APPs têm a cobertura voltada para o exterior. Assim, os dados inseridos são os valores da cobertura listados na Tabela 13.

d) Paredes externas:

Para o preenchimento são requisitadas as características térmicas das paredes externas, como a transmitância térmica ( $U_{par}$ ), capacidade térmica ( $CT_{par}$ ) e absorvância térmica ( $\alpha_{par}$ ), sendo que os dados inseridos também são os valores listados na Tabela 13.

e) Característica construtiva

A capacidade térmica é considerada baixa para valores abaixo de  $50 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ , sendo  $CT_{\text{baixa}}$  na planilha.

A capacidade térmica é considerada alta para valores acima de  $250 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ .

Preenche-se com 0 (zero) se a capacidade térmica dos fechamentos do ambiente for entre  $50$  e  $250 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ , e se for valores abaixo de  $50 \text{ kJ/m}^2\text{K}$  ou acima de  $250 \text{ kJ/m}^2\text{K}$  preenche-se com 1 (um). Como a capacidade térmica das paredes dos ambientes da residência é 167, sendo um valor entre  $50$  e  $250 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ , o valor preenchido é 0 (zero).

f) Áreas de Paredes Externas do Ambiente

São preenchidos os valores das áreas das paredes externas de cada orientação (Norte, Sul, Leste, Oeste), desconsiderando a área das aberturas. Quando as paredes não são externas, é inserido o valor 0.

g) Áreas de aberturas externas

São preenchidos os valores das áreas das aberturas em contato com o exterior por orientação para cada APP.

h) Características das aberturas

O fator de ventilação da abertura da APP se designa como  $F_{\text{vent}}$  na planilha, sendo a relação entre a área de ventilação e a área da abertura, o valor inserido está em decimal. As áreas de ventilação das aberturas estão listadas na Tabela 8, e as áreas totais das aberturas dos ambientes podem ser definidas na Figura 11.

O fator de sombreamento da abertura se designa como  $somb$  na planilha, a residência não possui elementos de sombreamento na abertura, como presença de proteção solar, então  $somb$  é 0.

i) Características gerais

São inseridos na planilha as áreas das paredes internas (AparInt) para cada ambiente e também é inserido o pé-direito (PD = 2,47 m). O item C é calculado automaticamente.

j) Características do isolamento térmico

Para as Zonas Bioclimáticas mais frias (ZB1 e ZB2), esse item deve ser preenchido. Como a Zona Bioclimática da residência é ZB3, então não foi preenchido esse item na planilha.

k) Equivalente numérico da envoltória

Após o preenchimento da planilha tem-se o indicador de graus-hora para resfriamento (GHR), o consumo relativo para aquecimento ( $C_A$ ) e o consumo relativo para refrigeração ( $C_R$ ) de cada APP. Os resultados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores de GHR,  $C_A$  e  $C_R$  para a unidade habitacional em análise

Ambiente	GHR (°C.h)	$C_A$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$C_R$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Sala	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
	<b>2459</b>	<b>14,188</b>	<b>11,104</b>
Quarto 1	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<b>3080</b>	<b>11,609</b>	<b>14,755</b>
Quarto 2	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<b>3084</b>	<b>10,782</b>	<b>16,515</b>

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Segundo o RTQ-R, o equivalente numérico desses níveis é 5 para nível A, 4 para nível B, 3 para nível C, 2 para nível D e 1 para nível E. Tendo isso em vista, a próxima etapa foi obter o equivalente numérico da envoltória para resfriamento (EqNumEnv<sub>Resf</sub>) e o equivalente numérico da envoltória para aquecimento (EqNumEnv<sub>A</sub>) da habitação como um todo. Ainda, de acordo com o RTQ-R, o Equivalente numérico da envoltória para refrigeração (EqNumEnv<sub>Refrig</sub>) representa o desempenho da envoltória quando condicionada artificialmente.

Este equivalente numérico, entretanto, é apenas informativo e não entra no cálculo do desempenho da envoltória.

Dessa forma, para a obtenção do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) deve-se fazer a ponderação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes (EqNumEnvAmb) por suas áreas úteis (Tabela 19 e 20).

Tabela 19 – Ponderação do EqNumEnv<sub>Resf</sub>

<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>EqNumEnv Amb<sub>Resf</sub></b>	<b>Área ponderada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>EqNumEnv Amb<sub>Resf</sub> ponderado</b>	<b>EqNum Env<sub>Resf</sub></b>	<b>Nível de Eficiência (Envoltória para Verão)</b>
<b>Sala</b>	10,22	3	0,4006	1,2018	3,5994	B
<b>Quarto 1</b>	8,28	4	0,3246	1,2984		
<b>Quarto 2</b>	7,01	4	0,2748	1,0992		

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Tabela 20 – Ponderação do EqNumEnv<sub>A</sub>

<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>EqNumEnv Amb<sub>A</sub></b>	<b>Área ponderada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>EqNumEnv Amb<sub>A</sub> ponderado</b>	<b>EqNum Env<sub>A</sub></b>	<b>Nível de Eficiência (Envoltória para Inverno)</b>
<b>Sala</b>	10,22	3	0,4006	1,2018	2,4006	D
<b>Quarto 1</b>	8,28	2	0,3246	0,6492		
<b>Quarto 2</b>	7,01	2	0,2748	0,5496		

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Observa-se, através da Tabela 20, que o EqNumEnv<sub>Resf</sub> obteve um nível de eficiência B, porém os equivalentes numéricos podem receber no máximo um nível de eficiência C (EqNumEnv = 3), devido ao não atendimento de alguns pré-requisitos gerais, como o não cumprimento aos pré-requisitos para a cobertura, ventilação natural e iluminação natural, sendo que foi observado na Tabela 16. Assim, utiliza-se EqNumEnv<sub>Resf</sub> = 3.

Para que se obtenha a classificação da envoltória da unidade habitacional como um todo, deve-se utilizar o resultado do EqNumEnv<sub>Resf</sub> e EqNumEnv<sub>A</sub> obtido a partir da ponderação (Tabela 19 e 20) e após substituir na Equação 3, que é a equação para a Zona Bioclimática 3. A Tabela 21 mostra os detalhes para a obtenção do EqNumEnv.

Tabela 21 – Classificação final da envoltória

EqNumEnvResf	EqNumEnvA	EqNumEnv	Classificação Final da Envoltória
3,0000	2,4006	2,7842	<b>C</b>

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

### 4.3. Avaliação do Sistema de Aquecimento de Água

O sistema de aquecimento de água da residência é composto de chuveiro elétrico de potência de 7500 W. Conforme o RTQ-R, quando o sistema de aquecimento de água é constituído por chuveiro elétrico com potência acima de 4600 W, este receberá nível de eficiência E, com equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA) igual a 1.

### 4.4. Bonificações

Avaliou-se as bonificações a fim de aumentar o nível de eficiência da residência. Ao fim, as bonificações serão somadas a sua pontuação final.

#### 4.4.1. Bonificação de ventilação natural

Para se obter 0,12 pontos de bonificação, o valor da razão entre a área efetiva de abertura para ventilação e a área da fachada (porosidade) deve ser superior a 12 % em pelo menos duas fachadas com orientações diferentes, a área de ventilação das aberturas está apresentada na Tabela 8. A Tabela 22 mostra a porosidade das fachadas.



Tabela 22 – Porosidade das fachadas da residência em análise

<b>Orientação</b>	<b>Área de ventilação (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área da fachada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porosidade (%)</b>	<b>Atende?</b>
<b>Norte</b>	0,00	16,20	0,00	Não
<b>Sul</b>	0,60	14,98	4,00	Não
<b>Leste</b>	0,48	17,95	2,67	Não
<b>Oeste</b>	1,21	17,55	6,89	Não

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Como observado na Tabela 22, a residência não atende o requisito de porosidade em nenhuma das fachadas. Da mesma forma, a residência em análise também não possui dispositivos especiais que favoreçam o desempenho da ventilação natural e nem aberturas externas cujo vão livre tem o centro geométrico localizado entre 0,40 m e 0,70 m, assim, a residência não recebe nenhum ponto referente a bonificação de ventilação natural.

#### **4.4.2. Bonificação de iluminação natural**

A cor do teto de toda a residência é branca, sendo que essa cor tem refletância solar de 80 % (Dornelles, 2008). Assim, como a refletância é maior que 60 %, então a UH recebe 0,10 pontos de bonificação.

Pode-se adicionar 0,20 pontos de bonificação se a unidade habitacional apresentar, na maioria dos APPs, profundidade (distância entre a parede que contém a(s) abertura(s) para iluminação e a parede oposta a esta) máxima igual ou inferior a 2,4 vezes a altura da abertura de iluminação ( $h_a$ ). A Tabela 23 mostra que a residência atende a esse requisito da bonificação, adicionando 0,20 pontos.

Tabela 23 – Verificação do atendimento a bonificação de iluminação natural

Ambiente	Profundidade (m)	$h_a$ (m)	$P \leq 2,4 \times h_a$ (m)	Atende?
Sala	3,05	2,17	$3,05 \leq 5,21$	Sim
Quarto 1	2,65	2,17	$2,65 \leq 5,21$	Sim
Quarto 2	2,90	2,17	$2,90 \leq 5,21$	Sim

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

#### 4.4.3. Bonificação de medição individualizada

O sistema de medição de água é individualizado. Com o cumprimento desse requisito, tem-se 0,1 pontos de bonificação.

#### 4.4.4. Outras bonificações

A residência em estudo não receberá pontos das outras bonificações, pois não possui equipamentos para racionamento de água, e não são entregues instalados, ao fim da obra, com ventiladores de teto, refrigeradores, condicionadores de ar e lâmpadas.

Assim, o total de bonificações foi de 0,40 pontos.

#### 4.5. Classificação da UH

Para a classificação final da UH utilizou-se a Equação 4, sendo que esta equação depende dos valores dos equivalentes numéricos (EqNumEnv e EqNumAA), acrescido das bonificações. A Tabela 24 mostra os detalhes para a classificação final da UH, sendo que para a pontuação final o valor encontrado foi de 2,56, obtendo um nível C de eficiência. A Figura 15 mostra como ficaria a etiqueta ENCE para a residência em análise.

Tabela 24 – Pontuação final da UH

EqNumEnv	EqNumAA	Bonificação	PTUH	Classificação Final
2,7842	1	0,40	2,56	<b>C</b>

Fonte: (Elaborado pela autora, 2017).

Figura 15 – Simulação da ENCE para a residência em estudo.



Fonte: Adaptado de (Brasil, 2013).



## 5. ALTERAÇÕES PROPOSTAS

### 5.1. Absortância solar

A cor da tinta utilizada para a pintura das paredes externas da unidade habitacional é a cor vanila, de absortância solar  $\alpha = 0,277$ , assim sugere-se alterar para a cor branco neve, que tem um valor de absortância menor ( $\alpha = 0,102$ , ver ANEXO B). De acordo com Dornelles (2008), materiais que apresentam baixas absortâncias reduzem os ganhos de calor solar quando usados como revestimento no envelope construtivo, permitem a redução de temperaturas superficiais nos edifícios, minimizando a necessidade de energia para refrigeração em edificações artificialmente condicionadas e tornando mais confortáveis edificações não condicionadas.

Dessa forma, o valor proposto da absortância foi inserido na planilha, com isso, na Tabela 25 tem-se os resultados.

Tabela 25 – Alteração da absortância

Ambiente	$\alpha = 0,277$			$\alpha = 0,102$		
	GHR	CA	CR	GHR	CA	CR
Sala	2459	14,188	11,104	2196	14,706	10,002
Quarto 1	3080	11,609	14,755	2806	12,138	13,702
Quarto 2	3084	10,782	16,515	2850	11,318	15,436

Fonte: (Elaborado pela autora, 2018).

Com a alteração da absortância não foi observado alteração no nível de eficiência (nível C), porém, a Tabela 25 revela que alterando a absortância de 0,277 para 0,102 houve uma redução de cerca de 10 % nos valores de GHR, ou seja, foi reduzido as horas em desconforto por calor. Revelou-se um aumento de cerca de 4 % nos valores de CA, ou seja, aumentou o consumo necessário para o aquecimento do ambiente, e houve um decréscimo de cerca de 9 % nos valores de CR, indicando um menor consumo necessário para a refrigeração do ambiente.

Assim, observa-se com as alterações dos valores, que essa alteração seria benéfica para a unidade habitacional, mesmo sem alterar o nível de eficiência.

## 5.2.Sombreamento das Aberturas

É sugerido o sombreamento das aberturas dos quartos, utilizando dois valores de *somb* na planilha de cálculo: 0,5 e 1,0, sendo que foi considerado brises bem dimensionados e venezianas. A Figura 16 mostra um exemplo da utilização de brises em janelas.

Figura 16 – Janelas com brises.



Fonte: (Empresa Keller & Cia, 2017).

Assim, para que seja utilizado esses valores fictícios, as janelas dos quartos devem ser sombreadas. A Tabela 26 mostra os resultados obtidos com a inserção do sombreamento nas aberturas. Foi observado apenas alteração de  $C_R$ , ou seja, da envoltória para verão, visto que o *somb* não interfere na equação para o  $EqNumEnvAmb_A$ .

Tabela 26 – Resultados obtidos variando o valor de *somb*

Ambiente	somb = 0		somb = 0,5		somb = 1	
	GHR	CR	GHR	CR	GHR	CR
Quarto 1	D	C	D	C	C	C
	3080	14,755	2559	13,841	2037	12,927
Quarto 2	D	C	D	C	C	C
	3084	16,515	2553	15,601	2021	14,688

Fonte: (Elaborado pela autora, 2018).

Com a variação do valor de *somb* não foi observado também a alteração no nível de eficiência total (nível C). Observou-se alterações no GHR e CR, sendo que com *somb* = 1 o nível de eficiência de GHR foi alterado de D para C. A alteração de *somb* = 0 para *somb* = 0,5, obteve uma redução de 17 % no valor de GHR e uma redução de 6 % no valor de CR. E a alteração de *somb* = 0 para *somb* = 1, obteve uma redução de 34 % no valor de GHR e uma redução de 12 % no valor de CR.

Assim, com a redução de 34 % no valor de GHR constatada para *somb* = 1, observou-se que com a utilização de dispositivos de sombreamento solar, as horas em desconforto por calor foi reduzida, sendo que essa redução foi maior que a observada na alteração da absorvância solar. Com isso, constatou-se que essa alteração proposta é mais benéfica que a alteração proposta no tópico anterior.

### 5.3. Aquecimento de Água

Somente com a alteração do sistema de aquecimento de água, o nível de eficiência da UH sobe para B, pois este sistema possui 35 % do peso final na nota da classificação. Como se trata de uma residência já existente, a maneira mais viável para obtenção da classificação B é o uso de equipamentos de aquecimento de água do tipo gás ou solar. Para isso é necessário que os equipamentos sejam com a ENCE A, tendo o EqNumAA = 5. Portanto, para efeitos de cálculo, adotou-se que os aquecedores fossem de passagem com nível A de classificação

segundo o PROCEL para que seja realizada a avaliação final da UH. A residência obteria 3,96 pontos, de acordo com a Tabela 27.

Tabela 27 – Alteração do sistema de aquecimento de água.

<b>EqNumEnv</b>	<b>EqNumAA</b>	<b>Bonificação</b>	<b>PT<sub>UH</sub></b>	<b>Classificação Final</b>
2,7842	5	0,40	3,96	<b>B</b>

Fonte: (Elaborado pela autora, 2018).

#### 5.4. Bonificações

A UH também poderia, facilmente, adotar medidas para o aumento do nível de eficiência por meio das bonificações. Como, por exemplo, a instalação de bacias sanitárias com acionamento duplo (0,10 pontos), entrega da UH com lâmpadas (0,10 pontos) e refrigeradores (0,10 pontos) com Selo PROCEL, entrega da UH com ventiladores de teto (0,10 pontos) instalados nos APPs, e existência de janelas cujo vão livre tem o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70 m medidos a partir do piso (0,06 pontos), teria um acréscimo de 0,56 pontos extras na bonificação existente ( $0,40 + 0,56 = 0,96$  pontos).

Com a obtenção dessas bonificações, aliado a alteração do sistema de aquecimento de água, pode-se obter um nível máximo de eficiência, como mostra a Tabela 28.

Tabela 28 – Bonificações aliado a alteração do sistema de aquecimento de água.

<b>EqNumEnv</b>	<b>EqNumAA</b>	<b>Bonificação</b>	<b>PT<sub>UH</sub></b>	<b>Classificação Final</b>
2,7842	5	0,96	4,52	<b>A</b>

Fonte: (Elaborado pela autora, 2018).



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo a aplicação do método prescritivo do RTQ-R na avaliação da eficiência energética de uma habitação de interesse social localizada na cidade de Dourados – MS. Foi utilizado como auxílio a “Planilha de cálculo do desempenho da UH – Método Prescritivo” desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações – CB3E.

A avaliação da eficiência energética resultou em uma classificação razoável, nível C, para a classificação final da unidade habitacional. Esse resultado deu-se em consequência ao não atendimento imediato de alguns pré-requisitos do RTQ-R, como a absorvância das paredes da habitação. Ainda, neste caso, o sistema de aquecimento de água da residência e as bonificações foram fatores determinantes para a classificação obtida.

Assim, com a elaboração deste trabalho obteve-se uma proximidade expressiva com o método utilizado pelos regulamentos que tem por finalidade avaliar a qualidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais. Com isso, foi possível alcançar alguns questionamentos e buscar soluções dos problemas encontrados durante a análise da UH.

Em busca de melhorar o nível de eficiência energética da residência foram adotadas várias propostas de forma a aumentar o nível C para nível B ou A. Dessa forma, foi adotado um valor menor de absorvância solar, ou seja, a utilização da cor branca nas paredes externas. Isso não alterou o nível de eficiência, mas diminuiu o valor final dos graus-hora de resfriamento, reduzindo as horas em desconforto por calor. Foi proposto também a utilização de dispositivos de sombreamento nas aberturas, também não alterou-se o nível de eficiência, mas foi observado uma redução de cerca de 34 % do valor dos graus-hora de resfriamento, sendo uma redução maior do que a encontrada na alteração da absorvância solar.

Observou-se que, para o método prescritivo, o sistema de aquecimento de água é muito importante, sendo que equivale a 35 % do peso para a pontuação total do nível de eficiência. Tendo isso em vista, pode-se dizer que o método prescritivo deixa de levar em consideração outros aspectos importantes para o conforto ambiental, levando mais em conta apenas o sistema de aquecimento de água. Se, por exemplo, uma UH obteve o nível de eficiência D ou B, pode ser rebaixada para o nível E se o sistema de aquecimento de água for por chuveiro elétrico.

Com isso, muitos usuários também não dariam importância para as possíveis soluções construtivas que podem aumentar o nível de eficiência, visto que essas soluções não aumentam o nível de classificação. O sistema de aquecimento de água é um aliado para a economia de energia, porém outras soluções podem ser mais importantes que essa medida.

Sangoi (2015) fez um estudo comparativo do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais por meio de simulação computacional, foi constatado que o chuveiro elétrico obteve bons resultados em vários critérios de desempenho analisados, fazendo uma crítica ao RTQ-R que penaliza o chuveiro elétrico com os piores níveis de eficiência. Também foi verificado que os sistemas que são classificados com nível A, como aquecedor a gás individual e aquecimento solar com resistência elétrica no reservatório, apresentam um alto consumo de energia primária juntamente com um elevado custo de instalação e de operação. Por isso recomenda-se que os requisitos e a metodologia de avaliação do RTQ-R sejam revisados, incentivando a utilização de sistemas realmente eficientes, que proporcionem economia financeira para o usuário e redução do consumo energético do país.

Pensando assim, seria interessante se o RTQ-R tivesse um maior rigor e maiores exigências para que se atinja o nível máximo de eficiência, não dando um peso muito alto para o sistema de aquecimento de água, por exemplo. Pois às vezes uma UH pode ter o melhor sistema de aquecimento de água e ainda sim ser uma casa sem conforto térmico, com pouca ventilação natural.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante a aplicação do método de simulação computacional, sendo que para este trabalho foi utilizado o método prescritivo. A simulação computacional é um método mais assertivo, pois é mais criteriosa na avaliação. Este trabalho também não buscou estabelecer parâmetros em termos dos custos das soluções de melhoria da eficiência energética. Assim, é sugerido a verificação da viabilidade na implementação destes recursos, utilizando como norte a busca pela eficiência energética residencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 15220/2005** – **Desempenho térmico de Edificações**. 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: **Desempenho de edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

AGEHAB – AGÊNCIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO POPULAR DE MATO GROSSO DO SUL. **Projeto do PMCMV 2**. Adquirido em: 2017.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008. 19 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria n° 18, 16 de janeiro de 2012**. Aprova revisão do Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Brasil, 2008. 236 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**: Premissas e diretrizes básicas. Brasília, DF. 2011. Disponível em: <  
<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Eficiência+Energética+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>> Acesso em 02 de janeiro de 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria n. 50/2013**: Requisitos da avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações. Brasília, DF. 2013. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001961.pdf>> Acesso em 08 de dezembro de 2017.

BUTERA, F. M. **Da caverna à casa ecológica: história do conforto e da energia**. São Paulo: Nova técnica Editorial, 2009. 319p.

CAIXA. **Minha Casa Minha Vida 2017**. Disponível em:

<<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=4550>> Acesso em 24 de maio de 2017.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da Eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DAVID, S. M. G. R. **Geração de energia elétrica no Brasil: Uma visão legal-regulatória sobre riscos para o desenvolvimento da atividade e mecanismos de incentivo estabelecidos pelo poder público**. 2013. 160p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DE SOUZA, A; GUERRA, J. C. C.; KRUGER, E. L. **Os Programas Brasileiros em Eficiência Energética como Agentes de Reposicionamento do setor elétrico**. Revista Tecnologia e Sociedade. 1ª ed. 2011.

DIAS, D. S.; SILVA, P. F. G. **Estudo de viabilidade da aplicação do programa PROCEL Edifica em edifícios comerciais já existentes: Estudo de caso em um edifício comercial de Curitiba**. 2010. 108 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de

Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ELETROBRÁS. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso**. Classe Residencial Relatório, Centro – Oeste. PROCEL, Rio de Janeiro RJ, 2007.

EMPRESA KELLER & CIA. **Brises**. Disponível em: <[https://fotos.habitissimo.com.br/foto/brise\\_519247](https://fotos.habitissimo.com.br/foto/brise_519247)> Acesso em 05 de janeiro de 2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015**. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)> Acesso em 03 de janeiro de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades – Dourados/MS**. 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=500370>> Acesso em 10 de dezembro de 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. Paris: OECD/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.observatoire-dunucleaire.org/IMG/pdf/2008-keyworld-aie.pdf>> Acesso em 10 de dezembro de 2016.

JORNAL FOLHA DO POVO. **Governador André Puccinelli inaugura nesta sexta-feira Residencial com 232 casas em Dourados**. 2014. Disponível em: <<http://www.folhadopovo.com.br/noticias/cidades/governador-andre-puccinelli-inaugura-nesta-sexta-feira-residencial-com-232-casas-em-dourados/>> Acesso em 07 de agosto de 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. PW Gráficos e Editores Associados Ltda, 3ª edição, 2010.

LIGHT Energia. 2012. Disponível em: <<http://www.light.com.br/grupo-light/SitePages/default.aspx>> Acesso em 10 de dezembro de 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética; Premissas e Diretrizes Básicas**. 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>> Acesso em 12 de maio de 2017.

OLIVEIRA, L. S.; SILVA, A. C. S. B. da; PINTO, M. M. **Definição das condições de contorno e critérios de avaliação de desempenho termo-energético de HIS**. In: 3º workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência energética em habitações de interesse social. Anais... Curitiba, 2012.

PÓVOA, M. C. B. L. **Fatores de influência na Eficiência Energética** – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010700.pdf>> Acesso em 03 de janeiro de 2017.

PROCEL. PROCEL Info – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Eficiência energética em edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em 12 de maio de 2017.

ROMAN, H. et al. **Normalização e certificação na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. 3v. (Coleção Habitare).

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC. São Carlos, 2012. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>> Acesso em 17 de junho de 2017.

SANGOI, J. M. **Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Florianópolis, SC, 2015.

SANTOS, I. G.; DE SOUZA, R. V. G. **Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas**. Revista Fórum Patrimônio. UFMG. 2008. Disponível em: <[http://www.forumpatrimonio.com.br/view\\_abstract.php?articleID=109&modo](http://www.forumpatrimonio.com.br/view_abstract.php?articleID=109&modo)> Acesso em 15 de janeiro de 2017.

SOTOPIETRA, B. **“Eficiência Energética de Edificações – Aplicação da Etiquetagem Procel Edifica em uma Edificação Residencial de Joinville”**. 2012. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina.

THE WORLD BANK. **Consumo de energia elétrica per capita anual**. 2013. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/brazil?locale=pt>> Acesso em 13 de fevereiro de 2017.

VIEIRA, A. S.; BIGI A. C.; BITTENCOURT, D. L.; GHISI, E.; FREITAS, M. N. de. **Identificação de estratégias para aumentar a eficiência energética de Habitações de Interesse Social localizadas na Grande Florianópolis: aplicação do RTQ-R**. In: 3º workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência em habitações de interesse social. Anais...Curitiba, 2012.





## GLOSSÁRIO

**Consumo relativo para Aquecimento ( $C_A$ ):** Consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22 °C (BRASIL, 2012).

**Consumo relativo para Refrigeração ( $C_R$ ):** Consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para refrigeração do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 24 °C (BRASIL, 2012).

**Graus-hora de Resfriamento ( $GHR$ ):** É determinado a partir da somatória da diferença da temperatura horária, quando esta se encontra superior a temperatura de base de 26°C para resfriamento (BRASIL, 2012).



**APÊNDICE A – Planilha preenchida para o Quarto 1.**

Ambiente	Identificação	adimensional	Quarto 1
		<b>Área útil do APP</b>	m <sup>2</sup>
Situação do piso e cobertura	<b>Cobertura</b>	adimensional	1
	<b>Contato com solo</b>	adimensional	1
	<b>Sobre Pilotis</b>	adimensional	0
Cobertura	<b>Ucob</b>	W/m <sup>2</sup> .K	1,75
	<b>CTcob</b>	kJ/m <sup>2</sup> .K	21,00
	<b>αcob</b>	adimensional	0,75
Paredes Externas	<b>Upar</b>	W/m <sup>2</sup> .K	2,24
	<b>CTpar</b>	kJ/m <sup>2</sup> .K	167,00
	<b>αpar</b>	adimensional	0,28
Característica construtiva	<b>CTbaixa</b>	binário	0
	<b>CTalta</b>	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	<b>NORTE</b>	m <sup>2</sup>	6,55
	<b>SUL</b>	m <sup>2</sup>	0,00
	<b>LESTE</b>	m <sup>2</sup>	5,93
	<b>OESTE</b>	m <sup>2</sup>	0,00
Áreas de Aberturas Externas	<b>NORTE</b>	m <sup>2</sup>	0,00
	<b>SUL</b>	m <sup>2</sup>	0,00
	<b>LESTE</b>	m <sup>2</sup>	1,20
	<b>OESTE</b>	m <sup>2</sup>	0,00
Características das Aberturas	<b>Fvent</b>	adimensional	0,40
	<b>Somb</b>	adimensional	0,00
Características Gerais	<b>Área das Paredes Internas</b>	m <sup>2</sup>	9,54
	<b>Pé Direito</b>	m	2,47
	<b>C altura</b>	adimensional	0,298
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	<b>isol</b>	binário	
	<b>vid</b>	binário	
	<b>Uvid</b>	W/m <sup>2</sup> .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	<b>GHR</b>	°C.h	<b>D</b>
			<b>3080</b>
Consumo Relativo para Aquecimento	<b>CA</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>B</b>
			<b>11,609</b>
Consumo Relativo para Refrigeração	<b>CR</b>	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>C</b>
			<b>14,755</b>

**APÊNDICE B – Planilha preenchida para o Quarto 2.**

Ambiente	Identificação	adimensional	Quarto 2
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	7,01
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1
	Contato com solo	adimensional	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,75
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	21,00
	αcob	adimensional	0,75
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,24
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	167,00
	αpar	adimensional	0,28
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	7,16
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	3,01
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	1,20
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,40
	Somb	adimensional	0,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	7,02
	Pé Direito	m	2,47
	C altura	adimensional	0,352
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	vid	binário	
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>D</b>
			3084
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>B</b>
			10,782
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>C</b>
			16,515

**ANEXO A – Cálculo do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento e Cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento para a Zona Bioclimática 3.**

**Graus-Hora para Resfriamento**

$$\begin{aligned}
 GH_{Resfr} = & (a) + (b \times CT_{baixa}) + (c \times \alpha_{cob}) + (d \times somb) + (e \times solo \times AU_{amb}) + (f \times \alpha_{par}) \\
 & + (g \times PD/AU_{amb}) + (h \times CT_{cob}) + (i \times AbS) + (j \times APambL \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (k \times AparInt \\
 & \times CT_{par}) + (l \times solo) + (m \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + (n \times F_{vent}) + (o \times AU_{amb}) + \\
 & (p \times SomApar) + (q \times AAbO \times (1-somb)) + (r \times AAbL \times F_{vent}) + (s \times CT_{par}) + (t \times AAbS \\
 & \times (1-somb)) + (u \times APambN \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (v \times pil) + (w \times PambO) + (x \times AAbN \times \\
 & sombra) + (y \times AbN) + (z \times PambN) + (aa \times APambN) + [ab \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times \\
 & AU_{amb}] + (ac \times cob \times AU_{amb}) + (ad \times CT_{alta}) + (ae \times U_{cob}) + (af \times APambS \times U_{par} \times \\
 & \alpha_{par}) + (ag \times PambL) + (ah \times AparInt) + (ai \times PD \times AU_{amb}) + (aj \times PambS) + (ak \times AAbS \\
 & \times F_{vent}) + (al \times AAbO \times F_{vent}) + (am \times AAbN \times F_{vent}) + (an \times APambO \times U_{par} \times \alpha_{par}) \\
 & + (ao \times APambS) + (ap \times AAbN \times (1-somb))
 \end{aligned}$$

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>Resfr</sub>	Condição (°C.h)
A	5	$GH_{Resfr} \leq 822$
B	4	$822 < GH_{Resfr} \leq 1.643$
C	3	$1.643 < GH_{Resfr} \leq 2.465$
D	2	$2.465 < GH_{Resfr} \leq 3.286$
E	1	$GH_{Resfr} > 3.286$

**Consumo Relativo para Aquecimento**

$$C_A = [(a) + (b \times CT_{par}) + (c \times AU_{amb}) + (d \times PambS) + (e \times CT_{baixa}) + (f \times solo) + (g \times pil) + (h \times U_{cob}) + (i \times \alpha_{par}) + (j \times CT_{cob}) + (k \times SomApar) + (l \times AAbS) + (m \times AbN) +$$

$$[n \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (o \times CT_{alta}) + (p \times U_{par}) + (q \times F_{vent}) + (r \times cob) + (s \times \alpha_{cob}) + (t \times PD) + (u \times SomAparExt \times CT_{par}) + (v \times APambN \times \alpha_{par}) + (w \times APambS \times \alpha_{par}) + (x \times PD/AU_{amb})]/1000$$

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>A</sub>	Condição (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	$CA \leq 4,285$
B	4	$4,285 < CA \leq 7,340$
C	3	$7,340 < CA \leq 10,396$
D	2	$10,396 < CA \leq 13,451$
E	1	$CA > 13,451$

## ANEXO B – TABELA DE ABSORTÂNCIAS

Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$	Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$
Acrilica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4	47		Pêssego	39,5	
	09		Concreto	74,5	Acrilica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrilica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,6		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9		59		Pêssego	35,0
	21		Branco Gelo	36,2		60		Telha	70,8
	22		Cinza	86,4		61		Vanila	23,9
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,6		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	53,2
	29		Preto	97,1		68		Cerâmica	65,3
	30		Telha	69,6		69		Concreto	71,6
	31		Terracota	68,4		70		Flamingo	44,4
	32		Verde Quadra	75,5		71		Marfim	24,5
	33		Vermelho	64,2		72		Palha	26,4
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3	73		Pérola	22,9	
	35		Amarelo Terra	61,4	74		Pêssego	29,8	
	36		Areia	39,0	75		Preto	97,4	
	37		Azul angra	32,3	76		Vanila	27,7	
	38		Bianco Sereno	26,6	77		Verde Musgo	79,8	
	39		Branco	11,1	78		Vermelho Cardinal	63,3	

\* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

\*  $\alpha$ : 300 a 2500 nm (Espectro solar total).

Fonte: (DORNELLES, 2008).