

Isadora Santos e Silva

**Análise do Desempenho Térmico e Lumínico de uma Unidade Habitacional:**  
Residencial Santos Dumont – Montes Claros

Belo Horizonte

2020

Isadora Santos e Silva

**Análise do Conforto térmico e Lumínico de uma Unidade Habitacional:  
Residencial Santos Dumont – Montes Claros**

**Versão Final**

Monografia apresentado ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Orientador: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

2020

**FICHA CATALOGRÁFICA**

S586a

Silva, Isadora Santos e.

Análise do desempenho térmico e lumínico de uma unidade habitacional [manuscrito] : Residencial Santos Dumont – Montes Claros / Isadora Santos e Silva. - 2020.

62 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Edifícios – Propriedades térmicas. 2. Edifícios - Iluminação. 3. Conforto térmico. 4. Arquitetura e clima. 5. Habitação popular. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
 ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG  
 Rua Paraíba, 697 – Funcionários  
 30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823

FAX (31) 3409-8822

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA ISADORA SANTOS E SILVA, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS**

Às 17:00 horas do dia 16 de junho de 2020, reuniu-se online, a Comissão Examinadora composta pela Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Orientadora-Presidente e pela professora Mestre Grace Cristina Roel Gutierrez, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso para avaliação da monografia intitulada "Análise do Desempenho térmico e Lumínico de uma Unidade Habitacional: Residencial Santos Dumont – Montes Claros " de autoria de Isadora Santos e Silva, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura após correções finais.

Nota: 85; Conceito: B

Belo Horizonte, 16 de junho de 2020

  
 Profa. Roberta Vieira Gonçalves de Souza  
 Orientadora-Presidente

  
 Profa Grace Cristina Roel Gutierrez  
 Membro Titular

## RESUMO

Esta monografia realiza a avaliação de desempenho térmico e lumínico de uma unidade habitacional unifamiliar típica do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O estudo de caso escolhido para esse trabalho foi uma unidade habitacional unifamiliar, projetada segundo as especificações para esta tipologia para a população com faixa de renda de 0 a 3 salários mínimos, no Residencial Santos Dumont na cidade de Montes Claros em Minas Gerais.

A primeira etapa consiste na avaliação segundo estabelecido para desempenho das envoltórias na NBR 15.220, NBR 15.575; e avaliação dos pré-requisitos da envoltória de transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das superfícies do RTQ-R. A segunda etapa consiste na avaliação das envoltórias segundo o método prescritivo do RTQ-R. Os níveis de eficiência notados pela avaliação do método prescritivo são baixos, sendo “C” o nível máximo obtido.

A etapa final consiste em propor alterações na unidade habitacional selecionada para o estudo de caso de forma a atingir a classificação “A” de nível de eficiência pelo método prescritivo do RTQ, para que, mantendo o custo reduzido das unidades, premissa básica do Programa Minha Casa Minha Vida, as unidades apresentem maior conforto e desempenho térmico e lumínico.

Palavras-chave: Desempenho térmico, desempenho lumínico, conforto ambiental, conforto térmico, conforto lumínico, habitação de interesse social, RTQ.

## ABSTRACT

This work propose is the evaluation of the performance of a typical social interest housing unit of Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). The case study chosen for this work was a unifamily housing unit, designed according to the minimum specifications for this typology for the population with income range from 0 to 3 minimum wages, in Santos Dumont Residencial, in the city of Montes Claros in Minas Gerais.

The first step consists of a evaluation according to established performance thermal envelopes of NBR 15.220 (ABNT, 2005), NBR 15.575 (ABNT, 2008); and evaluation of the prerequisites of the envelope transmittance, thermal capacity and thermal solar absorptance of surfaces RTQ-R (BRASIL, 2012a). The second step consists in evaluating the envelopes according to the Prescriptive Method RTQ-R (BRASIL, 2012a). The efficiency levels noted for the evaluation of prescriptive method are low and "C" is the maximum level obtained.

The final step is to propose changes to the housing unit selected in the study case in order to achieve the "A" classification of efficiency level by the prescriptive method of the RTQ, so that, while maintaining the reduced cost of the units, the basic premise of the Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), the units present greater thermal and lighting comfort and performance.

Key words: Thermal performance, luminous performance, ambient comfort, thermal comfort, luminous comfort, social interest housing, RTQ.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do empreendimento Residencial Santos Dumont do PMCMV faixa 1 em Montes. ....	23
Figura 2 - Localização dos empreendimentos do PMCMV faixa 1 na mancha urbana de Montes Claros. Verifica-se a ausência de conjuntos em áreas centrais e oeste da cidade, que são bem mais abastecidas de equipamentos urbanos, infraestrutura e serviços .....	23
Figura 3 - Diagrama de implantação do conjunto habitacional Santos Dumont com diferenciação de tipologias. ....	24
Figura 4 - Foto do conjunto habitacional Santos Dumont. ....	25
Figura 5 - Unidade geminada do Residencial Santos Dumont. ....	26
Figura 6 - Planta da unidade geminada do empreendimento do PMCMV faixa 1 Residencial Santos Dumont em Montes Claros. ....	27
Figura 7- Fachadas geminada do empreendimento do PMCMV faixa 1 Residencial Santos Dumont em Montes Claros. ....	28
Figura 8 - Esquadrias das unidades habitacionais. ....	31
Figura 9 - Cobertura das unidades. ....	34
Figura 10 - Paredes externas das unidades. ....	35
Figura 11 - Telha cerâmica rustica branca e mesclada. ....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas. ....	17
Tabela 2 - Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente.....	17
Tabela 3 - Planilha de cálculo do desempenho da UH - método prescritivo - Análise da envoltória dos ambientes da unidade 1.....	40
Tabela 4 - Pré-requisitos da envoltória por ambiente - unidade 1.....	41
Tabela 5 - Análise dos pré-requisitos da envoltória e equivalente numérico da envoltória - unidade 1.....	42
Tabela 6 - Análise das bonificações - ventilação natural - unidade 1.....	43
Tabela 7 - Análise das bonificações - Iluminação natural - unidade 1.....	44
Tabela 8 - Análise das Bonificações – Outras bonificações – unidade 1. ....	45
Tabela 9 - Pontuação total - unidade 1. ....	46
Tabela 10 - Análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes – unidade proposta. ....	51
Tabela 11 - Análise dos pré-requisitos da envoltória e equivalente numérico da envoltória – unidade proposta. ....	52
Tabela 12 - Análise da classificação final da UH - unidade proposta.....	53



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	JUSTIFICATIVA .....	10
2.1.	OBJETIVOS.....	11
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	12
3.1	CONFORTO AMBIENTAL .....	12
3.2	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA .....	13
3.3	DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.....	13
3.4	NBR 15220 .....	14
3.5	NBR 15 575 .....	14
3.6	RTQ-R.....	15
4	METODOLOGIA .....	19
5	ESTUDO DE CASO .....	20
5.1	MONTES CLAROS .....	20
5.1.1	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE MONTES CLAROS .....	21
5.2	CONJUNTO HABITACIONAL SANTOS DUMONT.....	22
5.3	UNIDADE HABITACIONAL.....	25
6	ANÁLISES.....	29
6.1	Calculo NBR 15575 (ABNT, 2013):.....	29
6.1.1	Transmitância térmica de paredes externas (U <sub>par</sub> ): .....	29
6.1.2	Capacidade térmica de paredes externas (CT <sub>par</sub> ): .....	29
6.1.3	Percentual de abertura de ventilação (PV <sub>APP</sub> ): .....	29
6.1.4	Área de abertura para elementos transparentes (Pt <sub>APP</sub> ) .....	32
6.1.5	Transmitância térmica das coberturas (U <sub>cob</sub> ).....	33
6.2	Calculo NBR 15220 (ABNT, 2005):.....	33
6.3	Análise do RTQ-R (BRASIL, 2012):.....	37
7	RESULTADOS .....	39
8	PROPOSTAS .....	47
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
10	REFERÊNCIAS.....	57

# 1 INTRODUÇÃO

Em 1940, apenas 31,2% da população brasileira residia nas cidades. Na década de 1970, trinta anos depois, entretanto, a população brasileira passou a ser majoritariamente urbana, com 55,9% dos brasileiros, mais de 50.000.000 (cinquenta milhões) de pessoas, residindo na área urbana. As pessoas que migraram da zona rural para os centros urbanos, por não terem acesso a habitação regular, acabaram ocupando de forma irregular as margens das áreas urbanas em busca de oportunidades de emprego na cidade (BENETTI, 2012).

Assim, as classes mais baixas foram cada vez mais afastadas do centro para as zonas periféricas em moradias irregulares sem infraestrutura básica. Esta situação foi ignorada pelo governo, agravando ainda mais o problema da habitação no país (GUIMARÃES, 2007). Em 2010, de acordo com o IBGE, 84.6% da população brasileira já era urbana.

Vários programas governamentais foram criados para conter o déficit habitacional nacional ao longo do tempo. Entretanto, o modo de agir destes programas não englobava a opinião dos beneficiários, impondo um modo de vida comum que não engloba a diversidade das famílias beneficiárias e do país, gerando conjuntos habitacionais e programas ineficientes e problemas socioeconômicos para as cidades após a ocupação dos mesmos (FERREIRA, 2012).

O déficit habitacional brasileiro, de acordo com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), era de 7.780.000 (sete milhões setecentos e oitenta mil) em 2017, dado que tem como base a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD), do IBGE. Sendo sua maior parte formado por famílias com renda de até três salários mínimos.

Em Montes Claros este déficit era de 10.760 (dez mil setecentos e sessenta) domicílios em 2010, destes 6.825 (seis mil oitocentos e vinte cinco) famílias estão na faixa de até três salários mínimos de renda de acordo com pesquisa da Fundação João Pinheiro (FJP) que utiliza os dados retirados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), divulgados pelo IBGE.

Vários empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foram construídos pelo Brasil. Contudo as unidades construídas apresentam tipologia muito similar, sem considerar as variações culturais e climáticas de todo o país (FERREIRA,

2012). De acordo com Marra (2017) Estas habitações de interesse social geralmente são edificações que apresentam baixo desempenho térmico em face da repetição das tipologias das edificações por todo o território nacional, conjuntamente ao baixo custo das obras, resultando em materiais e projetos de baixa qualidade, que podem gerar maior desconforto térmico.

O conforto ambiental é um ponto importante para a arquitetura, já que ela deve ser feita visando o bem-estar de seus usuários. Quando o organismo humano funciona sob fadiga e estresse isto resulta na perda de qualidade de vida. Uma boa arquitetura deve criar ambientes internos com boas condições de conforto, independente das condições climáticas externas (FROTA e SCHIFFER, 2001).

De acordo com Frota e Schiffer (2012) proporcionar, por meio da arquitetura, características que garantam uma edificação com conforto ambiental não significa que obrigatoriamente acontecerá um aumento no seu custo de construção, mas que o custo de manutenção e utilização serão menores, além de propiciar condições ambientais internas agradáveis aos ocupantes.

## **2 JUSTIFICATIVA**

O ambiente termicamente confortável proporciona aos usuários maior qualidade e eficiência nas suas atividades, de trabalho ou descanso. Entretanto a população de baixa renda, atendida pelos programas de habitação, como o PMCMV, não possui recursos para alterar as unidades de forma a adequá-las as condições climáticas locais, por isso é indiscutível a necessidade desses programas habitacionais pensarem no local no qual estão implantados.

Os projetos de habitações de interesse social no Brasil, PMCMV, preocupam quanto a sua qualidade, sendo a busca por baixo custo das empresas um dos principais objetivos, gerando construções em série com projeto que desconsideram as características do local de implantação das mesmas e as particularidades dos usuários. Após a ocupação dos residenciais constata-se a alta taxa de modificações nas edificações, devido ao erro no dimensionamento das unidades, aberturas e

ambientes e a pouca qualidade dos materiais empregados nas mesmas (FERREIRA, 2012).

Analisar o conforto térmico das habitações interesse social do estudo de caso proposto na presente monografia, Residencial Santos Dummont em Montes Claros, realizado pelo PMCMV faixa 1, pode-se gerar conteúdo para desenvolver diretrizes para a construção de novos conjuntos habitacionais ou residências mais adequadas àquele local de implantação e que proporcionem maior conforto térmico aos moradores.

## **2.1. OBJETIVOS**

### **1.1. GERAL**

Analisar o conforto ambiental térmico e luminoso de uma unidade habitacional em um residencial faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) e propor alterações visando o maior conforto térmico e luminoso nos ambientes internos das unidades habitacionais, visando o custo reduzido das unidades.

### **1.2. ESPECÍFICOS**

- 1.2.1.** Conceituar conforto ambiental (térmico e luminoso);
- 1.2.2.** Utilizar as definições e métodos constantes nas normas NBR 15575, NBR 15220 e no RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais;
- 1.2.3.** Levantar dados sobre o clima em Montes Claros;
- 1.2.4.** Levantar dados sobre o Residencial Santos Dummont;
- 1.2.5.** Analisar o impacto das superfícies, da envoltória e da cobertura das unidades do conjunto no conforto térmico interno das mesmas;
- 1.2.6.** Realizar cálculos para analisar o desempenho térmico das edificações;
- 1.2.7.** Propor alterações que proporcionem conforto térmico e luminoso nas unidades do conjunto;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir serão descritos os pressupostos teóricos básicos relacionados à temática estudada no presente trabalho.

#### 3.1 CONFORTO AMBIENTAL

Para Corbella e Yannas (2009), uma pessoa está confortável em relação a um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo, então uma pessoa está em um ambiente confortável quando se sente neutra em relação a ele.

O conforto ambiental relacionado à arquitetura e ao ambiente construído é composto pelo conjunto do conforto térmico, visual e acústico. O desconforto térmico é, geralmente, uma das maiores reclamações dentre os fatores que compõem o conforto ambiental, o calor excessivo provoca cansaço, reduz a atenção e aumenta a possibilidade de acontecerem erros ou acidentes. Existem diversos parâmetros e aspectos climáticos que modificam a sensação de conforto térmico como a temperatura, a umidade, a radiação infravermelha (dos elementos da construção próximo a pessoa, por exemplo), o movimento do ar, radiação solar, aspectos pessoais como o tipo de atividade exercida, o vestuário, a idade e o peso (CORBELLA e YANNAS, 2009).

O conforto visual está relacionado às condições visuais. De acordo com a tarefa que se executa em determinado ambiente deve se ter o nível adequado de luz, esse nível é indicado por norma para vários ambientes e tarefas diferentes. Além de cumprir com o nível de iluminação é necessário que não exista ofuscamento e grandes contrastes, que em excesso levam ao desconforto visual. As cores das superfícies e a boa distribuição da luz são pontos importantes (CORBELLA e YANNAS, 2009).

A arquitetura, de acordo com Ribeiro (2007) deve prover ambientes internos em condições de conforto térmico para os usuários, independente das condições do exterior. Para projetar estes ambientes confortáveis termicamente o local de implantação deve ser entendido, para que sejam feitas escolhas de soluções projetuais condizentes com o clima local (BORMIO, 2007).

### 3.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

O propósito da arquitetura bioclimática, conforme Corbella e Yannas (2009), é por meio de estratégias construtivas, criar um ambiente confortável, agradável e saudável, que seja adequado ao clima em que está inserido e que diminua o gasto energético, assim diminuindo a poluição gerada.

Para Serrador (2008) a arquitetura bioclimática, busca a integração entre a construção e seu ambiente físico, socioeconômico e cultural, optando pelo uso de materiais locais, formas e técnicas tradicionais, reduzindo o impacto ambiental e o consumo energético durante a construção. Para isso um dos preceitos do projeto deve ser a sua adaptação ao clima local e de outros condicionantes naturais como o sol, ventos, topografia e a vegetação.

### 3.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

As soluções arquitetônicas afetam o condicionamento de uma edificação. Um edifício interage com o meio ambiente por meio da exposição solar da envoltória, ganho de calor solar, razão entre o ganho e a perda de calor do ar e potencial de ventilação e refrigeração passiva da edificação. Sendo assim são várias as soluções arquitetônicas que podem melhorar o desempenho térmico das edificações, sendo necessário realizar a escolha da mais adequadas para cada projeto (ARANTES, 2012). De acordo com Gret (1986, apud Oliveira e Ribas, 1995), as respostas da arquitetura ao problema climático, ou a influência das variáveis arquitetônicas no desempenho térmico do edifício, podem ser apreendidas em diferentes níveis: dispositivos arquitetônicos (controle da insolação, inércia...); dispositivos técnicos (ar condicionado, ventilação mecânica...); elementos construtivos (aberturas, telhados...); inserção no sítio (plano de massa, orientação...).

A cobertura e a ventilação têm suma importância em regiões tropicais. A cobertura recebe grande incidência de radiação solar, tendo um papel importante no condicionamento interno das edificações. A ventilação acelera as trocas de calor por convecção e evaporação, sendo fundamental em climas quentes e secos e quentes e úmidos (OLIVEIRA; RIBAS, 1995)

### 3.4 NBR 15220

#### *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações*

A norma possui cinco partes: NBR 15220-1: Definições, símbolos e unidades; NBR 15220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; NBR 15220-4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e NBR 15220-5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluviométrico.

As partes 1 e 2 apresentam conceitos e métodos para calcular as propriedades térmicas (resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator solar) de elementos e componentes das edificações. Na parte 3 a NBR 15220 especifica a divisão do território brasileiro em oito zonas, com clima relativamente similar, para estabelecer um zoneamento bioclimático brasileiro. Para cada zona bioclimática apresenta diretrizes construtivas e estratégias para condicionamento térmico passivo, sem caráter normativo, para habitações unifamiliares de interesse social. (ABNT, 2005)

### 3.5 NBR 15 575

A NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho estabelece o desempenho mínimo para alguns sistemas da edificação ao longo de sua vida útil. Embasada no conceito de desempenho, ocupa-se com os sistemas que compõem a edificação, independente dos seus materiais e do sistema construtivo.

O foco da norma está no comportamento da construção enquanto em uso pelos usuários, e as exigências dos mesmos, não nos métodos construtivos dos sistemas. Foram definidos requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação. Para que a edificação cumpra as exigências dos usuários, a mesma deve atender os requisitos, a partir dos critérios estabelecidos para eles. Cada sistema tem um requisito mínimo de desempenho (M), que devem ser sempre

atendidos e para incentivar a maior qualidade das edificações existem os níveis intermediário (I) e superior (S).

A norma possui seis partes: NBR 15575-1: Requisitos gerais; NBR 15575-2: Requisitos para os sistemas estruturais; NBR 15575-3: Requisitos para os sistemas de pisos internos; NBR 15575-4: Sistemas de vedação verticais externas e internas; NBR 15575-5: Requisitos para sistemas de coberturas e NBR 15575-6: Sistemas hidrossanitários.

Os tópicos pertinentes ao desempenho térmico de edificações de até 5 pavimentos estão nas partes 1, 4 e 5 da norma. Sendo a NBR 15575-1 sobre o desempenho térmico, a edificação deve atender as exigências prescritas na norma de acordo com a zona bioclimática definida na NBR 15220-3; A NBR 15575-4 aborda os sistemas de vedações verticais internas e externas e a parte 5 refere-se ao sistema de cobertura, ambos sistemas se relacionam a vários outros elementos da construção, influencia na carga térmica transmitida aos ambientes (em casas térreas e no último pavimento), assim sendo interfere diretamente no conforto térmico dos usuários (ABNT, 2013).

### **3.6 RTQ-R**

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) especifica requisitos e métodos para etiquetagem de edificações residenciais, unifamiliares e multifamiliares e áreas de uso comum, quanto a sua eficiência energética, tem como objetivo criar parâmetros para classificar o nível de eficiência energética de edificações. A classificação varia do nível A (mais eficiente, equivalente a 5 pontos) ao nível E (menos eficiente, equivalente a 1 ponto). Para obter os níveis A ou B de eficiência, as unidades devem possuir medições individuais de eletricidade e água (BRASIL, 2012).

A avaliação das unidades unifamiliares e autônomas é feita através da análise do desempenho térmico da envoltória, eficiência dos sistemas de aquecimento de água e eventuais bonificações, enquanto nas unidades multifamiliares é feita a ponderação das avaliações das unidades individuais. As áreas de uso comum são avaliadas de acordo com a eficiência dos sistemas de iluminação artificial, aquecimento de água, elevadores, bombas centrífugas, equipamentos e bonificações (BRASIL, 2012).



**Envoltória:**

A envoltória é classificada de acordo com o seu consumo relativo, tanto para refrigeração quanto para aquecimento, e pelo seu indicador de graus hora para resfriamento, que são obtidos por meio de equações descritas no próprio RTQ.

O desempenho da envoltória para o verão é quantificado por meio do equivalente numérico da envoltória para resfriamento, enquanto para o inverno o desempenho é quantificado pelo consumo para aquecimento. O equivalente numérico para refrigeração, valor informativo que não participa da equação para a classificação da envoltória, demonstra o desempenho da envoltória quando o ambiente é refrigerado artificialmente.

O indicador de graus-hora para resfriamento (IGR) é o indicador do desempenho térmico da envoltória naturalmente ventilada, se baseia no método graus-hora, que utiliza uma temperatura base para comparação, no RTQ representa o somatório anula de graus-hora, calculado para a temperatura de 26°C para resfriamento. O indicador é obtido através de equações indicadas no RTQ-R, estas equações mudam de acordo com a zona bioclimática.

O consumo relativo para aquecimento (CA) é o consumo de energia (em KWh) por metro quadrado necessário para aquecer e manter a temperatura de um ambiente em 22°C entre as 21h e as 8h durante todo o ano, somente calculado para as zonas bioclimáticas 1 a 4.

O consumo relativo para refrigeração (CR) de cada dormitório é calculado através de equações de acordo com a zona bioclimática da edificação. Consiste no consumo anual de energia (em KWh) por metro quadrado necessário para refrigerar um dormitório entre as 21h e 8h todos os dias do ano mantendo a temperatura em 24°C.

**Pré-requisitos da envoltória:**

Os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica, absortância solar das superfícies da envoltória (paredes externas e cobertura) das APP (ambientes de permanência prolongada) devem ser atendidos de acordo com a zona bioclimática em que a edificação se localiza conforme a tabela 1 abaixo.

O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo o nível "C" nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, para aquecimento e para refrigeração.

Tabela 1 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas.

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m <sup>2</sup> K)]	Capacidade térmica [kJ/(m <sup>2</sup> K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: RTQ-R, 2012

Os ambientes de permanência prolongada devem possuir áreas mínimas de aberturas para ventilação, conforme a Tabela 2. O percentual de abertura para ventilação (A) é a relação entre a área efetiva de abertura para ventilação e a área do piso do ambiente.

O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo nível "C" no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento.

Tabela 2 - Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$

Fonte: RTQ-R, 2012

A ventilação cruzada deve ocorrer nas zonas bioclimáticas 2 a 8. As portas de acesso, principal e de serviço, não são consideradas como aberturas para ventilação. A edificação deve ter aberturas em, no mínimo, duas fachadas diferentes (opostas ou adjacentes) permitindo o fluxo de ar para atender as condições de conforto e higiene. A relação entre a somatória das áreas de todas as aberturas para ventilação que estiverem na fachada com maior área de abertura para ventilação e a somatória das áreas efetivas de abertura para ventilação nas demais fachadas deve ser maior ou igual a 0,25.

O somatório das áreas de abertura para iluminação natural de cada ambiente deve ser equivalente a, no mínimo, 12,5% da área útil do mesmo. Não atender este pré-requisito implica em no máximo o nível “C”.

#### **Sistema de aquecimento de água:**

Os sistemas que serão entregues instalados que são avaliados. Para reservatórios de água quente, que não sejam de aquecimento solar, a resistência térmica mínima deve ser  $2,20 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

O pré-requisito para os níveis A e B é a espessura mínima do isolamento das tubulações metálicas de água quente, seguindo a tabela 3. Nas tubulações não metálicas o isolamento deve ser de 1,0 cm e condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/mK.

O sistema de aquecimento solar deve ter seus coletores instalados com orientação e ângulo de inclinação adequados conforme especificação, manual de instalação e projeto. A orientação ideal é voltada para o norte com desvio máximo de  $30^\circ$  quando no hemisfério sul, a inclinação ideal é a latitude acrescida de  $10^\circ$ . O pré-requisito para obter níveis “A” ou “B” é o selo Procel ou ENCE “A” ou “B” dos coletores e reservatórios.

Para obter o nível “A” os aquecedores a gás devem ter ENCE “A” ou “B”. O Sistema deve atender aos requisitos das normas e o dimensionamento deve ser compatível ao que é descrito no RTQ.

Sistemas de aquecimento de água utilizando bombas de calor recebem eficiência de acordo com o coeficiente de performance (COP), medido de acordo com as normas

ASHRAE *Standard* 146, ASHRAE 13256 ou AHRI 1160, podendo chegar ao nível “A” se COP for maior ou igual a 3,0.

Os sistemas de aquecimento de água com aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas é classificado de acordo com a potência do aparelho. Classificação nível “D”, para aparelhos com potência  $P \leq 4.600 \text{ W}$  e classificação nível “E”, para aparelhos com potência  $P > 4.600 \text{ W}$ . Equipamentos não classificados pelo Inmetro receberão classificação nível E.

Caldeiras que utilizam como combustível fluidos líquidos derivados do petróleo recebem a classificação nível “E”.

### **Bonificações:**

As unidades habitacionais podem receber até um ponto na classificação geral por meio das bonificações. Cada bonificação é independente e pode ser parcialmente alcançadas.

As iniciativas que podem aumentar a eficiência da edificação são:

- A ventilação natural. A pontuação varia de zero a 0,40 pontos;
- A iluminação natural. A pontuação varia de zero a 0,30 pontos;
- O uso racional de água. A pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- O condicionamento artificial de ar. A pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- A iluminação artificial. A pontuação varia de zero a 0,10 pontos;
- Ventiladores de teto instalados na UH. A pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- Os refrigeradores instalados na UH. A pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- A medição individualizada. A pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

## **4 METODOLOGIA**

Aplicação dos métodos para realizar a análise do conforto térmico das unidades do residencial Santos Dumont. Serão analisadas de acordo com as exigências do RTQ-R, (BRASIL, 2012), NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005).

Para tal foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Definição do estudo de caso;
- Cálculo das áreas percentuais de abertura de iluminação e ventilação;
- Cálculo da transmitância e da capacidade térmica de paredes e coberturas;
- Cálculo do percentual de aberturas para ventilação de todas as APPs;
- Cálculo das áreas de abertura para elementos transparentes de todas as APPs;
- Classificação do nível de eficiência pelo RTQ-R da unidade habitacional do estudo de caso;
- Propostas para melhorar a classificação do nível de eficiência pelo RTQ-R da unidade habitacional do estudo de caso.

## 5 ESTUDO DE CASO

**Objeto:** Residencial Santos Dumont – Montes Claros/MG

### 5.1 MONTES CLAROS

O município de Montes Claros está no Norte de Minas, na região do polígono da seca. Localizado na latitude 16.74°S e na longitude 43.86° W, no fuso horário -3 e tem elevação de 648 metros.

A área territorial do município é de 3.576,76 km<sup>2</sup>, na qual vivem 398.288 habitantes. (IBGE, 2016). Os municípios limítrofes são Bocaiúva, Capitão Enéas, Coração de Jesus, Claro dos Poções, São João da Lagoa, Mirabela, Patis, São João da Ponte, Francisco Sá, Juramento e Glaucilândia, como pode ser visto no mapa da figura 1. (IBGE, 2016).

Figura 1 - Mapa dos municípios do Norte de Minas Gerais



Fonte: Copanor

### 5.1.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE MONTES CLAROS

O município possui clima tropical semiúmido, com temperatura média anual de 24°C e vegetação predominantemente de cerrado (IBGE, 2016). Está na zona 6 de acordo com o Zoneamento bioclimático brasileiro proposto na NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005).

As diretrizes construtivas para esta zona climática são, de acordo com o *Climate Consultant*, modelo *Adaptive Comfort Model* da *Ashrae Standard 55 – 2010*:

- Orientar as aberturas para receberem o vento dominante e sombreá-las de forma eficiente, usar aletas para direcionar os ventos para o interior da edificação. Casas com plantas longas e estreitas, pé direito alto e conceito aberto podem maximizar a ventilação cruzada. Colocar portas e janelas em lados opostos e as maiores aberturas faceando a direção dos ventos

dominantes. A boa ventilação natural pode reduzir ou eliminar a necessidade de ar-condicionado.

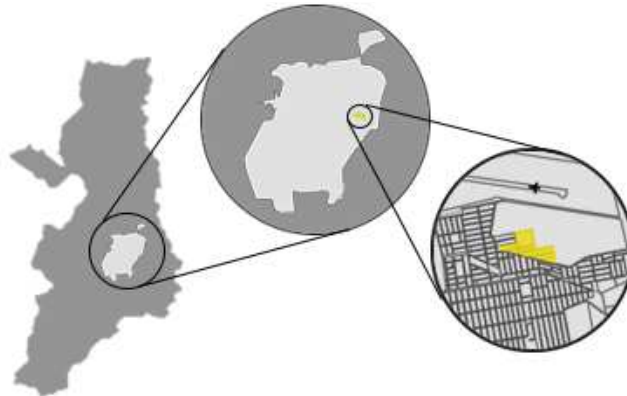
- Espaços de transição externos, como varandas e pátios, sombreados; proteções para aberturas, como brises, beirais alongados e toldos operáveis; e o uso de paisagismo, principalmente no lado oeste da edificação, para sombreá-la são muito úteis para minimizar o ganho de calor na edificação, de forma a permitir a ventilação no verão e ganho solar passivo no inverno.
- Minimizar ou eliminar as aberturas na fachada oeste para reduzir o ganho de calor no período da tarde.
- O movimento de ar interno, com o uso de ventiladores de teto, por exemplo, diminui 2,8°C na sensação térmica do ambiente.
- Iluminação natural com aberturas suficientes na fachada norte para balancear a luz solar, evitar sombreamento e habilitar a ventilação cruzada
- Coberturas bem ventiladas, com telhados inclinados, funcionam bem para climas quentes e chuvosos. Elevar a edificação em locais com o solo úmido, para afastá-la da umidade e proporcionar ventilação abaixo da mesma.

## **5.2 CONJUNTO HABITACIONAL SANTOS DUMONT**

O Residencial Santos Dumont, escolhido para este trabalho, está localizado na parte leste da cidade de Montes Claros, mais precisamente no bairro Independência.

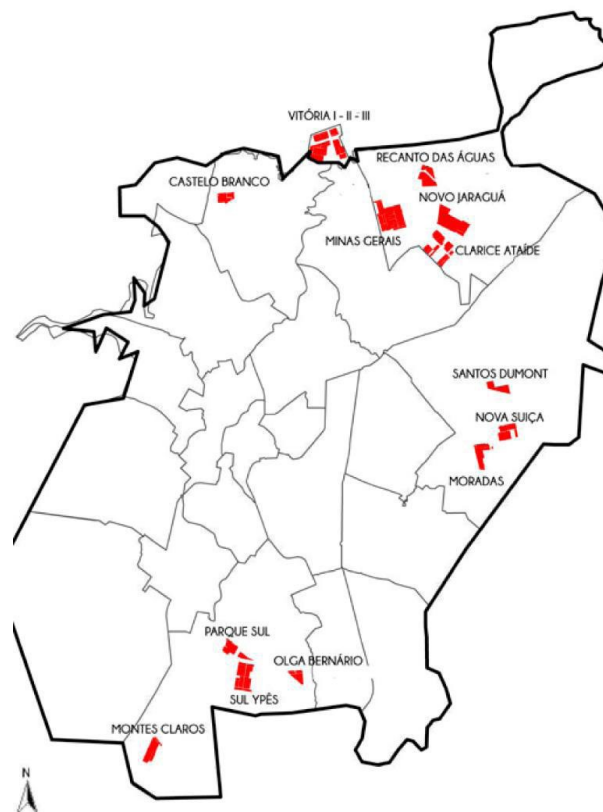
Foi finalizado no ano de 2012, sendo o segundo empreendimento mais antigo da cidade. O conjunto está no limite da mancha urbana, entretanto ainda apresenta certa articulação com a cidade, sendo um dos poucos residenciais do PMCMV de faixa 1 em Montes Claros com essa característica (ver figura 2).

Figura 2 - Localização do empreendimento Residencial Santos Dumont do PMCMV faixa 1 no município e na cidade de Montes Claros.



Fonte: PMMC, modificado por Silva (2018)

Figura 3 - Localização dos empreendimentos do PMCMV faixa 1 na mancha urbana de Montes Claros. Verifica-se a ausência de conjuntos em áreas centrais e oeste da cidade, que são bem mais abastecidas de equipamentos urbanos, infraestrutura e serviços



Fonte: PMMC, modificado por Silva (2018)

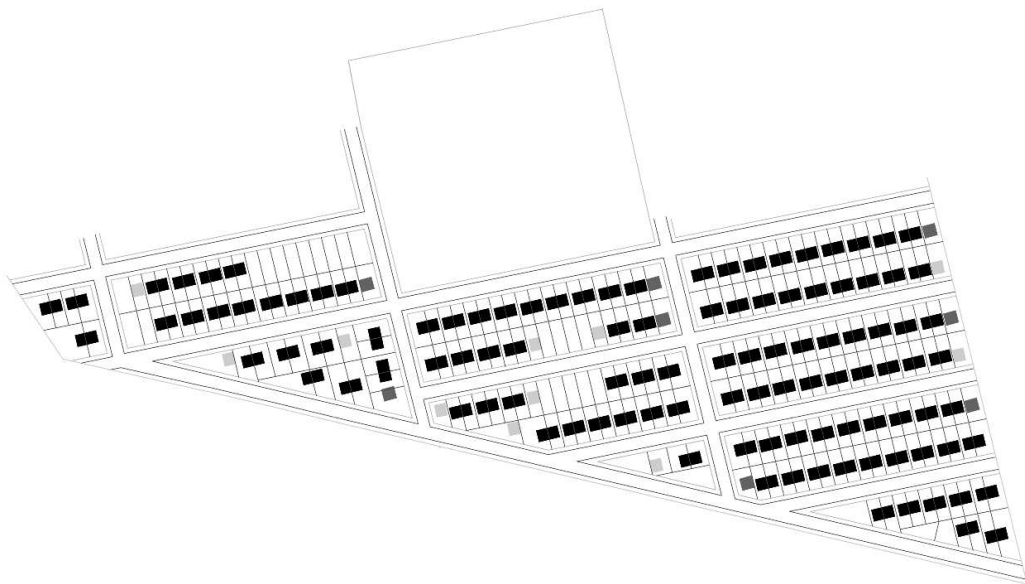
A arborização pública no residencial é escassa, quase inexistente, característica incompatível com as altas temperaturas e o clima seco da cidade. Por mais que o entorno apresente vegetação natural, no seu interior não existem áreas sombreadas,



durante visita ao residencial em 2017 foram avistadas dez árvores (ver figura 4). De acordo com Ferreira (2012) o paisagismo não é tido como prioridade nos empreendimentos do PMCMV. A área de preservação obrigatória do loteamento não foi identificada.

O espaço intralote também não foi contemplado com paisagismo.

Figura 4 - Diagrama de implantação do conjunto habitacional Santos Dumont com diferenciação de tipologias.



Fonte: Autora, 2018. Baseada no arquivo de Autocad de Montes Claros fornecido pela PMMC.

O Residencial Santos Dumont, concluído no ano de 2012, não teve medidas visando a sustentabilidade ou conforto ambiental em suas unidades. Por isso não possui, por exemplo, sistema de aquecimento solar, muito frequente em empreendimentos do PMCMV mais recentes após entrarem em vigor medidas impostas pela Caixa, visando a sustentabilidade, eficiência energética, conforto, melhor gestão da água, conservação dos recursos naturais e qualidade urbana. (BRASIL, 2011 apud. MORAES FILHO, 2015).

Figura 5 - Foto do conjunto habitacional Santos Dumont.



Fonte: Mapas Apple modificada pela autora, 2018.

O empreendimento do PMCMV possui 241 unidades, sendo 222 geminadas e 19 individuais, destas 7 unidades são adaptadas à acessibilidade universal. O grande vazio ao norte do residencial foi destinado ao uso institucional, entretanto, nunca foi utilizado.

### 5.3 UNIDADE HABITACIONAL

A seguir é descrita a unidade habitacional típica do residencial mostrada na Figura 5 cuja implantação e planta são mostradas nas Figuras 6 e 7. Nas unidades de tipologia padrão, geminada, existe ventilação cruzada na parte social, sala e cozinha. Enquanto na unidade adaptada à acessibilidade a ventilação cruzada acontece somente entre os ambientes, se todos estiverem com as portas abertas.

Ao analisar a implantação das unidades na gleba é perceptível que a implantação e orientação das unidades não foi planejada visando o melhor aproveitamento dos ventos dominantes ou a insolação adequada a cada ambiente.

Figura 6 - Unidade geminada do Residencial Santos Dumont.



Fonte: Autora (2017)

Tipologia padrão: 222 residências unifamiliares térreas com tipologia geminada (existem 19 unidades térreas isoladas)

Área do lote: 150 m<sup>2</sup>

Área construída: 39,11 m<sup>2</sup> (casas adaptadas à acessibilidade: 44,48m<sup>2</sup>)

Área útil: 34,41m<sup>2</sup> (casas adaptadas à acessibilidade: 39,34m<sup>2</sup>)

Área externa: 110,89m<sup>2</sup> (casas adaptadas à acessibilidade: 105,52m<sup>2</sup>)

Fundação: sapata corrida.

Fechamento: paredes autoportantes em blocos cerâmicos com cintas de amarração no respaldo da alvenaria em canaletas tipo “U” com armação concretada.

Cobertura: telhas cerâmicas na cor terracota, cobertura com duas águas, inclinação de 30% e engradamento em madeira de lei.

Esquadrias: metálicas.

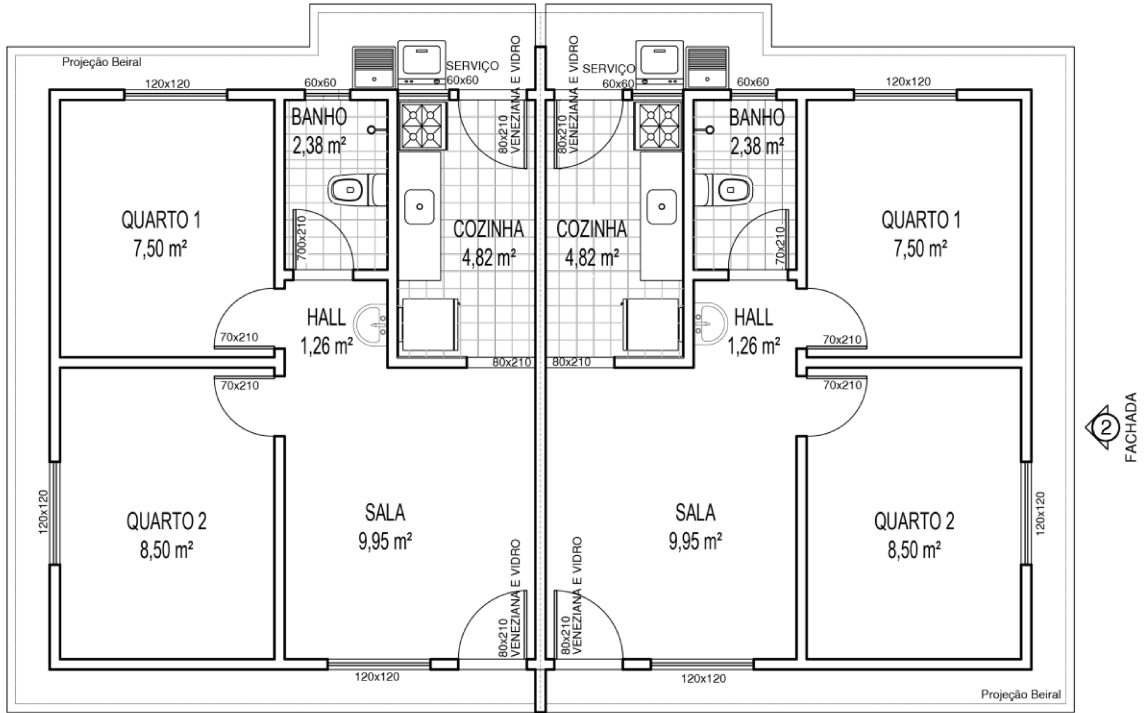
Forro: PVC de 1cm na cor branca.

Pisos: revestimento cerâmico.

Pintura interna: tinta acrílica acetinada branco neve.

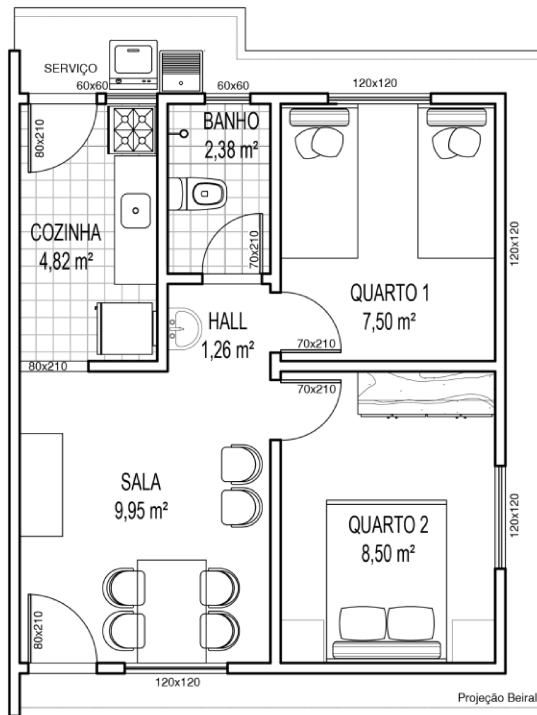
Pintura externa: tinta acrílica fosca: branco neve, verde alecrim, marrom camurça ou azul bali.

Figura 7 - Planta da unidade geminada do empreendimento do PMCMV faixa 1 Residencial Santos Dumont em Montes Claros.



PLANTA  
UNIDADE GEMINADA  
ESC 1/50

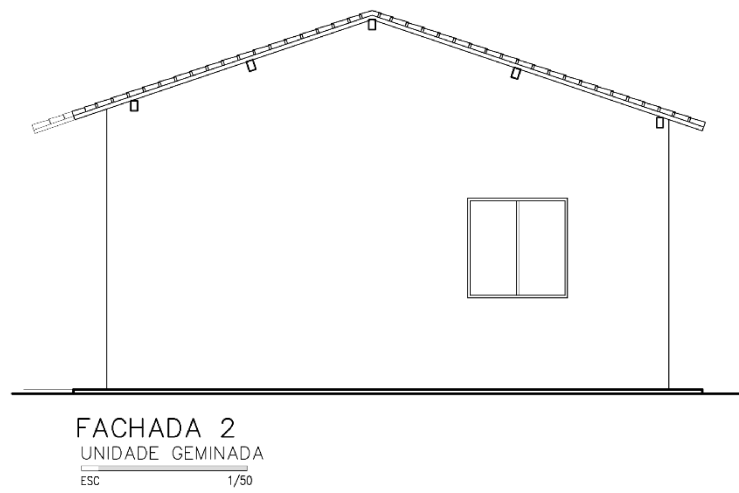
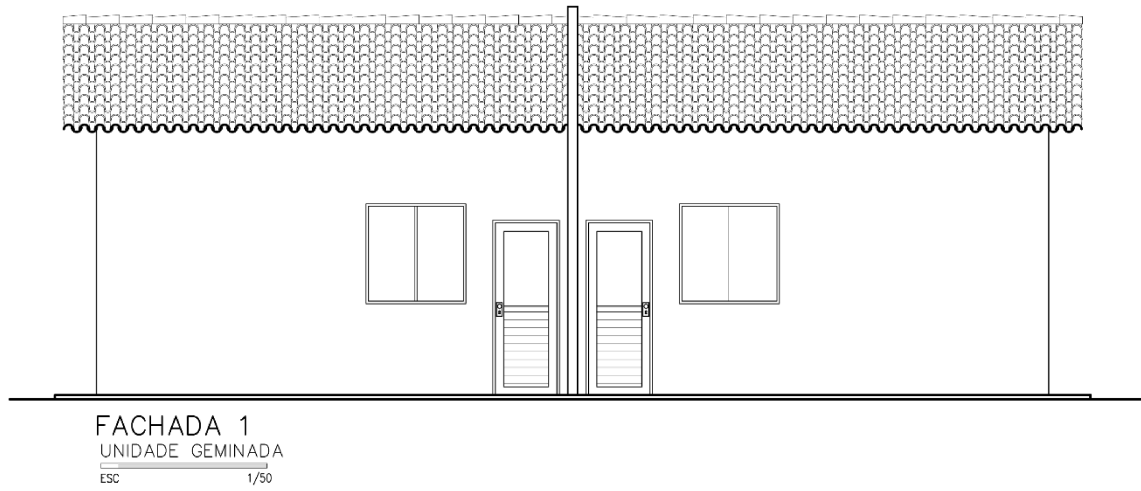
1  
FACHADA



PLANTA LAYOUT  
UNIDADE GEMINADA  
ESC 1/50

Fonte: GIHAB MOC, modificado pela autora (2020).

Figura 8- Fachadas geminada do empreendimento do PMCMV faixa 1 Residencial Santos Dumont em Montes Claros.



Fonte: GIHAB, modificado pela autora, 2020.

## 6 ANÁLISES

### 6.1 CALCULO NBR 15575 (ABNT, 2013):

#### 6.1.1 Transmitância térmica de paredes externas ( $U_{par}$ ):

Na zona bioclimática 6:  $U_{par} \leq 3,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e  $\alpha_{par} \leq 0,6$

$U_{par} \leq 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e  $\alpha_{par} > 0,6$

$U_{par} = 2,38 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e  $\alpha_{par} = 0,44$

#### 6.1.2 Capacidade térmica de paredes externas ( $CT_{par}$ ):

Na zona bioclimática 6:  $CT_{par} \geq 130 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$

$CT_{par} = 102,7 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$

#### 6.1.3 Percentual de abertura de ventilação ( $P_{VAPP}$ ):

As esquadrias estão especificadas na Figura 8.

$P_{VAPP} \geq 7,0 \%$  da área do piso

$$P_{VAPP} = 100 \times \frac{(A_{vent})}{(A_{piso})}$$

Áreas de permanência prolongada (APP): sala de estar, cozinha e dormitórios. A área de serviço é externa a unidade.

**Sala de estar** (unidade geminada):

$$P_{VAPP} = 100 \times \frac{(0,55 \times 1,24)}{(9,95)} = 100 \times \frac{0,68}{9,95} = \mathbf{6,83 \%} = P_{VAPP}$$

**Cozinha** (unidade geminada):

$$P_{VAPP} = 100 \times \frac{(0,36 \times 0,26)}{(4,82)} = 100 \times \frac{0,09}{4,82} = \mathbf{1,86 \%} = P_{VAPP}$$

**Dormitório 1** (unidade geminada):

$$P_{\text{VAPP}} = 100 \times \frac{(0,55 \times 1,24)}{(7,50)} = 100 \times \frac{0,68}{7,50} = \mathbf{9,0\%} = P_{\text{VAPP}}$$

**Dormitório 2** (unidade geminada):

$$P_{\text{VAPP}} = 100 \times \frac{(0,55 \times 1,24)}{(8,50)} = 100 \times \frac{0,68}{8,50} = \mathbf{8,0\%} = P_{\text{VAPP}}$$

$P_{\text{VAPP}} > 7,0\%$  da área do piso: Dormitório 1 e 2.





### 6.1.4 Área de abertura para elementos transparentes ( $P_{tAPP}$ )

Percentual máximo de elementos transparentes:  $A_{\text{pisoAPP}} \leq 20\text{m}^2$  e  $P_{tAPP} \leq 20\%$

Área máxima de superfície dos elementos transparentes:  $A_{\text{pisoAPP}} > 20\text{m}^2$  e  $A_{\text{transAPP}} \leq 4,0\text{m}^2$

$A_{\text{transAPP}}$ : Área de superfície dos elementos transparentes do APP

FS vidro comum transparente simples 6mm = 0,83

$$P_{tAPP} = 100 \times \frac{(A_{\text{transAPP}})}{(A_{\text{pisoAPP}})}$$

Áreas de permanência prolongada (APP): sala de estar, cozinha e dormitórios. A área de serviço é externa.

**Sala de estar** (unidade geminada):

$$P_{tAPP} = \frac{100 \times (1,123 + 0,734)}{(11,20)} = \frac{100 \times 1,86}{(11,20)} = 16,60 \% = P_{tAPP}$$

**Cozinha** (unidade geminada):

$$P_{tAPP} = \frac{100 \times (0,265 + 0,734)}{(4,82)} = \frac{100 \times 0,999}{4,82} = 20,73 \% = P_{tAPP}$$

**Dormitório 1** (unidade geminada):

$$P_{tAPP} = \frac{100 \times (0)}{(7,50)} = 0 \% = P_{tAPP}$$

**Dormitório 2** (unidade geminada):

$$P_{tAPP} = \frac{100 \times (0)}{(8,50)} = 0 \% = P_{tAPP}$$

$A_{\text{pisoAPP}} \leq 20\text{m}^2$  e  $P_{tAPP} \leq 20\%$ : Sala de estar e dormitórios 1 e 2

### 6.1.5 Transmitância térmica das coberturas ( $U_{cob}$ )

Na zona bioclimática 6:  $U_{cob} \leq 2,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e  $\alpha_{cob} \leq 0,6$

$$U_{cob} \leq 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ e } \alpha_{cob} > 0,6$$

$\alpha_{cob}$  = absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura considerando a degradação do desempenho da superfície por um período mínimo de 3 anos.

Telha de barro:  $\alpha_{cob} = 0,80$

$\alpha_{cob} > 0,6$  e  $U_{cob} \leq 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ :  $U_{cob} = \mathbf{2,04 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}}$

## 6.2 CALCULO NBR 15220 (ABNT, 2005):

Resistencia térmica (R):  $R = e/\lambda$

Resistencia térmica de ambiente a ambiente ( $R_T$ ):  $R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$

Resistencia térmica de superfície a superfície ( $R_t$ ):  $R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar} + \dots + R_{arn}$

Resistencia térmica superficial externa ( $R_{se}$ ) – tabelada

Resistencia térmica superficial interna ( $R_{si}$ ) – tabelada

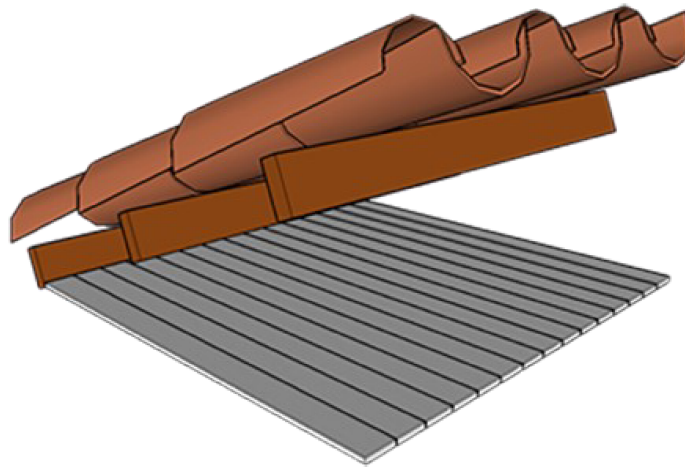
Resistencia térmica de camadas de ar ( $R_{ar}$ ) - tabelada

Transmitância térmica (U):  $U = 1/ R_T$

### 6.2.1. Cobertura

A cobertura das unidades é em telha cerâmica na cor terracota, com duas águas, inclinação de 30%, engradamento em madeira de lei e forro de PVC de 1,0 cm na cor branca (Ver figura 9).

Figura 10 - Cobertura das unidades.



Fonte: Projeteee

Resistencia telha cerâmica:

$$R = e/\lambda = 0,02/0,90 = \mathbf{0,02 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}} = R_{\text{telha cerâmica}}$$

Resistencia forro de PVC:

$$R = e/\lambda = 0,01/0,20 = \mathbf{0,05 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}} = R_{\text{forro de PVC}}$$

**Transmitância térmica (U):**

$$U = 1/ R_T$$

$$R_{ar} = 0,21$$

$$R_{se} = 0,04$$

$$R_{si} = 0,17$$

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn}$$

$$R_t = 0,05 + 0,21 + 0,01 = \mathbf{0,28 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}} = R_{t \text{ cobertura}}$$

$$U = \frac{1}{R_{se} + R_t + R_{si}} = \frac{1}{0,04 + 0,28 + 0,17} = \frac{1}{0,49} = \mathbf{2,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}} = U_{\text{cobertura}}$$

**Capacidade térmica da cobertura (CT): 21,0 (kJ/m²K)**

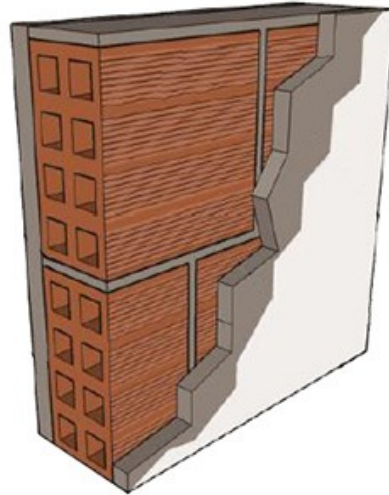
Capacidade térmica calculada pela calculadora de propriedades da ProjeteEEE.

Disponível em <<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>>.

### 6.2.2. Paredes externas

Parede externa de bloco cerâmico com 8 furos, rebocada de ambos as faces, espessura de 12cm (ver Figura 10). Dimensões do bloco cerâmico: 19x9x19 cm.

Figura 11 - Paredes externas das unidades.



Fonte: Projeteee

#### **Bloco cerâmico:**

$\lambda$  cerâmica = 0,90 W/(m.K)

$c$  cerâmica = 0,92 KJ/(kg.K)

$\rho$  cerâmica = 1600 kg/m<sup>3</sup>

#### **Argamassa e reboco:**

$\lambda$  argamassa =  $\lambda$  reboco = 1,15 W/(m.K)

$c$  argamassa =  $c$  reboco = 1,00 KJ/(kg.K)

$\rho$  argamassa =  $\rho$  reboco = 2000 kg/m<sup>3</sup>

#### **Camada de ar:**

Fluxo horizontal,  $\varepsilon > 0,8$  (alta emissividade),  $e = 3,0$  cm

$R_{ar} = 0,16$ (m<sup>3</sup>.k)/W

**Resistencia térmica do tijolo (Rtijolo):****Seção 1 (tijolo)**

$$A_1 = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e \text{ cerâmica}}{\lambda \text{ cerâmica}} = \frac{0,09}{0,90} = 0,1 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$\lambda \text{ cerâmica} = 0,90$$

**Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo)**

$$A_2 = 0,035 \times 0,19 = 0,00665 \text{ m}^2$$

$$R_2 = R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{cerâmica}}$$

$$R_2 = 0,1 + 0,16 + 0,1 + 0,16 + 0,1 = 0,62 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{5 \times A_1 + 4 \times A_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 \times 0,0019 + 4 \times 0,00665}{0,1 + 0,62} = \frac{0,0361}{0,72} = 0,2616 = R_{\text{tijolo}}$$

$$\frac{5 \times A_1 + 4 \times A_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 \times 0,0019 + 4 \times 0,00665}{0,1 + 0,62} = 0,138$$

**Resistencia termina da parede (Rt):****Seção A (reboco + argamassa + reboco)**

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,20 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} + \frac{e \text{ argamassa}}{\lambda \text{ argamassa}} + \frac{e \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} = \frac{0,015}{1,15} + \frac{0,100}{1,15} + \frac{0,015}{1,15} =$$

$$R_a = 0,1129 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**Seção B (reboco + tijolo + reboco)**

$$A_b = 0,19 \times 0,19 = 0,0361 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} + R_{\text{tijolo}} + \frac{e \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} = \frac{0,015}{1,15} + 0,2616 + \frac{0,015}{1,15} =$$

$$R_b = 0,2877 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{R_a + R_b} = \frac{0,0039 + 0,0361}{0,1129 + 0,2877} = \frac{0,04}{0,4006} = R_t = 0,25 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**Resistencia térmica total (R<sub>T</sub>):**

$$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,25 + 0,04 = R_T = 0,42 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**Transmitância térmica (U):**

$$U = 1/R_T = 1/0,42 = U = 2,38 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**Capacidade térmica da parede (CT): 102,7 kJ/m<sup>2</sup>K**

Capacidade térmica calculada pela calculadora de propriedades da Projeteee

Disponível em <<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>>.

**6.3 ANÁLISE DO RTQ-R (BRASIL, 2012):****Absortância externa das paredes externas ( $\alpha$ ):**

A unidades habitacionais do Residencial Santos Dumont foram pintadas em quatro tons de tinta acrílica fosca: branco neve, verde alecrim, marrom camurça e azul bali. Para completar a tabela foi realizada uma média entre os valores de absortância ( $\alpha$ ) das cores (branco neve  $\alpha = 10,2$ , verde alecrim  $\alpha = 64$ , marrom camurça  $\alpha = 55,8$ , azul bali  $\alpha = 48,9$ ), retirados do Anexo V da portaria do INMETRO N° 50 (2013). O resultado da absortância ( $\alpha$ ) das paredes externas foi 44,72.

**Bonificação iluminação natural:**

Profundidade:  $P \leq 2,4 \times h_a$

P: Profundidade do ambiente (m)

$h_a$ : distância entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação (m) excluindo caixilhos

Cozinha:  $3,0 \leq 2,4 \times 2,27 = 3,0 \leq 5,45$

Quarto 1:  $3,0 \leq 2,4 \times 2,27 = 3,0 \leq 5,45$

Quarto 2:  $2,5 \leq 2,4 \times 2,27 = 2,5 \leq 5,45$

Banheiro:  $1,98 \leq 2,4 \times 2,27 = 1,98 \leq 5,45$

Sala:  $4,4 \leq 2,4 \times 2,27 = 4,4 \leq 5,45$

**CT alta e CT baixa: 0**

Paredes internas:  $61,8 - (4 \times 1,68) = 55,1 \text{ m}^2$

Paredes externas:  $48,9 - (3 \times 1,44 + 2 \times 1,68 + 2 \times 0,36) = 40,5 \text{ m}^2$

Cobertura: 38,5 m<sup>2</sup>

$$\frac{(38,5 \times 21) + (40,5 \times 102,7) + (55,1 \times 102,7)}{(38,5 + 40,5 + 55,1)} = 79,24$$

**Somb:**

Janela cozinha (norte):

$$\lambda_d = 31^\circ$$

$$\lambda_e = 78^\circ$$

$$\alpha = 29^\circ$$

$$\text{Somb} = 0,2 \text{ se } \lambda \text{ e } \alpha \text{ norte} = 23,5^\circ + (-16) = 7,5^\circ$$

$$\text{Somb} = 0,2$$

Janela quarto 1: veneziana somb = 1,0

Janela quarto 2: veneziana semb = 1,0

Janela sala (sul):

$$\lambda_d = 60^\circ$$

$$\lambda_e = 74^\circ$$

$$\alpha = 11^\circ$$

$$\text{Somb} = 0,2 \text{ se } \lambda \text{ e } \alpha \text{ Sul} = 23,5^\circ + (-16) = 7,5^\circ$$

$$\text{Somb} = 0,2$$

**Bonificação uso racional de água:**

$$b_3 = 0,07 (BS_{AP}/BS) + 0,04 (BS_E/BS) + 0,04 (CH_E/CH) + 0,02 (T_E/T) + 0,03 (OUTROS_{AP}/OUTROS)$$

b<sub>3</sub>: bonificação de uso racional de água;

BS<sub>AP</sub>: quantidade de bacias sanitárias atendidas por água pluvial;

BS: quantidade de bacias sanitárias existentes;

BS<sub>E</sub>: quantidade de bacias sanitárias com sistema de descarga com duplo acionamento;

CH<sub>E</sub>: quantidade de chuveiros com restritor de vazão;

CH: quantidade de chuveiros existentes;

TE: quantidade de torneiras com arejador de vazão constante (6 litro/minuto), regulador de vazão ou restritor de vazão;

T: quantidade de torneiras existentes na UH, excluindo as torneiras das áreas de uso comum;

OUTROS<sub>AP</sub>: quantidade de outros pontos atendidos por água pluvial, excluindo bacias sanitárias.

OUTROS: quantidade de outros pontos passíveis de serem atendidos por água pluvial (torneiras externas, que servirão para a limpeza de calçadas, lavagem de carros e rega de jardim; máquina de lavar roupa, etc), excluindo as bacias sanitárias.

$$b3 = 0,07 (0/1) + 0,04 (1/1) + 0,04 (1/1) + 0,02 (3/3) + 0,03 (0/0) = \mathbf{0,1}$$

## 7 RESULTADOS

A unidade de tipologia geminada foi submetida ao Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O motivo desta escolha de tipologia como padrão do Residencial Santos Dumont é por ser a que apresenta maior quantidade de unidades, 222, enquanto a tipologia isolada apresenta somente 19 unidades, sendo 7 destas adequadas a acessibilidade. Portanto foram submetidas as quatro implantações que as unidades geminadas apresentam no conjunto, sendo nomeadas: unidade geminada 1, 2, 3 e 4 (ver Anexo I). Entretanto, mesmo mudando a orientação das unidades a classificação final e o nível de eficiência de cada requisito continua os mesmos.

As tabelas abaixo são referentes a unidade habitacional 1 de tipologia geminada, escolhida para representar todas as outras implantações (unidade habitacional 2,3 e 4) que obtiveram os mesmos resultados.

Como pode ser visto no tópico 3.5 deste trabalho e na Tabela 3, a envoltória da unidade habitacional não passa em alguns critérios definidos pela NBR 15575-4 e pelo RTQ. A capacidade térmica das paredes externas não atinge o valor mínimo para a zona bioclimática 6 que é 130kJ/m<sup>2</sup>. A transmitância térmica da cobertura ultrapassa o valor máximo estabelecido no RTQ de 1,5 W/(m<sup>2</sup>K).



Tabela 3 - Planilha de cálculo do desempenho da UH - método prescritivo - Análise da envoltória dos ambientes - unidade 1.

Zona Bioclimática	ZB		ZB6	ZB6	ZB6	ZB6
Ambiente	Identificação	Adimensional	Cozinha	Quarto 1	Quarto 2	Sala
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	4,82	7,50	8,50	11,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	Adimensional	1	1	1	1
	Contato com solo	Adimensional	1	1	1	1
	Sobre Pilotis	Adimensional	0	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	2,04	2,04	2,04	2,04
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	21,00	21,00	21,00	21,00
	αcob	Adimensional	0,80	0,80	0,80	0,80
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,38	2,38	2,38	2,38
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	102,70	102,70	102,70	102,70
	αpar	Adimensional	0,44	0,44	0,44	0,44
Característica construtiva	CTbaixa	Binário	0	0	0	0
	CTalta	Binário	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	2,28	5,30	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	6,75	2,28
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	8,10	7,74	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	2,04	1,44	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	2,04
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	1,44	0,00
Características das Aberturas	Fvent	Adimensional	0,25	0,45	0,45	0,45
	Somb	Adimensional	0,20	1,00	1,00	0,20
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	20,55	13,17	14,25	32,26
	Pé Direito	m	2,70	2,70	2,70	2,70
	C altura	Adimensional	0,560	0,360	0,318	0,241
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	Binário	0	0	0	0
	vid	Binário	0	0	0	0
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
			<b>8794</b>	<b>6737</b>	<b>5873</b>	<b>6791</b>
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
			<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica	<b>C</b>	<b>C</b>	Não se aplica
			<b>0,000</b>	<b>26,446</b>	<b>24,756</b>	<b>0,000</b>

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

O percentual de abertura mínimo pedido pelo RTQ para a ventilação natural dos ambientes da UH, 8% da área útil, não é atendido pela cozinha (1,86%) pela sala (6,09%) e pelo dormitório 2 (7,65%). Somente o dormitório 1 atende o pré-requisito exigido pelo RTQ com 8,67%, como pode ser visto na Tabela 4.

Na Tabela 4 também pode se observar que somente a cozinha e a sala atendem os pré-requisitos de iluminação natural, enquanto nos dormitórios a soma das áreas de abertura para iluminação natural não corresponde a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente.

Tabela 4 - Pré-requisitos da envoltória por ambiente - unidade 1.

	Ambiente	Adimensional	Cozinha	Quarto 1	Quarto 2	Sala
<b>Pré Requisitos da Envoltória</b>	<b>Paredes externas</b>	CT paredes externas	102,7	102,7	102,7	102,7
		Upar, CTpar e qpar atendem?	Não	Não	Não	Não
	<b>Cobertura</b>	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Não	Não	Não	Não
		<b>Fatores para iluminação e ventilação natural</b>	O ambiente é um dormitório?	Não	Sim	Sim
	Há corredor no Ambiente?		Não	Não	Não	Sim
	Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?					9,95
	<b>Iluminação Natural</b>	Área de abertura para iluminação [m <sup>2</sup> ]	0,96	0,65	0,65	1,82
		Ai/Auamb (%)	19,92	8,67	7,65	18,29
		Atende 12,5%?	Sim	Não	Não	Sim
	<b>Ventilação Natural</b>	Área de abertura para ventilação	0,22	0,65	0,65	0,65
		Av/Auamb (%)	4,56	8,67	7,65	6,53
		Atende % mínima?	Não	Sim	Não	Não
		Tipo de abertura	Janela basculante	Janela de correr com 4 folhas	Janela de correr com 4 folhas	Janela de correr com 4 folhas
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Sim	Sim	Sim	Sim
		Atende?	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

O pré-requisitos da envoltória, como o de medições individuais de água e energia, ventilação cruzada e banheiros com ventilação natural especificados no RTQ são atendidos na UH, como pode ser visto na Tabela 5, resultando na classificação “C” da envoltória com equivalente numérico 3,0.

Tabela 5 - Análise dos pré-requisitos da envoltória e equivalente numérico da envoltória - unidade 1.

<b>Pré Requisitos da Envoltória</b>	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	<b>Ventilação Cruzada</b>	Área Aberturas orientação Norte	0,84
		Área Aberturas orientação Sul	0,65
		Área Aberturas orientação Leste	0
		Área Aberturas orientação Oeste	0,65
		A2/A1	1,547619048
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	<b>Banheiros com Ventilação Natural</b>	Nº BWC	1
		Nº Banheiros com ventilação natural	1
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	
<b>Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH</b>		<b>Nota anterior aos pré-requisitos</b>	<b>Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada</b>
	<b>Envoltória para Verão</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
		3,00	3,00
	<b>Envoltória para Inverno</b>	<b>Não se aplica</b>	<b>Não se aplica</b>
		0,00	0,00
<b>Envoltória se Refrigerada Artificialmente</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	
	3,00	3,00	
<b>Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos</b>	<b>Equivalente numérico da envoltória da UH</b>	<b>Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural</b>	<b>Nota final da envoltória da UH</b>
		<b>C</b>	<b>C</b>
		3,00	3,00

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

A bonificação de ventilação natural, em que a unidade habitacional pode ganhar até 0,40 pontos, não foi atendida. A UH não tem porosidade mínima de 20% em pelo menos duas fachadas com orientações distintas, como pode ser visto na tabela 6.

Tabela 6 - Análise das bonificações - ventilação natural - unidade 1.

<b>Porosidade</b>	ATAVN (m <sup>2</sup> )	0,84
	AATVS (m <sup>2</sup> )	0,65
	AATVL (m <sup>2</sup> )	0
	AATVO (m <sup>2</sup> )	0,65
	ATFN (m <sup>2</sup> )	18,04
	ATFS (m <sup>2</sup> )	18,04
	ATFL (m <sup>2</sup> )	0
	ATFNO (m <sup>2</sup> )	26,23
	Pavimento da UH	1 ou 2
	Porosidade a atender	20,0%
	Porosidade Norte	4,7%
	Porosidade Sul	3,6%
	Porosidade Leste	0,0%
	Porosidade Oeste	2,5%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
Bonificação	0	
<b>Dispositivos Especiais</b>	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
	Quais dispositivos?	
	Bonificação	0
<b>Centro Geométrico</b>	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
	Bonificação	0
<b>Permeabilidade</b>	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq$ 30% da área da abertura?	
	Bonificação	0

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

Como pode ser visto na Tabela 7 a bonificação de iluminação natural foi completamente atendida, a UH possui forro de PVC na cor branca com refletância maior que 0,6 e atende ao pré-requisito de profundidade máxima dos ambientes em relação à altura das aberturas. Acrescentam-se 0,30 pontos para a classificação final da UH.

Tabela 7 - Análise das bonificações - Iluminação natural - unidade 1.

<b>Profundidade</b>	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
	Bonificação	0,2
<b>Refletância Teto</b>	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
	Bonificação	0,1

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

A pontuação total dada pela bonificação de uso racional de água é de 0,20 pontos, a UH atendeu somente alguns pré-requisitos e conseguiu 0,10 pontos. Como não existe condicionamento artificial de ar e água quente nas unidades habitacionais do Residencial Santos Dumont, não foram entregues fontes de iluminação artificial, ventiladores de teto ou refrigeradores a UH zerou as bonificações de condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e medição individualizada de aquecimento de água, como mostra a Tabela 8.

Por meio das bonificações a UH pode obter até 1,0 ponto na classificação geral. Entretanto a somatória dos pontos obtidos pelas iniciativas que aumentam a eficiência da UH analisada foi de 0,40 devido as bonificações iluminação natural e uso racional de água, como mostrado nas tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 8 - Análise das Bonificações – Outras bonificações – unidade 1.

<b>Uso Racional de Água</b>	Bonificação de uso racional de água	0,1
<b>Condicionamento Artificial de Ar</b>	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
<b>Iluminação Artificial</b>	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	
	Bonificação	0
<b>Ventiladores de Teto</b>	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
	Bonificação	0
<b>Refrigeradores</b>	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
	Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
	Bonificação	0
<b>Medição Individualizada de Aquecimento de Água</b>	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
	Bonificação	0

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

Somente os sistemas de aquecimento de água do tipo solar, a gás e bombas de calor permite que a UH possua classificação “A”.

O sistema de aquecimento utilizado na UH analisada é o de aquecimento elétrico. Este sistema não permite que a classificação da UH seja “A”, “B” ou “C”. Os aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas tem sua eficiência classificada em função da potência do aparelho utilizado. Aparelhos com potência menor que 4.600 W recebem classificação “D” e os com potência maior que 4.600 W recebem a classificação “E”. Quando a potência dos equipamentos é regulável é considerada a maior potência.

O aparelho especificado para a edificação na planilha de materiais do empreendimento possui potência regulável, portanto foi considerada a pior situação, nível “E”, para efeito de cálculo.

Sendo assim o sistema de aquecimento de água recebeu nota final “E” com equivalente numérico 1,0.

Por fim, segundo a análise do RTQ-R, as unidades habitacionais de tipologia geminada do Residencial Santos Dumont são classificadas com “C”, como pode ser visto na Tabela 9, com pontuação total de 2,70. A eficiência da envoltória tanto para o verão quanto se resfriada artificialmente

Tabela 9 - Pontuação total - unidade 1.

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	Unidade geminada 1
	Envoltória para Verão	<b>C</b>
		3,00
	Envoltória para Inverno	Não se aplica
		0,00
	Aquecimento de Água	<b>E</b>
		1,00
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>
		3,00
	Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>C</b>
3,00		
Bonificações	0,40	
Região	Sudeste	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>	<b>C</b>	
<b>Pontuação Total</b>	<b>2,70</b>	

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

## 8 PROPOSTAS

Neste tópico serão propostas mudanças para que a UH apresente melhor eficiência energética e conforto térmico. Visando uma melhor classificação quando submetida ao RTQ. As alterações escolhidas visam atingir o maior conforto térmico da unidade habitacional.

Para atingir o objetivo, dito anteriormente, alguns pré-requisitos terão de ser atendidos, pré-requisitos estes que se não atendidos impossibilitam a classificação da UH em níveis “A” ou “B”. São eles a transmitância térmica e capacidade térmica da envoltória, porcentagem de área de abertura efetiva para a ventilação em relação com a área útil do ambiente e a porcentagem das áreas de abertura para iluminação natural em relação à área útil do ambiente.

### **Paredes externas:**

A simples modificação do bloco cerâmico de 9x19x19 para o bloco de cerâmica 12x19x19 nas paredes externas resultaria no atendimento das paredes a norma NBR 15575. A parede passaria de uma capacidade térmica de 102,7 kJ/m<sup>2</sup> para 155 kJ/m<sup>2</sup>, sendo o valor mínimo pedido pela norma 130kJ/m<sup>2</sup>. A transmitância térmica mudaria para 2,13 W/m<sup>2</sup>.K que continua sendo menor ou igual a 3,7 W/m<sup>2</sup>.K (ver Tabela 11).

Outra proposta de mudança para as paredes externas é a escolha consciente das cores de tinta utilizadas. Utilizar somente cores com absorvância ( $\alpha$ ) menores que 0,6 permite que o valor de transmitância térmica da parede possa ser maior ou igual a 3,70 (ver tabela 11). No Residencial Santos Dumont a cor verde alecrim ( $\alpha = 0,64$ ) seria descartada. Entretanto visando aumentar a classificação da envoltória o uso da tinta de cor branca é essencial, já que possui absorvância ( $\alpha$ ) de 0,10.

### **Cobertura:**

Pode-se diminuir a absorvância da cobertura trocando sua cor por uma mais clara, ou reduzir sua transmitância térmica a partir da utilização de materiais isolantes.

A telha cerâmica rustica de cor terracota ( $\alpha = 0,80$ ) utilizada nas unidades habitacionais possui absorvância maior do que 0,6 e, por isso, o pré-requisito de possuir



transmitância térmica menor ou igual a  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , o qual o sistema de cobertura da UH não atende. Consequentemente a unidade recebe a classificação máxima de nível “C”.

A troca desta telha por uma telha rustica branca e mesclada (ver Figura 11) com absorvância de 0,53 (MUNIZ-GÄAL et al., 2018) resultaria na alteração do pré-requisito de transmitância térmica, que passaria a ser igual ou menor que  $2,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . O que resultaria na possibilidade de maior classificação do sistema de envoltória da UH (ver Tabela 10).

O valor da telha cerâmica terracota é de R\$ 18,00 por metro quadrado enquanto a telha cerâmica rustica mesclada e branca é de R\$ 24,00 por metro quadrado.

Figura 12 - Telha cerâmica rustica branca e mesclada.



Fonte: La Cobertura

### **Ventilação natural:**

O pré-requisito de ventilação natural quando não atendido implica na classificação máxima de nível “C” no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento.

$$P_{vAPP} = 100 \times \frac{(A_{vent})}{(A_{piso})} = 8\% = P_{vAPP} = 100 \times \frac{(A_{vent})}{(4,82)} = 8\%$$

$$A_{vent} = 0,38m^2$$

Para atender ao requisito de ventilação natural a janela da cozinha deveria ser uma janela basculante de 0,64m<sup>2</sup> com área de ventilação de 0,38m<sup>2</sup> e dimensões 0,60 x 1,0m. Esta troca aumentaria o custo da esquadria, entretanto também atenderia os pré-requisitos para a ventilação natural, como pode ser visto na Tabela 10. A proposta de troca da esquadria da cozinha para uma com dimensões maiores acarretaria na duplicação do valor da mesma.

As janelas da sala e dos dormitórios 1 e 2 é de correr, o que diminui a área de ventilação das aberturas se trocada por janelas de abrir todos os ambientes atenderão ao requisito imposto para percentual de ventilação e de iluminação natural nos dormitórios.

### **Iluminação natural:**

A esquadria escolhida para os dormitórios é estilo veneziana e de correr, o que diminui a incidência de luz natural que adentra o ambiente. A troca por janelas do mesmo estilo veneziana porem de abrir será o suficiente para atender a especificação do tópico de iluminação natural nestes ambientes.

### **Sistema de aquecimento de água**

O Programa Minha Casa Minha Vida passou por várias alterações desde a sua criação, dentre estas modificações foram feitos esforços para que dispositivos de sustentabilidade ambiental fossem integradas ao programa. Nas diretrizes para projetos previstas na Portaria nº 93 do Ministério das Cidades de 24 de fevereiro de 2010 as diretrizes já eram citadas a possibilidade da implementação de sistemas de energia solar, nas regiões sul, sudeste e centro-Oeste, com valor máximo previsto de R\$ 2.500,00 (dois mil e quinhentos reais) por unidade em empreendimentos multifamiliares e de R\$ 1.800,00 (um mil e oitocentos reais) em empreendimentos horizontais. A implantação de sistemas de aquecimento solar de água passou a ser obrigatória na segunda fase do programa (PMCMV 2) para as unidades térreas, a Lei nº 12.424, de 16 de junho de 2011, que estabelece o Programa Minha Casa Minha Vida 2, autoriza o custo da aquisição e instalação de SAS. A obrigação e

regulamentação foi feita na portaria Nº 325, de 7 de julho de 2011 que estabelece que os empreendimentos faixa 1 compostos por unidades habitacionais unifamiliares deverão contemplar sistemas de aquecimento solar, sendo opcional nas habitações multifamiliares. A instalação não dispensa a existência de um sistema de aquecimento auxiliar em caso de falha do SAS. O custo para a implantação foi definido de no máximo R\$2.000,00 (dois mil reais), sendo este valor acrescido ao valor regular da unidade previsto pelo programa.

O sistema de aquecimento de água proposto é misto, combinação entre o sistema de aquecimento solar e o sistema de aquecimento elétrico (chuveiro elétrico), auxiliar. Desta forma, a proposta de implementação do sistema de aquecimento solar de água, embasada na iniciativa governamental para o PMCMV, elevaria a classificação da unidade neste parâmetro para o nível B, com equivalente numérico 3,5, levando em consideração que o sistema seguiria todas os pré-requisitos descritos no RTQ e seguir as normas técnicas existentes de acordo com o termo de referência sobre o SAS da Caixa.

Tabela 10 - Análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes – unidade proposta.

Zona Bioclimática	ZB		ZB6	ZB6	ZB6	ZB6
Ambiente	Identificação	adimensional	Cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	4,82	7,50	8,50	11,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	1	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	2,04	2,04	2,04	2,04
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	21,00	21,00	21,00	21,00
	αcob	adimensional	0,53	0,53	0,53	0,53
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,13	2,13	2,13	2,13
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	155,00	155,00	155,00	155,00
	αpar	adimensional	0,10	0,10	0,10	0,10
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	2,04	5,30	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	6,75	2,28
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	8,10	7,74	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	2,28	1,44	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	2,04
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	1,44	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,65	0,90	0,90	0,90
	Somb	adimensional	0,20	1,00	1,00	0,20
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	19,50	13,17	14,25	32,26
	Pé Direito	m	2,70	2,70	2,70	2,70
	C altura	adimensional	0,560	0,360	0,318	0,241
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
			<b>5406</b>	<b>2705</b>	<b>1856</b>	<b>3050</b>
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
			0,000	0,000	0,000	0,000
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica	<b>C</b>	<b>B</b>	Não se aplica
			0,000	<b>20,451</b>	<b>18,948</b>	0,000

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

Tabela 11 - Análise dos pré-requisitos da envoltória e equivalente numérico da envoltória – unidade proposta.

<b>Pré Requisitos da Envoltória</b>	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	<b>Ventilação Cruzada</b>	Área Aberturas orientação Norte	1,81
		Área Aberturas orientação Sul	1,3
		Área Aberturas orientação Leste	0
		Área Aberturas orientação Oeste	1,3
		A2/A1	1,436464088
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	<b>Banheiros com Ventilação Natural</b>	Nº BWC	1
		Nº Banheiros com ventilação natural	1
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	
<b>Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH</b>		<b>Nota anterior aos pré-requisitos</b>	<b>Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada</b>
	<b>Envoltória para Verão</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
		4,59	4,59
	<b>Envoltória para Inverno</b>	<b>Não se aplica</b>	<b>Não se aplica</b>
		0,00	0,00
<b>Envoltória se Refrigerada Artificialmente</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	
	3,53	3,53	
<b>Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos</b>	<b>Equivalente numérico da envoltória da UH</b>	<b>Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural</b>	<b>Nota final da envoltória da UH</b>
		<b>A</b>	<b>A</b>
		4,59	4,59

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

Tabela 12 - Análise da classificação final da UH - unidade proposta.

Pontuação Total	Identificação	Unidade proposta
	Envoltória para Verão	A
		4,59
	Envoltória para Inverno	Não se aplica
		0,00
	Aquecimento de Água	B
		3,50
	Equivalente numérico da envoltória	A
		4,59
	Envoltória se refrigerada artificialmente	B
3,53		
Bonificações	0,40	
Região	Sudeste	
Coeficiente a	0,65	
Classificação final da UH		A
Pontuação Total		4,61

Fonte: Planilha Labeee, preenchida pela autora (2020)

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho concluiu-se que as unidades habitacionais do Residencial Santos Dumont em Montes Claros, Minas Gerais não possuem conforto térmico adequado para os seus moradores. Visto que a envoltória não atendeu os pré-requisitos presentes na norma NBR 15575-4 e no RTQ-R, como a transmitância térmica da cobertura, a capacidade térmica das paredes externas e o percentual de abertura para ventilação natural dos APPs.

Se submetida a etiquetagem residencial receberia a classificação “C” (EqNum = 2,70), um nível abaixo do recomendado que poderia ser melhorado com o atendimento dos pré-requisitos da NBR 15575 e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

As alternativas propostas neste trabalho, visando o atendimento de mais pré-requisitos presentes na norma de desempenho e RTQ, mudariam a classificação final da UH para o nível "A" (EqNum = 4,61), como pode ser visto na tabela 14. Conjuntamente foi alcançada a classificação de nível "A" para a envoltória (EqNum = 4,59), deste modo o conforto térmico e lumínico sofreram uma melhoria considerável (ver Tabela 12).

As mudanças propostas neste trabalho englobam mudanças simples de serem implementadas agora, já que o Residencial Santos Dumont está finalizado, como a pintura das casas da cor branca e a implementação do SAS, que é, atualmente, obrigatório neste tipo de empreendimento. Entretanto são propostas mudanças que só poderiam ser feitas previamente a sua construção das unidades habitacionais, como a dimensão dos blocos cerâmicos, cor das telhas cerâmicas, tamanho e modelo das esquadrias. Ainda sim todas as modificações são pequenas e simples se comparadas a melhora no desempenho térmico das unidades e no atendimento dos vários pré-requisitos presentes tanto na norma de desempenho, quanto no RTQ, como pode ser observado nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Comparação entre os parâmetros da NBR 15575 da unidade geminada 1 e unidade proposta.

<b>Parâmetros</b>	<b>NBR 15575</b> Unidade geminada 1	<b>NBR 15575</b> Unidade proposta
<b>U<sub>par</sub></b> Zona bioclimática 6: U <sub>par</sub> ≤ 3,7 W/m <sup>2</sup> .K e α <sub>par</sub> ≤ 0,6 U <sub>par</sub> ≤ 2,5 W/m <sup>2</sup> .K e α <sub>par</sub> > 0,6	2,38 W/m <sup>2</sup> .K	2,13 W/m <sup>2</sup> .K
<b>α<sub>par</sub></b>	0,44	0,10
<b>CT<sub>par</sub></b> Zona bioclimática 6: CT <sub>par</sub> ≥ 130 kJ/m <sup>2</sup> .K	102,7 kJ/m <sup>2</sup> .K	155,0 kJ/m <sup>2</sup> .K
<b>P<sub>VAPP</sub></b> P <sub>VAPP</sub> ≥ 7,0 % da área do piso	Sala de estar: 6,83%	Sala de estar: 12,86%
	Cozinha: 1,86%	Cozinha: 8,0%
	Dormitório 1: 9,0%	Dormitório 1: 19,2 %
	Dormitório 2: 8,0%	Dormitório 2: 16,94%
<b>P<sub>tAPP</sub></b> A <sub>pisoAPP</sub> ≤ 20m <sup>2</sup> e P <sub>tAPP</sub> ≤ 20% A <sub>pisoAPP</sub> > 20 m <sup>2</sup> e A <sub>transAPP</sub> ≤ 4,0m <sup>2</sup>	Sala de estar: 16,60%	Sala de estar: 16,60%
	Cozinha: 20,73%	Cozinha: 27,68%
	Dormitório 1: 0%	Dormitório 1: 0%
	Dormitório 2: 0%	Dormitório 2: 0%
<b>U<sub>cob</sub></b> Zona bioclimática 6: U <sub>cob</sub> ≤ 2,3 W/m <sup>2</sup> .K e α <sub>cob</sub> ≤ 0,6 U <sub>cob</sub> ≤ 1,5 W/m <sup>2</sup> .K e α <sub>cob</sub> > 0,6	2,04 W/m <sup>2</sup> .K	2,04 W/m <sup>2</sup> .K
<b>α<sub>cob</sub></b>	0,80	0,53

Fonte: Autora



Tabela 14 - Comparação da pontuação do RTQ entre a unidade geminada 1 e unidade proposta

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	Unidade geminada 1	Unidade proposta
	Envoltória para Verão	<b>C</b>	<b>A</b>
		3,00	4,59
	Envoltória para Inverno	Não se aplica	Não se aplica
		0,00	0,00
	Aquecimento de Água	<b>E</b>	<b>B</b>
		1,00	3,50
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>	<b>A</b>
		3,00	4,59
	Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>C</b>	<b>B</b>
3,00		3,53	
Bonificações	0,40	0,40	
Região	Sudeste	Sudeste	
Coeficiente a	0,65	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	
<b>Pontuação Total</b>	<b>2,70</b>	<b>4,61</b>	

Fonte: Projeteee, preenchida e modificada pela autora.

## 10 REFERÊNCIAS

ARANTES, Beatriz. **Conforto térmico em habitações de interesse social - um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012.

ASHRAE STANDARD 55 – 2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

BENETTI, P. **Habitação Social e Cidade: desafios para o ensino de projeto**. 1. Ed. – Rio de Janeiro: Rio Book's, 2012.

BORMIO, Mariana Falcão; SILVA, José Carlos Plácido da. **Avaliação pós-ocupação ambiental de escolas da cidade de Bauru (SP) e Lençóis Paulista (SP): um estudo ergonômico visto pela metodologia EWA**. Revista Educação Gráfica, 2008.

BRASIL, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Brasil, Eletrobrás/Inmetro, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria no 93 de 24 fevereiro de 2010**. Diário Oficial da União. Brasília, 25 de fevereiro de 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Termo de Referência - Sistemas de Aquecimento Solar de Água - SAS**. Brasília, 2013. Disponível em <[www.downloads.caixa.gov.br](http://www.downloads.caixa.gov.br)>. Acesso em 29/07/20

CARLO, J C; LAMBERTS, R. **Processamento de arquivo climático para simulação do desempenho térmico de edificações**. ELETROBRÁS/PROCEL, Relatório Técnico: LabEEE-200504. Florianópolis, SC, 2005.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental** – 2 ed. Ver. E ampl. – Rio de Janeiro: Revan, setembro de 2009.

FERREIRA, J.S.W.. **Produzir casas ou construímos cidades? Desafios para um novo Brasil urbano**. 1. ed. São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo** — 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001

GUIMARÃES, E.N. **Habitação Social em Montes Claros: Aspectos e Abrangência das Políticas Públicas**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros – MG, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *População no último censo*: IBGE, Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016.

MARRA, Natalia Carolina Souza Nascentes. **Avaliação do conforto térmico em conjunto habitacional de interesse social – Simulação computacional com o programa Solene Microclima** 2017. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós graduação em Ambiente Construído e Patrimônio sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017

MAIA, D. S.; LIMA, Y. S.; GOMES, L. C. **Energia Solar em Habitações Populares: Uma Experiência na Política Habitacional Brasileira**. In: V Simposio Internacional

de la Historia de la Electrificación La electricidad y la transformación de la vida urbana y social. 2019, Évora

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H. de; MOTA, L. T. M. **Eficiência térmica de materiais de cobertura**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 503-518, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

OLIVEIRA, T. A. de; RIBAS, O. T. **Sistemas de controle das condições ambientais de conforto**. Ministério da Saúde. Brasília, 1995.

\_\_\_\_. **Atender às normas de desempenho é indicativo de conforto térmico na edificação de uso habitacional?**. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/18.211/6828>>. Acesso 10 de abril de 2020

RIBEIRO, G. S. **Conforto ambiental, sustentabilidade, tecnologia e meio ambiente: estudo de caso Hospital Sarah Kubitschek – Brasília**. III Fórum de pesquisa FAU – Mackienze. São Paulo, 2007

SERRADOR, M. E. **Sustentabilidade em arquitetura: referencias para projeto**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SILVA, Isadora Santos. **Comparativo Entre Duas Abordagens Projetuais De Habitação De Interesse Social - Residencial Santos Dumont - Montes Claros – MG**. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2018.

SILVA, Nayane Laurentino. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa/PB**, 2015. Tese (Programa de pós-graduação em engenharia da produção) – Universidade Federal da Paraíba, Joao pessoa, PB, 2015.

GUIMARÃES, E.N. **Habitação Social em Montes Claros: Aspectos e Abrangência das Políticas Públicas**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros – MG, 2007

ANEXO I

