

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO NAS PAREDES DE HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL DE DOURADOS (MS)**

BRUNA BERNARDES DA SILVA

Dourados-MS

2017

BRUNA BERNARDES DA SILVA

**ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO NAS PAREDES DE HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL DE DOURADOS (MS)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Me. Wagner da Silveira

Dourados-MS

2017

BRUNA BERNARDES DA SILVA

**ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO NAS PAREDES DE HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL DE DOURADOS (MS)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia de Produção da  
Universidade Federal da Grande Dourados como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Wagner da Silveira  
Orientador

---

Prof. Me. Márcio Rogério Silva

---

Prof. Dr. Rogério da Silva Santos

Dourados-MS

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a força necessária para concluir este trabalho.

À minha família pelo amor, incentivo e apoio durante todos esses anos.

Ao professor e orientador deste trabalho, Wagner da Silveira, pela ajuda e suporte na realização deste trabalho.

*“Obstáculo é aquilo que você enxerga  
quando tira os olhos do seu objetivo”*

*(Henry Ford)*

## RESUMO

Os problemas ambientais atuais que a humanidade está enfrentando tornou essencial a busca por meios de reduzir o uso de recursos naturais e dos impactos causados pelas atividades do homem. Uma possibilidade a ser considerada é a diminuição do consumo de energia através da melhoria do desempenho térmico das construções, o que reduziria de maneira considerável uso de energia com aparelhos climatizadores. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é definir quais características de uma habitação têm uma influência significativa na melhoria do conforto térmico para seu ocupantes. Para isto, calculou-se a intensidade de fluxo de calor do ambiente externo para o interno que atravessa a parede de alvenaria de edificações financiadas pelo programa habitacional Minha Casa, Minha Vida na cidade de Dourados (MS). Na realização do estudo foram medidas as temperaturas internas e externas das habitações, as dimensões da parede de alvenaria e coletado informações sobre os materiais utilizados. Através das equações de transferência de calor por condução, convecção e radiação e outros indicadores de desempenho térmico, analisou-se as situações das casas e comparou-se os valores obtidos com aqueles definidos, pela literatura, como os parâmetros ideais para a região. Como resultado, comprovou-se que é a espessura da parede que influencia de forma significativa na quantidade de calor transferido do ambiente externo para o interno de uma construção, pois ela está diretamente relacionada com a resistência térmica e que apenas a transmissão de calor por condução é relevante no estudo do desempenho térmico. Dessa forma, a alteração dessa característica reduz o fluxo de calor e isso conseqüentemente diminui a temperatura interna e melhora o conforto térmico para os moradores.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Intensidade de fluxo de calor. Habitação de interesse social. Temperatura. Desempenho térmico.

## ABSTRACT

The current environmental problems that the humanity facing was made it essential to seek ways to reduce the use of natural resources and the impacts caused by human activities. One possibility to be considered is the reduction of energy consumption by improving the thermal performance of buildings, which would considerably reduce energy use with air conditioners. Thus, the objective of this work is to define which characteristics of a habitation that have a significant influence on the improvement of thermal comfort for occupants. For this, the intensity of heat transfer from the external environment to the interior that crosses the masonry wall of houses financed by the housing program Minha Casa, Minha Vida in the city of Dourados (MS) was calculated. In the accomplishment of the study were measured the internal and external temperatures of the houses e the dimensions of the masonry wall and were collected information about the materials used in construction. Through the conduction, convection and radiation equations of heat transfer and other thermal performance indicators, the situations of the houses were analyzed and the values obtained were compared with those defined by the literature as the ideal parameters for the region. As a result, it has been proven that it is the wall thickness that significantly influences the amount of heat transferred from the external environment to the interior of a building, since it is directly related to the thermal resistance and that only heat transmission by conduction is relevant in the study of thermal performance. In this way, the change of this characteristic reduces the heat flow and this consequently decreases the internal temperature and improves thermal comfort for the residents.

**Keywords:** Thermal comfort. Intensity of heat transfer. Social interest housing. Temperature. Thermal performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01-Condução em paredes planas.....	26
Figura 02-Habitação analisada.....	34
Figura 03-Materiais utilizados na construção.....	35
Figura 04-Mini Thermo-Anemometer.....	36
Figura 05-Trena Western.....	37
Figura 06-Seções da alvenaria.....	42
Figura 07-Bloco de nove furos.....	49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01-Propriedades térmicas de materiais utilizados na construção civil.....	22
Tabela 02-Traços recomendados de argamassa.....	24
Tabela 03-Dados do PMCMV I e PMCMV II.....	32
Tabela 04-Origem e distribuição dos recursos do PMCMV I (em bilhões de reais)...	33
Tabela 05-Dados coletados.....	40
Tabela 06-Propriedades térmicas dos materiais.....	41
Tabela 07-Fatores calculados para a Habitação.....	44
Tabela 08-Comparação dos dados.....	46
Tabela 09-Melhoria no desempenho térmico da habitação 1.....	48
Tabela 10-Melhoria no desempenho térmico da habitação 1 com blocos de 9 furos.....	50
Tabela 11- Absortância para radiação solar para cores de tinta.....	51
Tabela 12-Comparação do desempenho térmico.....	53
Tabela 13-Critérios para a avaliação de desempenho térmico.....	53

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
°C	Graus Celsius
$\rho$	Densidade
kg	Quilograma
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
W	Watt
m	Metro
K	Kelvin
J	Joule
cm	Centímetro
$\dot{q}$	Intensidade de fluxo de calor
k	Condutividade térmica do material
L	Espessura da parede
T <sub>1</sub>	Temperatura da superfície 1
T <sub>2</sub>	Temperatura da superfície 2/fluido
R <sub>T</sub>	Resistência térmica total da parede
K	Coeficiente global de transmissão térmica
e	Espessura da camada
$\bar{h}$	Coeficiente médio de transferência de calor por convecção
$\sigma$	Constante de radiação
$\epsilon$	Emissividade da superfície
R	Resistência térmica do material
R <sub>t</sub>	Resistência térmica da parede
A	Área
R <sub>se</sub>	Resistência térmica da superfície externa
R <sub>si</sub>	Resistência térmica da superfície interna
U	Transmitância térmica
CT	Capacidade térmica
c	Calor específico

R\$	Real
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
°F	Fahrenheit
ΔT	Varição da temperatura
α	Absortância de radiação solar

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01.....	26
Equação 02.....	26
Equação 03.....	27
Equação 04.....	27
Equação 05.....	28
Equação 06.....	28
Equação 07.....	29
Equação 08.....	29
Equação 09.....	29
Equação 10.....	29
Equação 11.....	30
Equação 12.....	30
Equação 13.....	30
Equação 14.....	43

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos .....	16
2.3 Justificativa.....	16
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
3.1 Alvenaria.....	18
3.1.1 Alvenaria de vedação.....	19
3.1.2 Alvenaria estrutural.....	19
3.2 Conforto térmico.....	20
3.3 Materiais.....	22
3.3.1 Argamassa.....	23
3.3.2 Blocos.....	25
3.4 Transmissão de calor.....	25
3.4.1 Condução, convecção e radiação.....	25
3.4.2 Resistência térmica.....	28
3.4.3 Transmitância térmica.....	29
3.4.4 Capacidade térmica.....	29
3.5 Programa habitacional Minha Casa, Minha Vida.....	30
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
4.1 Materiais.....	34
4.1.1 Habitações estudadas.....	34
4.1.2 Mini Thermo-Anemometer.....	36
4.1.3 Trena Western.....	36
4.2 Métodos.....	37
4.2.1 Pesquisa bibliográfica.....	38
4.2.2 Pesquisa em campo.....	38
4.2.3 Cálculos.....	38
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
5.1 Características das habitações.....	40

<b>5.2 Propriedades térmicas.....</b>	<b>40</b>
<b>5.3 Cálculos para análise do desempenho térmico.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.1 Habitação 1.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.1.1 Resistência térmica.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.1.2 Intensidade de fluxo de calor por condução.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.1.3 Transmitância térmica.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.1.4 Capacidade térmica.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3.1.5 Intensidade de fluxo de calor por convecção.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3.1.6 Intensidade de fluxo de calor por radiação.....</b>	<b>45</b>
<b>5.3.2 Habitação 2.....</b>	<b>45</b>
<b>5.3.3 Comparação entre as duas habitações.....</b>	<b>46</b>
<b>5.4 Sugestões de melhoria.....</b>	<b>47</b>
<b>5.4.1 Espessura do reboco.....</b>	<b>47</b>
<b>5.4.2 Blocos cerâmicos.....</b>	<b>49</b>
<b>5.4.3 Pintura.....</b>	<b>50</b>
<b>5.4.4 Tecnologias.....</b>	<b>51</b>
<b>5.4.4.1 Vermiculita.....</b>	<b>51</b>
<b>5.4.4.2 Perlita expandida.....</b>	<b>52</b>
<b>5.4.4.3 Materiais isolantes.....</b>	<b>52</b>
<b>5.5 Análise comparativa.....</b>	<b>52</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As habitações possuem a finalidade de proteger seus ocupantes de agentes externos e ainda proporcionar conforto e qualidade de vida aos mesmos. Entretanto, a preocupação de adequar as construções às condições climáticas não é mais priorizada, pois tornou-se mais fácil a utilização de aparelhos eletrônicos (ventiladores, climatizadores e ares-condicionados) para alterar o ambiente interno e reduzir o desconforto causado pelo clima (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2009).

Porém, o uso desses equipamentos demandam uma grande quantidade de energia elétrica. De acordo com a Eletrobrás, no ano de 2007, cerca de 20% do total produzido no Brasil foi utilizado no funcionamento de ares-condicionados.

Dessa forma, na atual situação ambiental, tornou-se essencial que as moradias apresentem propriedades capazes de reduzir a perda e o ganho de calor para proporcionar um conforto térmico aos moradores (SIMÕES et al., 2009), pois isso diminuiria o uso de energia e evitaria danos sociais e ao meio ambiente com a construção de usinas hidrelétricas para suprir a crescente demanda da mesma.

O conforto térmico pode ser definido como um estado de satisfação do ser humano com ambiente em que está inserido. Essa condição está relacionada, principalmente, com a temperatura, a umidade, a velocidade do ar e a radiação solar, mas também envolve outros dois fatores: o vestuário e os esforços físicos realizados pelos indivíduos (AKUTSU et al., 1987 citado por BELLO, 2013).

Na cidade de Dourados o clima predominante, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), é o mesotérmico úmido, onde os verões são quentes e apresentam temperaturas superiores a 22°C com picos máximos que podem ultrapassar os 40°C e os invernos são secos e temperaturas inferiores a 18°C. Na época mais quente do ano, mês de janeiro, as temperaturas atingem uma média de 25,8°C e no mês de junho, período mais frio, esse valor é de 18,3°C.

Considerando esses dados, pode-se observar que os habitantes locais seriam beneficiados com a melhoria do desempenho térmico de suas moradias, pois em

alguns meses as temperaturas máximas podem ultrapassar os 30°C.

A melhoria do desempenho térmico de uma construção envolve alterações na alvenaria, tanto dos materiais utilizados quanto das dimensões das camadas que a constituem, pois estes fatores influenciam na transferência de calor entre os ambiente externo e interno.

Assim, este trabalho tem a finalidade de definir quais as características da alvenaria que proporcionam um melhor conforto térmico aos moradores da cidade de Dourados. Para isso, foi realizado um estudo sobre a transferência de calor através das paredes, do comportamento térmico e influência dos materiais e das espessuras das camadas para definir a melhor alternativa para a solucionar o problema em questão.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Definir quais são as características das construções de alvenaria que proporcionam um melhor conforto térmico aos moradores da cidade de Dourados.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar cálculo da transmissão de calor por condução, convecção e radiação nas habitações;
- Calcular a resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica das paredes;
- Identificar as características da alvenaria e dos materiais que reduzem a transmissão de calor;
- Relacionar os fatores que influenciam o desempenho térmico com possíveis soluções para reduzir o fluxo de calor;
- Correlacionar o desempenho térmico com o consumo de energia na climatização de ambientes.

### **2.3 Justificativa**

A atual situação ambiental tornou essencial que a população desenvolva meios de economizar energia, porém a demanda pela mesma está em constante crescimento. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de alternativas para reduzir o consumo de eletricidade.

Considerando esse cenário e também que as temperaturas médias na cidade de Dourados (MS) são superiores a 30°C nas épocas mais quentes, esse trabalho visa o estabelecimento das características para as habitações, de modo a assegurar

o conforto térmico de seus habitantes para que estes não precisem fazer uso de aparelhos climatizadores para melhorar o clima do ambiente interno.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Alvenaria

Segundo Souza (2002), a alvenaria é o sistema construtivo mais antigo utilizado pelo homem, pois foi empregada na construção das primeiras moradias dos homens primitivos quando estes abandonaram a vida nômade e também das habitações, templos e monumentos das mais importantes civilizações conhecidas atualmente.

No entanto, mesmo com o significativo tempo de uso dessa técnica, foi somente no durante o século XX que ela passou a ser estudada cientificamente para criação de uma base teórica sobre os procedimentos envolvidos em sua execução.

Os primeiros materiais utilizados foram os blocos de rocha e a argila (para fixação, devido suas características físicas e mecânicas), porém as estruturas construídas com esses componentes não apresentaram uniformidade, tanto do formato quanto do material.

Em seguida, começaram a ser produzidos os blocos cerâmicos, o que solucionou o problema de irregularidade da utilização de pedras para a construção de casas, pois tornou-se possível a padronização das características geométricas das peças (VALLE, 2008).

A alvenaria é definida como um conjunto de elementos constituídos de materiais naturais, sintéticos ou de origem rochosa (tijolos, blocos ou pedras) fixados e unidos por um componente ligante (VALLE, 2008; MOLITERNO, 1995 citado por MAGALHÃES, 2004), o que forma uma estrutura capaz suportar seu próprio peso, a ação da gravidade, impactos, cargas externas e ainda isolar acusticamente e termicamente o ambiente interno (FERREIRA, 2015).

De acordo com Ferreira (2015), ela pode ser estrutural ou de vedação e a escolha entre estas duas opções envolve a análise da finalidade da construção, dos custos e dos recursos necessários.

### **3.1.1 Alvenaria de vedação**

A alvenaria de vedação é utilizada em construções tradicionais, onde as vigas, os pilares, as lajes e as fundações são os responsáveis pelo suporte estrutural (RAMALHO e CORRÊA, 2003 citado por FERREIRA, 2015), ou seja, estes suportam as cargas atuantes e os elementos da alvenaria (blocos e argamassa) são utilizados apenas para preencher os espaços. Dessa forma, elas são usadas, basicamente, para a separação de ambientes e para garantir a segurança e conforto dos edifícios (JODAS, 2006).

De acordo com Jodas (2006), em comparação com a alvenaria estrutural, seu projeto é mais simples, pois somente são necessários cuidados básicos no dimensionamento para assegurar a estabilidade da mesma.

### **3.1.2 Alvenaria estrutural**

Inicialmente, a alvenaria era usada somente para a vedação de construções, porém como o desenvolvimento científico na construção civil e dos materiais empregados neste setor ela passou também a ser utilizada para sustentar as tensões atuantes (SILVA, 2007).

A alvenaria estrutural é o sistema construtivo capaz de suportar cargas, como seu próprio peso, lajes, cobertura e agentes externos (FERREIRA, 2015) e é muito difundido no Brasil devido sua economia e fácil processo de execução (MOHAMAD et al., 2009).

O projeto, dimensionamento e construção de obras onde esta é empregada exige o envolvimento de profissionais qualificados, pois cálculos devem ser feitos para garantir a segurança e solidez da estrutura a ser construída (FERREIRA, 2015).

A alvenaria estrutural é constituída, principalmente, por blocos ou tijolos vazados e argamassa, que são os elementos que realizarão a função estrutural da edificação. Porém, também pode-se utilizar outros elementos complementares,

como armaduras e o graute (concreto utilizado para preencher os espaços vazios dos blocos), dependendo da categoria desse tipo de alvenaria (PEDRA, 2011).

Esse sistema construtivo pode ser classificado em quatro tipos, que são (SILVA, 2007; FERREIRA, 2015):

- Armada: é reforçada com armaduras de aço. Estas são posicionadas nas lacunas dos blocos, que então são enchidas com o graute;
- Não armada: constituída apenas por blocos e argamassa;
- Parcialmente armada: construção que contém paredes de alvenaria armada e paredes de alvenaria não armadas;
- Protendida: é reforçada com armaduras já tensionadas que impõem tensões compressivas sobre a alvenaria.

As alvenarias estruturais não armada e parcialmente armada são mais apropriadas para a construção de edifícios, pois grande parte das cargas atuantes nesses tipos de construções são verticais. Porém, quando existe predomínio de cargas laterais o uso das alvenarias armada e protendida é mais recomendado.

### **3.2 Conforto térmico**

O conforto térmico representa o estado mental de satisfação de um indivíduo com as condições ambientais que o cerca. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2009), as variáveis que o influenciam são a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade relativa, a velocidade do ar, as vestimentas e os esforços físicos realizados.

Quando o ser humano se sente confortável termicamente, ele apresenta um melhor desempenho e rendimento nas suas atividades físicas e mentais, pois não existe a necessidade da utilização de uma grande quantidade de energia para alterar a temperatura do corpo humano (BELLO, 2013).

Porém, quando há uma insatisfação, o mecanismo de termorregulação é acionado e isto exige um esforço adicional, ou seja, uma quantidade extra de

energia é usada para regular a temperatura corporal, o que reduz o desempenho na realização de tarefas e causa desconfortos e fadiga térmica nos indivíduos (CAMARGO e FURLAN, 2011).

O mecanismo de termorregulação é o responsável pelo controle das perdas e ganhos de calor para que a temperatura corporal permaneça entre os valores de 36,1 e 37,2°C (FROTA e SHIFFER, 2001). O funcionamento deste, segundo Grzybowski (2004), envolve três tipos de reações do organismo, que são:

- Vasoconstrição: diminuição da circulação sanguínea e aumento da resistência térmica da pele, provocados pelas condições frias do ambiente, para reduzir as perdas de calor para o ambiente;
- Vasodilatação: ocorre uma redução da capacidade de isolamento térmico da pele através do aumento da circulação sanguínea do corpo humano, o que facilita a liberação do calor do corpo para o ambiente;
- Sudação: é processo de liberação de suor pelas glândulas sudoríparas para a redução da temperatura corporal.

As trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente pode acontecer através de trocas secas (condução, convecção e radiação), que ocorre devido a diferença de temperatura, e de trocas úmidas (evaporação e condensação), que envolvem a mudança de estado físico do suor (FROTA e SHIFFER, 2001). O calor perdido, de acordo com o tipo de troca, são chamados de calor sensível e calor latente, respectivamente.

De acordo com Bello (2013), o mecanismo termorregulador presente no corpo humano não é capaz de evitar o desconforto térmico causado por climas muito intensos e, dessa forma, é essencial que o indivíduo utilize outros meios para manter a temperatura corporal estável. Isto envolve o emprego de roupas apropriadas e também a construção de habitações que possuem características que garantam o conforto térmico.

### 3.3 Materiais

Segundo Silva (2007), os materiais que compõem a alvenaria são a argamassa e os blocos, que tem um papel fundamental no processo construtivo. Com o avanço tecnológico, estes sofreram algumas mudanças no intuito de melhorar o resultado final da construção.

A Tabela 01 apresentada abaixo mostra as propriedades térmicas dos principais materiais empregados na construção civil de acordo com a NBR 15220-Projeto 02:135.07-001/2. A tabela completa pode ser encontrada no Anexo A.

Tabela 01-Propriedades térmicas de materiais utilizados na construção civil

MATERIAL	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
Tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
Areia seca	1500	0,30	2,09

Fonte: Adaptado de ABNT Projeto 02:135.07-001/2

O concreto normal é o material com maior densidade e condutividade térmica. Os tijolos e telhas de barro apresentam valores menores que os do concreto normal. A areia tem a menor densidade, a menor condutividade térmica e o maior calor específico. A argamassa comum possui propriedades intermediárias quando comparada ao concreto normal e a areia seca.

#### 3.3.1 Argamassa

A argamassa tem a finalidade de fazer a união entre os blocos da alvenaria. Dessa forma, esta deve apresentar algumas propriedades que são responsáveis por proporcionar essa capacidade a mesma, que são (SILVA, 2007):

- Boa plasticidade;

- Consistência;
- Capaz de reter água;
- Durabilidade.

Segundo Mohamad et al. (2009) e Silva (2007), esse elemento é composto basicamente por areia, cimento, água e cal. A areia é produzida através da fragmentação de rochas e pode existir em três diferentes de granulometrias: a grossa, a média e a fina. Na alvenaria é utilizada a areia média para o revestimento das paredes (emboço) e a fina para o reboco (BUENO, 2000).

O cimento e o cal são classificados como aglomerantes, que são substâncias no formato de pó que sofrem reações químicas quando é adicionada água. O primeiro é definido por Bueno (2000), como um “material pulverulento (pó) de cor acinzentada, resultante da calcinação de pedras calcárias carbonatadas contendo entre 20 a 40% de argila” e o segundo pode ser entendido como aquele obtido através do processo de calcinação de pedras calcárias, sendo que podem ser do tipo hidráulica e hidratada.

As argamassas usadas nas construções podem ser produzidas industrialmente ou no local onde será utilizada (SILVA, 2007). Para o último caso é necessário conhecer como é feita a dosagem, em traços, dos componentes que compõem esse elemento construtivo. Por exemplo, em um traço de 1:8 cimento e areia, que é o recomendado para o assentamento dos blocos cerâmicos e para o emboço, tem-se uma parte de cimento e oito de areia (BUENO, 2000). A Tabela 02 a seguir contém os traços para outras aplicações:



Tabela 02-Traços recomendados de argamassa

USO	TRAÇO
<b>Alvenaria de pedra em fundações de baldrame</b>	
Cimento e areia grossa	1:16
Cimento, cal e areia grossa	1:2:12
<b>Muro de arrimo, alvenaria de pedra</b>	
Cimento e areia grossa	1:5
<b>Alvenaria de tijolos</b>	
Cimento, areia ou saibro	1:8
Cimento, areia + 10% terra vermelha	1:8
Cimento, saibro e areia	1:3:9
Cal e areia	1:4
Cimento, cal e areia	1:2:8-1:2:10
<b>Emboços</b>	
Cimento, areia ou saibro	1:8
Cimento, areia + 10% terra vermelha	1:8
Cimento, saibro e areia	1:3:9
Cal e areia	1:4
Cimento, cal e areia	1:2:8-1:2:10
<b>Rebocos</b>	
Cimento, cal e areia fina	1:2:5
Cal e areia fina	1:1
Cal e areia com 50 kg cimento/m <sup>3</sup>	1:2
<b>Chapisco em superfícies lisas</b>	
Cimento e areia	1:6
<b>Assentamento tacos, ladrilhos, mármore e pedras em placas</b>	
Cimento e areia	1:4-1:5
<b>Assentamento em azulejos</b>	
Cimento, cal e areia	1:2:8
Cimento, areia e saibro	1:3:5
<b>Revestimento de piso cimento</b>	
Cimento e areia	1:3-1:4

Fonte: Bueno (2000)

O traço mais comum empregado na alvenaria de tijolo e no emboço é a mistura de uma parte de cimento e oito de areia, sendo que pode ser adicionado em média três partes de um elemento complementar como a cal e o saibro. Nos rebocos

os materiais principais são a cal, o cimento e a areia fina, onde utiliza-se uma parte do primeiro, duas do segundo e cinco do terceiro componente.

### **3.3.2 Blocos**

Atualmente, na alvenaria, os blocos cerâmicos e os de concreto são os mais empregados na alvenaria de vedação. O primeiro é produzido em argila através do processo de extrusão e é submetido à queima para aumentar sua resistência mecânica (SILVA, 2007; BUENO, 2000). O segundo é composto por cimento e brita e sua fabricação envolve os processos de prensagem em fôrmas e cura (SILVA, 2007).

As dimensões de ambos são determinadas em normas. De acordo com Silva (2007), para os blocos cerâmicos a mais utilizada é a de 39 x 19 cm com espessura variando entre 9 cm e 19 cm e para os de concreto é 39 x 19 cm com a espessura de 6,5 até 19 cm.

## **3.4 Transmissão de calor**

### **3.4.1 Condução, convecção e radiação**

A transmissão de calor ocorre através de três tipos de processos: condução, convecção e radiação.

A condução é o processo de transmissão de calor de uma região com maior temperatura para uma com menor temperatura que ocorre através dos movimentos atômicos, moleculares e eletrônicos. Pode envolver materiais que estejam em contato ou apenas um que apresente partes com temperaturas distintas (BEZERRA, 2003; BARBOSA, 2014).

A fração de calor transmitida depende do tipo de material que o corpo é constituído, da espessura e as variações de temperatura em uma mesma área

(RODRIGUES, 2010).

A condução em paredes planas, demonstrada na Figura 01 abaixo, pode ser mensurada através da lei de Fourier, que é representada pela Equação 01 (SOUZA, 2010; RODRIGUES, 2010):

$$\dot{q} = k \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

$\dot{q}$  é a intensidade de fluxo de calor;

k é a condutividade térmica do material;

L é a espessura da parede;

T1 é a temperatura da superfície 1;

T2 é a temperatura da superfície 2.

A lei de Fourier é empregada apenas para o cálculo da intensidade de fluxo de calor em paredes planas.

O valor para  $\dot{q}$  também pode ser encontrado através da Equação 02:

$$\dot{q} = \frac{(T_1 - T_2)}{RT} \quad \text{Equação 02}$$

Sendo que RT é a resistência total da parede.

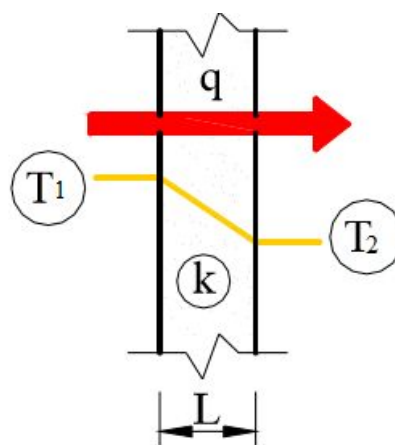


Figura 01-Condução em paredes planas  
Fonte: Adaptado de Edmundo Rodrigues (2010)

A Equação 01 pode ser empregada no cálculo da transferência de calor em paredes heterogêneas, ou seja, aquelas compostas por camadas de diferentes materiais (FINGER, 2003 citado por ARAÚJO, 2004). Para isso, é necessário determinar o coeficiente global de transmissão térmica ( $K$ ), que é obtido através da Equação 03 a seguir:

$$\frac{1}{K} = \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n} \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

$e_n$  é a espessura da camada;

$k_n$  é condutividade térmica do material.

A convecção é o processo de transmissão de calor, entre dois fluidos ou entre um sólido e um fluido com diferentes temperaturas, que ocorre por meio do transporte de massa (BEZERRA, 2013; RORIZ, 2008). Existem dois tipos de convecção e estas dependem da forma que é iniciado o escoamento do fluido, que são:

- Convecção forçada: o movimento do fluido é provocado por meios mecânicos;
- Convecção natural: o escoamento é resultado da diferença de densidade dos meios.

É expressa pela Equação 04 (RODRIGUES, 2010):

$$\dot{q} = \bar{h} (T_1 - T_2) \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

$\dot{q}$  é a intensidade de fluxo de calor;

$\bar{h}$  é o coeficiente médio de transferência de calor por convecção;

$T_1$  é a temperatura da superfície;

$T_2$  é a temperatura do fluido.

Souza (2010) afirma que  $\bar{h}$  representa “a quantidade de calor que se transfere da superfície até o fluido, por unidade de tempo e unidade de área, quando a diferença de temperatura entre a superfície e o fluido é de  $1^\circ\text{C}$ ”.

A radiação térmica é definida como a emissão de energia realizada pelos materiais. Este tipo de processo de transmissão de calor não necessita de um meio material ou de contato para que ocorra, pois é realizado através ondas magnéticas. Porém, é dependente da emissividade da superfície do material ( $\epsilon$ ) (SOUZA, 2010; BEZERRA, 2013).

É representada pela Equação 05:

$$\dot{q} = \sigma \epsilon (T_1 - T_2) \quad \text{Equação 05}$$

Onde:

$\dot{q}$  é a intensidade de fluxo de calor;

$\sigma$  é a constante de radiação ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ );

$\epsilon$  é a emissividade da superfície;

$T_1$  é a temperatura da superfície 1;

$T_2$  é a temperatura da superfície 2.

Souza (2010) afirma que “uma parte da energia radiante que incide sobre um corpo é perdida em função da sua capacidade de absorver, refletir e transmitir calor”.

### 3.4.2 Resistência térmica

A resistência térmica ( $R$ ) dos materiais representa a capacidade dos mesmos de impedir ou reduzir a transmissão do calor. Pode ser expressa pela Equação 06 (RORIZ, 2008; SOUZA, 2010):

$$R = \frac{L}{k} \quad \text{Equação 06}$$

Onde:

$L$  é a espessura da parede;

$k$  é a condutividade térmica do material.

O resultado dessa equação é a resistência térmica por metro quadrado do material.

Para paredes com camadas constituídas de apenas um material,  $R_t$  é obtido

por meio da Equação 07 a seguir (SOUZA, 2010):

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \text{Equação 07}$$

Relacionando as Equações 06 e 07 obtemos a seguinte expressão:

$$R_t = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n} \quad \text{Equação 08}$$

Quando as paredes são heterogêneas utiliza-se a Equação 09 seguir (SOUZA, 2010):

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad \text{Equação 09}$$

Onde:

$A_n$  é a área de cada camada;

$R_n$  é a resistência térmica de cada camada.

No entanto, é necessário considerar as resistências superficiais, que são aquelas relacionadas com a resistência do ar que se encontra em contato com a superfície da parede, e as das camadas de diferentes materiais que a constituem (SOUZA, 2010). Considerando esses fatores tem-se a Equação 10:

$$R_T = R_{se} + R_{si} + R_t \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$R_T$  é a resistência térmica total;

$R_{se}$  é a resistência térmica da superfície externa;

$R_{si}$  é a resistência térmica da superfície interna;

$R_t$  é o somatório das resistências das camadas (incluindo as camadas de ar).

Os resultados dessas equações é a resistência térmica por metro quadrado de parede.

### 3.4.3 Transmitância térmica

A transmitância térmica ( $U$ ) é uma variável que indica o desempenho térmico de uma habitação. Pode ser definida como:

O fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de

área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente (RORIZ, 2008, p. 13).

De acordo com a norma Desempenho térmico de edificações da ABNT (2003), é o inverso da resistência térmica total (RT) e é calculada com a Equação 11 abaixo:

$$U = \frac{1}{RT} \quad \text{Equação 11}$$

#### 3.4.4 Capacidade térmica

A capacidade térmica (CT) de um material é definida como a quantidade de calor necessária para que a sua temperatura se eleve em um grau e é quantificada através da Equação 12 a seguir (ABNT, 2003):

$$CT = \sum_{i=1}^n ei.ci.pi \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$\rho$  é a densidade do material;

$e$  é a espessura da camada;

$c$  é o calor específico do material da camada.

Para paredes heterogêneas CT pode ser encontrado através da Equação 13 abaixo:

$$CT = \frac{Aa+Ab+\dots+Ac}{\frac{Aa}{Ca} + \frac{Ab}{Cb} + \dots + \frac{Ac}{Cc}} \quad \text{Equação 13}$$

Onde A é a área de cada camada.

### 3.5 Programa habitacional Minha Casa, Minha Vida

O programa habitacional Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) foi criado pelo governo federal em colaboração com a Caixa Econômica Federal em 07 de julho de 2009, durante o segundo mandato do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, com a Lei

11.977.

No artigo 2º desta, a finalidade do PMCMV foi definida da seguinte forma:

O PMCMV tem por finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais pelas famílias com renda mensal de até dez (10) salários mínimos, que residam em qualquer dos municípios brasileiros (CONGRESSO NACIONAL, 2009, p.1)

Segundo Andrade (2012), o objetivo principal deste programa é diminuir o déficit habitacional brasileiro em 14%, que está centrado na população de baixa e de baixíssima renda. Esse indicador mostra a necessidade de reposição ou incremento do estoque de moradias do país em razão da falta de habitações em condições adequadas para a ocupação, devido à situações de coabitação forçada ou o ônus excessivo com aluguel urbano (WÜSTH, 2015; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2013).

Na tabela apresentada no Anexo B, pode-se visualizar o déficit nas unidades federativas e nas regiões metropolitanas do Brasil de acordo com a situação do domicílio no ano de 2009. No estado de Mato Grosso do Sul, este era de 78.733 habitações, onde 69.545 destas são relacionadas às áreas urbanas e 9.188 às áreas rurais. Na cidade de Dourados, o déficit, na época, era igual a 10 mil habitações (RESENDE, 2009).

O déficit nas áreas rurais, além de considerar os agricultores e outros trabalhadores rurais, inclui também a população indígena e assentados. Porém, estes são atendidos pelo Programa Nacional de Habitação Rural, uma esfera do programa Minha Casa Minha Vida destinada a construção de moradias no campo.

Para Foragi (2012), o PMCMV consiste "basicamente em subsídios e descontos para as famílias e incentivos para as empresas envolvidas no programa". Portanto, seu princípio é facilitar a realização de financiamentos, para a construção e reformas de habitações populares nas áreas urbanas, com menores taxas de juros, assistência financeira e melhores prazos (ANDRADE, 2012).

Atualmente, está em sua terceira fase e tem como meta a criação de dois milhões de moradias até o ano de 2018. A primeira, PMCMV I, foi de 2009 até o



início de 2011 e entregou um total de 1.005.128 de moradias, superando a meta inicial de um milhão. Em Dourados, o objetivo foi a construção de 1.292 moradias com um investimento de R\$ 50,3 milhões (REZENDE, 2009).

A segunda fase, PMCMV II, ocorreu de 2011 até 2014, durante o governo da presidente Dilma Rousseff, porém com uma meta de dois milhões de habitações. Além disso, essa edição teve a preocupação em elevar a qualidade das moradias, atender os prazos estabelecidos e atrair empresas maiores para participar do programa.

A Tabela 03 abaixo mostra as mudanças que foram feitas no PMCMV II. Houveram alterações nas faixas de renda das famílias beneficiadas, pois na primeira fase elas tinham como base a quantidade de salários mínimos e na seguinte as mesmas foram definidas segundo a renda mensal em reais (ANDRADE, 2012). Outro fator modificado foi o valor máximo dos imóveis financiados.

Tabela 03-Dados do PMCMV I e PMCMV II

Faixas	PMCMV I			PMCMV II		
	Renda mensal (n° de salários mínimos)	Habitações	Valor máximo do imóvel (R\$)	Renda mensal (R\$)	Habitações	Valor máximo do imóvel (R\$)*
Faixa 1	Até 3	400.000	41.000-52.000	1.600	1.200.000	76.000
Faixa 2	3 a 6	400.000	73.000-130.000	1.600-3.100	600.000	190.000
Faixa 3	6 a 10	200.000		3.100-5000	200.000	

Fonte: Adaptado de Andrade (2012) e Rolnik et al. (2015)

\*Os valores máximos dos imóveis dependem do município.

Os subsídios para o programa são provenientes de recursos do Fundo de Garantia pelo Tempo de Serviço (FGTS) e do Orçamento Geral da União (OGU) (RAMOS e CARDOSO, 2011). A Tabela 04 a seguir apresenta a origem e a distribuição dos R\$ 34 bilhões de reais que foram disponibilizados inicialmente para o PMCMV I.

Tabela 04-Origem e distribuição dos recursos do PMCMV I (em bilhões de reais)

	<b>OGU</b>	<b>FGTS</b>	<b>Total</b>
Subsídio para moradia	16,0	0,0	16,0
Subsídio em financiamento do FGTS	2,5	7,5	10,0
Fundo garantidor em financiamento do FGTS	2,0	0,0	2,0
Financiamento à estrutura	5,0	0,0	5,0
Financiamento à cadeia produtiva	0	1,0	1,0
<b>Total</b>	<b>25,5</b>	<b>8,5</b>	<b>34,0</b>

Fonte: Andrade (2012)

No PMCMV II o valor foi aumentado para R\$ 125 bilhões de reais, sendo R\$ 72 bilhões destinados aos subsídios e R\$ 53 bilhões para os financiamentos (ANDRADE, 2012).

No Mato Grosso do Sul, até 2016, foram investidos um total de R\$ 5.825 bilhões nesse programa e, aproximadamente, 60 mil de habitações foram entregues (FRANQUELINO; AVELINO JUNIOR, 2016).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo definir a metodologia que será empregada para atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho.

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Habitações estudadas

Para a realização do estudo proposto foram escolhidas duas habitações. A primeira habitação escolhida, mostrada na Figura 02 a seguir, possui uma área de 50 m<sup>2</sup> e está localizada no Jardim Ayde da cidade de Dourados. Ela contém dois quartos, uma sala, uma cozinha e um banheiro social.

A construção foi financiada com os recursos do programa social Minha Casa, Minha Vida e, de acordo com suas características, a mesma está classificada dentro da faixa 2.



Figura 02-Habitação analisada  
Fonte: Elaboração da própria autora

O sistema construtivo empregado foi a alvenaria de vedação e cobertura de laje com telhas cerâmicas. Os materiais utilizados, na Figura 03 abaixo, foram blocos cerâmicos de oito furos (a), areia fina (b), areia grossa (c), telhas cerâmicas (d), cimento e cal.



Figura 03-Materiais utilizados na construção  
Fonte: Elaboração da própria autora

- (a) bloco cerâmico
- (b) areia fina
- (c) areia grossa
- (d) telhas cerâmicas

A segunda habitação escolhida está localizada no centro da cidade de Dourados e também foi construída através do sistema de alvenaria de vedação, porém esta foi finalizada, diferentemente da primeira que ainda falta realizar a colocação de janelas, portas e pintura.

#### 4.1.2 Mini Thermo-Anemometer

Para a medição da temperatura interna e externa da habitação foi utilizado o termo anemômetro Mini Thermo-Anemometer, apresentado na Figura 04 abaixo, da marca Extech Instruments que possui sensores capazes de mensurar a temperatura, a umidade do ambiente e a velocidade do vento.



Figura 04-Mini Thermo-Anemometer  
Fonte: Elaboração da própria autora

Os termo anemômetros são equipamentos portáteis que possuem como funções principais realizar a medição da velocidade do ar em metros por segundos, pés por minuto ou quilômetros por hora e da temperatura de um ambiente em °C ou °F.

O Mini Thermo-Anemometer foi concedido para a realização do estudo por um dos técnicos responsáveis pelos laboratórios do curso de Engenharia de Energia.

#### 4.1.3 Trena Western

Uma Trena Western de três metros, mostrada na Figura 05 a seguir, foi

empregada na verificação das dimensões da parede e do bloco cerâmico utilizado na construção das edificações analisadas.



Figura 05-Trena Western  
Fonte: Elaboração da própria autora

## 4.2 Métodos

Para a realização deste trabalho, a metodologia empregada foi dividida em três etapas:

- Pesquisa bibliográfica: uma síntese dos estudos mais relevantes feitos até o momento sobre o assunto para buscar dados e informações que podem auxiliar no desenvolvimento e evitar erros no trabalho (MARCONI e LAKATOS; 2003);
- Pesquisa de campo: é uma investigação que possui a finalidade de coletar dados e informações sobre um fato para o entendimento de como o mesmo ocorre ou para solucionar um problema (PRODANOV e FREITAS, 2013; MORESI, 2003);
- Análise: é a interpretação dos dados obtidos na pesquisa de campo (MORESI, 2003).

#### **4.2.1 Pesquisa bibliográfica**

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica em teses, artigos publicados, dissertações, monografias e livros sobre os conceitos relacionados ao conforto térmico e suas variáveis, sobre os tipos de alvenarias e os materiais utilizados na construção das habitações e as definições e aplicações das equações de fluxo de calor em paredes homogêneas e heterogêneas.

#### **4.2.2 Pesquisa em campo**

A pesquisa em campo envolveu a visita em construções para a coleta dos dados necessários para a análise do desempenho térmico. Esta etapa foi realizada nos seguintes passos:

- Escolheu-se a parede com maior incidência solar da casa no horário da visita e com o Mini Thermo-Anemometer mediu-se a temperatura interna e a temperatura externa próxima a superfície da mesma;
- Com a trena aferiu-se a espessura da parede;
- Mediu-se a espessura do bloco cerâmico, a altura, a largura e o diâmetro dos furos;
- Realizou-se uma breve entrevista com um dos trabalhadores para apurar quais os tipos de materiais e a quantidade foi utilizada no preparo do reboco utilizado na construção das paredes da habitação.

#### **4.2.3 Cálculos**

Calculou-se o fluxo de calor, a partir das equações definidas na revisão bibliográfica deste trabalho, nas paredes de alvenaria das habitações visitadas e, com os valores obtidos, determinou-se as melhores características das construções que proporcionam uma melhor sensação térmica aos habitantes de Dourados.

Realizou-se também as comparações de conforto térmico e sugestões de melhoria para que a temperatura interior seja adequado para os ocupantes e estejam de acordo com o valor encontrado na literatura para o conforto térmico.



## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1 Características das habitações

As temperaturas internas e externas e as dimensões dos materiais que compõem as paredes das duas habitações estudadas, obtidas com a pesquisa em campo, estão mostrados na Tabela 05 a seguir:

Tabela 05-Dados coletados

	Habitação 1	Habitação 2
Temperatura interna (°C)	28,5	29,8
Temperatura externa (°C)	37,9	38,1
Variação da temperatura ( $\Delta T$ ) (°C)	9,4	8,3
Espessura da parede (cm)	14,0	14,6
Largura do bloco (espessura) (cm)	9,0	9,0
Altura do bloco (cm)	19,0	19,0
Comprimento do bloco (cm)	19,0	19,0
Diâmetro furo do bloco (cm)	3,0	3,0
Espessura reboco interno (cm)	2,5	2,8
Espessura reboco externo (cm)	2,5	2,8

Fonte: Elaboração da própria autora

As medições foram realizadas no mesmo dia, onde teve-se aproximadamente uma diferença de uma hora entre a coleta das temperaturas na habitação 1 e na habitação 2.

As paredes de ambas são constituídas de blocos cerâmicos de oito furos com reboco tanto na face interna quanto na externa, sendo esta produzida a partir da mistura de 50 kg de cimento, 25 kg de cal, oito medidas (latas) de areia fina e duas de areia grossa (valores recomendados pelo fabricante do cimento).

### 5.2 Propriedades térmicas

Na Tabela 06 abaixo são apresentados os valores, estabelecidos pela NBR 15220-Desempenho térmico de edificações, das propriedades térmicas dos

materiais empregados nas construções.

Tabela 06-Propriedades térmicas dos materiais

<b>Materiais</b>	<b>Condutividade térmica k (W/m.°C)</b>	<b>Calor específico c ((m².K)/W)</b>	<b>Densidade ρ (kg/m³)</b>
<b>Bloco cerâmico furado</b>	0,90	0,92	1600
<b>Reboco</b>	1,15	1,00	2000
<b>Argamassa cimento-areia</b>	1,15	1,00	2000
<b>Telha cerâmica</b>	0,90	0,92	1600
<b>Concreto comum</b>	1,75	1,00	2200

Fonte: Adaptado da NBR 15220 (ABNT, 2003)

### 5.3 Cálculos para análise do desempenho térmico

Para a análise do desempenho térmico das edificações foram calculadas as intensidades de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) que é transferido por condução, convecção e radiação do ambiente externo para o interno.

#### 5.3.1 Habitação 1

##### 5.3.1.1 Resistência térmica

Para encontrar o valor da intensidade de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) teve-se que, primeiramente, calcular a resistência térmica da parede ( $R_t$ ) com a Equação 08 aplicando-se o método apresentado pela NBR 15220.

Considerou-se a existência de três seções, mostradas na Figura 06 abaixo, com diferentes combinações de materiais, que são: argamassa de assentamento, reboco, camada de ar e bloco cerâmico.



Figura 06-Seções da alvenaria

Fonte: Elaboração da própria autora

A seção “a” é formada por uma camada de reboco, uma de argamassa de assentamento e outra de reboco, a seção “b” é constituída de reboco, bloco cerâmico e reboco e a seção “c” possui uma combinação de reboco, bloco cerâmico, camada de ar, bloco cerâmico, camada de ar, bloco cerâmico e reboco. Os pequenos furos que aparecem em três das cinco vezes que se repete a seção “b” em um bloco foram desconsiderados nos cálculos, pois a pequena dimensão destes não influenciam os resultados.

Substituindo os dados das espessuras das camadas (L) e da condutividade térmica dos materiais (k), apresentados nas Tabelas 05 e 06, respectivamente, na Equação 08 encontrou-se o valor da resistência térmica total para cada seção.

Seção a:

$$Ra = \frac{L_{reboco}}{k_{reboco}} + \frac{L_{argamassa}}{k_{argamassa}} + \frac{L_{reboco}}{k_{reboco}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,090}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,122 (m^2.K)/W$$

Seção b:

$$Rb = \frac{L_{reboco}}{k_{reboco}} + \frac{L_{bloco\ cer.}}{k_{bloco\ cer.}} + \frac{L_{reboco}}{k_{reboco}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,090}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,143 (m^2.K)/W$$

Seção c:

$$Rc = \frac{L_{reboco}}{k_{reboco}} + \frac{L_{bloco\ cer.}}{k_{bloco\ cer.}} + R_{ar} + \frac{L_{bloco\ cer.}}{k_{bloco\ cer.}} + R_{ar} + \frac{L_{bloco\ cer.}}{k_{bloco\ cer.}} + \frac{L_{reboco}}{k_{reboco}} =$$

$$Rc = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,010}{0,90} + 0,16 + \frac{0,010}{0,90} + 0,16 + \frac{0,010}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,397 (m^2.K)/W$$

Onde  $R_{ar}$  é a resistência térmica da camada de ar de 0,03 m no interior do bloco cerâmico e possui o valor de 0,16 ( $m^2.K$ )/W estabelecido pela NBR 15220.

Calculou-se a área de cada seção, onde “a” tem 0,004  $m^2$ , “b” tem 0,002  $m^2$  e “c” tem 0,006  $m^2$ . O próximo passo foi determinar a resistência térmica da parede ( $R_t$ ) com a Equação 14 a seguir, onde foram utilizadas as áreas das seções e o número de vezes que estas se repetem em um único bloco cerâmico.

$$R_t = \frac{Aa+5Ab+4Ac}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{5Ab}{Rb} + \frac{4Ac}{Rc}} \quad \text{Equação 14}$$

Após determinado que  $R_t$  é de 0,233 ( $m^2.K$ )/W, foi possível calcular a resistência térmica total ( $R_T$ ) com a Equação 10, que considera a resistência térmica da superfície interna ( $R_{si}$ ) e a resistência térmica externa ( $R_{se}$ ). Estas, em um fluxo de calor horizontal, valem 0,13 e 0,04 ( $m^2.K$ )/W, respectivamente (ABNT, 2003).

$$R_T = R_{se} + R_{si} + R_t = 0,04 + 0,13 + 0,233 = 0,403 (m^2.K)/W$$

### 5.3.1.2 Intensidade de fluxo de calor por condução

Substituindo na Equação 02 o valor de  $R_T$ , encontrado no tópico anterior, e as temperaturas interna e externa da Tabela 05 verificou-se que a intensidade de fluxo de calor na habitação 1 é de 23  $W/m^2$ .

$$\dot{q} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_T} = \frac{(37,9 - 28,5)}{0,403} = 23 W/m^2$$

### 5.3.1.3 Transmitância térmica

A transmitância térmica ( $U$ ), calculada com a Equação 11, para as paredes da habitação 1 é igual a 2,5  $W/m^2.^\circ C$ .

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,403} = 2,5 W/m^2.^\circ C$$

### 5.3.1.4 Capacidade térmica

Antes de mensurar a capacidade térmica total da parede (CT), foi preciso encontrar o valor dessa variável para cada uma das três seções com a Equação 12. Foram utilizadas as propriedades térmicas dos materiais e as dimensões mostradas nas Tabela 06 e 05, respectivamente.

Seção a:

$$CTa = \sum_{i=1}^3 ei.ci.pi = (e.c.p) reboco + (e.c.p) argamassa + (e.c.p) reboco$$

$$CTa = (0,025.1.2000) + (0,090.1.2000) + (0,025.1.2000) = 280 \text{ kJ}/(m^2.K)$$

Seção b:

$$CTb = \sum_{i=1}^3 ei.ci.pi = (e.c.p) reboco + (e.c.p) bloco cer. + (e.c.p) reboco$$

$$CTb = (0,025.1.2000) + (0,090.0,92.1600) + (0,025.1.2000) = 232 \text{ kJ}/(m^2.K)$$

Seção c:

$$CTc = \sum_{i=1}^5 ei.ci.pi = 2.(e.c.p) reboco + 3(e.c.p) bloco cer.$$

$$CTc = 2.(0,025.1.2000) + 3.(0,010.0,92.1600) = 144 \text{ kJ}/(m^2.K)$$

Substituindo CT e a área (definida no tópico 5.3.1.1) de cada seção na Equação 13, viu-se que a capacidade térmica total da parede é 173 (kJ/m<sup>2</sup>.K).

### 5.3.1.5 Intensidade de fluxo de calor por convecção

A intensidade de fluxo de calor por convecção ( $\dot{q}$ ) foi obtida por meio da Equação 04, onde foram utilizadas as temperaturas interna e externa da habitação 1 e o coeficiente médio de transferência de calor por convecção ( $\bar{h}$ ), que, para uma parede vertical, é igual a 1,77 W/m<sup>2</sup>.K (DONOSO, 2007).

$$\dot{q} = \bar{h} (T1 - T2) = 1,77 (37,9 - 28,5) = 17 \text{ W}/m^2$$

### 5.3.1.6 Intensidade de fluxo de calor por radiação

Utilizando a Equação 05 determinou-se a intensidade de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) por radiação para a primeira edificação é igual a  $0,0000005 \text{ W/m}^2$ , onde considerou-se a emissividade da superfície ( $\epsilon$ ), que para o reboco claro é de 0,85.

$$\dot{q} = \sigma \epsilon (T_1 - T_2) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,85 (37,9 - 28,5) = 0,0000005 \text{ W/m}^2$$

### 5.3.2 Habitação 2

Para determinar a resistência total da parede ( $R_T$ ), a intensidade de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) para os fenômenos de condução, convecção e radiação, a transmitância térmica ( $U$ ) e a capacidade térmica ( $CT$ ) da habitação 2 empregou-se os mesmos métodos e cálculos empregados na habitação 1. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 07 a seguir:

Tabela 07-Fatores calculados para a habitação 2

	Habitação 2
Resistência térmica Seção a ((m <sup>2</sup> .K)/W)	0,127
Resistência térmica Seção b ((m <sup>2</sup> .K)/W)	0,149
Resistência térmica Seção c ((m <sup>2</sup> .K)/W)	0,402
Resistência térmica Rt ((m <sup>2</sup> .K)/W)	0,240
Resistência térmica total RT ((m <sup>2</sup> .K)/W)	0,410
Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	2,4
Capacidade térmica (kJ/m <sup>2</sup> .K)	181
Intensidade de fluxo de calor por condução (W/m <sup>2</sup> )	20
Intensidade de fluxo de calor por convecção (W/m <sup>2</sup> )	15
Intensidade de fluxo de calor por radiação (W/m <sup>2</sup> )	0,0000004

Fonte: Elaboração da própria autora

Para obter a intensidade de fluxo de calor por radiação utilizou-se a emissividade de 0,9, pois é o valor estabelecido pela NBR 15220 para paredes pintadas com tinta vermelha.

### 5.3.3 Comparação entre as duas habitações

O desempenho térmico de uma edificação deve estar de acordo com o clima local para proporcionar uma sensação térmica adequada. Dessa forma, quanto melhor é o desempenho térmico maior é o conforto térmico para os moradores.

Analisando os valores da resistência térmica total, da intensidade de fluxo de calor por condução, convecção e radiação, da transmitância térmica e da capacidade térmica das duas habitações, apresentados na Tabela 08 abaixo, percebe-se que o desempenho térmico da habitação 2 é superior ao apresentado pela habitação 1.

Tabela 08-Comparação dos dados

	Habitação 1	Habitação 2
<b>Resistência térmica total RT ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>	0,403	0,410
<b>Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	2,5	2,4
<b>Capacidade térmica (kJ/m<sup>2</sup>.K)</b>	173	181
<b>Intensidade de fluxo de calor por condução (W/m<sup>2</sup>)</b>	23	20
<b>Intensidade de fluxo de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>)</b>	17	15
<b>Intensidade de fluxo de calor por radiação (W/m<sup>2</sup>)</b>	0,0000005	0,0000004

Fonte: Elaboração da própria autora

A intensidade de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) transferido do ambiente externo para o interno por condução na habitação 2 é aproximadamente 12% menor do que a apresentada pela habitação 1. Essa diferença é consequência da maior espessura das paredes, pois esse aspecto aumenta a resistência térmica total (RT) da alvenaria e esta reduz  $\dot{q}$ .

Os valores da transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) confirmam o que já foi constatado, pois a habitação 2 possui uma U inferior, mostrando que esta tem um menor fluxo de calor, e uma CT maior, indicando que a quantidade de calor necessária para que a temperatura interna aumente em um grau é superior à requerida pela habitação 1.

Comparando a intensidade de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) por convecção das duas

edificações, pôde-se verificar que a única característica capaz de alterar seu valor são as temperaturas interna e externa, pois o coeficiente médio de transferência de calor por convecção ( $\bar{h}$ ) é constante para qualquer tipo de parede vertical independentemente de suas dimensões.

A intensidade de fluxo de calor por radiação mostra uma pequena diferença entre as construções, pois a emissividade das superfícies de ambas têm valores próximos, 0,85 para a primeira edificação e 0,9 para a segunda.

#### **5.4 Sugestões de melhoria**

Através da comparação das intensidades de fluxo de calor por condução para as duas habitações, determinou-se que a espessura da parede tem grande influência na quantidade de calor que é transferido do ambiente externo para o interno e que quanto maior é essa característica menor é a temperatura interna da construção.

Portanto, foram feitos cálculos para melhorar o desempenho térmico da habitação 1 através da alteração da espessura total da parede, o que pode envolver o aumento da espessura interna e externa do reboco ou o uso de blocos cerâmicos mais largos.

##### **5.4.1 Espessura do reboco**

Na Tabela 09 a seguir estão apresentados os resultados obtidos nos cálculos da resistência térmica total da parede, da transmitância térmica e da capacidade térmica com acréscimos na espessura do reboco.



Tabela 09-Melhoria no desempenho térmico da habitação 1

	Habitação 1	Acréscimo de 2 cm	Acréscimo de 4 cm	Acréscimo de 6 cm	Acréscimo de 8 cm
<b>Espessura da parede (cm)</b>	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8
<b>Largura do bloco (cm)</b>	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
<b>Altura do bloco (cm)</b>	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
<b>Comprimento do bloco (cm)</b>	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
<b>Diâmetro furo do bloco (cm)</b>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Espessura reboco interno (cm)</b>	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
<b>Espessura reboco externo (cm)</b>	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
<b>Resistência térmica total RT ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>	0,403	0,405	0,408	0,409	0,411
<b>Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4
<b>Capacidade térmica (kJ/m<sup>2</sup>.K)</b>	173	174	178	180	185

Fonte: Elaboração da própria autora

Pode-se observar que quando a espessura do reboco é aumentada a resistência térmica total (RT) e a capacidade térmica (CT) se elevam. A consequência desse fenômeno é uma melhoria no conforto térmico da habitação devido a redução na intensidade de fluxo de calor ( $\dot{q}$ ) por condução.

O valor da transmitância térmica (U) diminui, pois a resistência térmica total foi melhorada, o que significa que um menor fluxo de calor é transmitido em relação às condições originais da edificação.

Com essas alterações nas dimensões do reboco interno e externo, os valores da U, CT e RT para a habitação 1 ficam próximos àqueles apresentados pela habitação 2.

Dessa forma, se a espessura total da parede da habitação 2 for aumentada também, seu desempenho térmico será melhorado e a temperatura em seu interior será reduzida.

#### 5.4.2 Blocos cerâmicos

Além de aumentar a espessura da parede através de mudanças nas dimensões do reboco para melhorar o desempenho térmico de uma habitação, pode-se também utilizar blocos cerâmicos com maiores larguras como, por exemplo, o mostrado na Figura 07 abaixo, que possui nove furos.

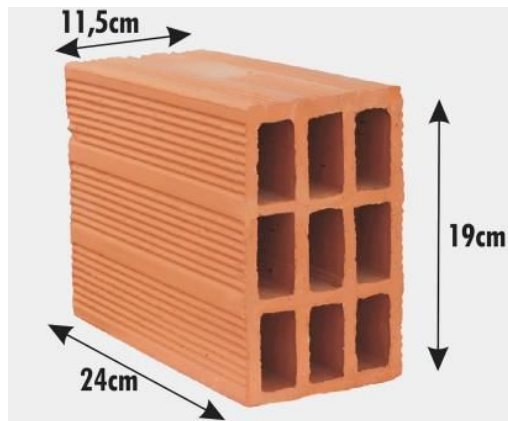


Figura 07-Bloco de nove furos  
Fonte: Cerâmica Felisbino

Empregando as dimensões do bloco de nove furos e conservando as características do reboco da habitação 1, calculou-se a resistência térmica, a transmitância térmica e a capacidade térmica para verificar a influência desta alteração no desempenho térmico. Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10-Melhoria no desempenho térmico da habitação 1 com blocos de 9 furos

	Habitação 1	Habitação com bloco de 9 furos
<b>Espessura da parede (cm)</b>	14,0	16,5
<b>Largura do bloco (cm)</b>	9,0	11,5
<b>Altura do bloco (cm)</b>	19,0	19,0
<b>Comprimento do bloco (cm)</b>	19,0	24,0
<b>Diâmetro furo do bloco (cm)</b>	3,0	5,0
<b>Espessura reboco interno (cm)</b>	2,5	2,5
<b>Espessura reboco externo (cm)</b>	2,5	2,5
<b>Resistência térmica total RT ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>	0,403	0,522
<b>Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	2,5	1,9
<b>Capacidade térmica (kJ/m<sup>2</sup>.K)</b>	173	179

Fonte: Elaboração da própria autora

Com o uso do bloco de nove furos a espessura da parede passou de 14 cm para 16,5 cm e proporcionou um aumento na resistência térmica e na capacidade térmica e uma redução na transmitância térmica, o que demonstra uma melhoria no desempenho térmico da construção.

Essa aperfeiçoamento foi influenciado, principalmente, pelo maior número de camadas de ar, pois estas possuem uma resistência maior quando comparada aos materiais construtivos.

### 5.4.3 Pintura

Outro aspecto que pode ser empregado para melhorar o nível do conforto térmico da habitação 1 é a pintura, pois diferentemente da habitação 2 ela ainda não passou por esse processo. Cores claras, sendo a branca a melhor opção, refletem os raios solares e minimiza a absorção desses pela parede.

A absorvância para a radiação solar para diversas colorações de tinta estão mostradas na Tabela 11 a seguir:

Tabela 11- Absortância para radiação solar para cores de tinta

<b>Pintura</b>	<b>Absortância de radiação solar (<math>\alpha</math>)</b>
Preta	0,97
Vermelha	0,74
Verde escura	0,70
Alumínio	0,40
Verde clara	0,40
Amarela	0,34
Branca	0,20

Fonte: Adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2003)

Porém, percebeu-se que alterar a cor da superfície da parede muda de forma insignificante a intensidade de fluxo de calor por radiação.

#### **5.4.4 Tecnologias**

Algumas alternativas tecnológicas podem ser empregadas para melhorar o desempenho térmico de construções.

##### **5.4.4.1 Vermiculita**

A vermiculita é um mineral constituído principalmente de silicatos hidratados de alumínio e magnésio e sua aplicação no lado externo ou interno de paredes pode contribuir para melhoria do desempenho térmico, pois é um excelente isolante térmico. Além disso, apresenta uma baixa condutividade acústica e uma boa resistência mecânica (LINS, 2012).

Além da possibilidade de ser empregada como revestimento de paredes, ela também pode ser usada no preenchimento dos furos existentes nos blocos cerâmicos e nos de concreto.

#### **5.4.4.2 Perlita expandida**

A perlita expandida é considerada um excelente isolante térmico e acústico e pode ser utilizada como um complemento ou um substituto dos materiais construtivos tradicionais na produção da argamassa e no preenchimento dos furos de blocos para melhoria do desempenho térmico de edificações (LINS, 2012; SCHUMACHER INSUMOS, 2017).

Quando usado no interior das cavidades dos blocos ele atinge até 50% na diminuição do calor transferido do ambiente externo para o interno. Possui um preço competitivo quando comparado à outros materiais isolante e apresenta um desempenho térmico superior ao da vermiculita (SCHUMACHER INSUMOS, 2017).

#### **5.4.4.3 Materias isolantes**

Os materiais isolantes são colocados no interior de paredes ou forros e podem ser naturais, sintéticos, granulados e composições. Os classificados como naturais são a lã de vidro, a lã de rocha e a lã cerâmica e os sintéticos são as espumas rígidas e as placas de isopor (CICHINELLI, 2012; SAGITÁRIOS, 2011).

O uso destes nas paredes de alvenaria dificulta a transferência de calor do ambiente externo para o interno e, conseqüentemente, melhora o conforto térmico para os indivíduos.

### **5.5 Análise comparativa**

A terceira parte da NBR 15220 estabelece diretrizes construtivas e estratégias para o condicionamento térmico passivo para as oito Zonas Bioclimáticas do Brasil, que são regiões brasileiras classificadas de acordo com a similaridade do clima, abrangendo as paredes, as aberturas para ventilação e as coberturas (ABNT, 2003).

A cidade de Dourados pertence a Zona Bioclimática 3, onde é recomendado

que existam aberturas para ventilação médias (15 a 25% da área do piso) protegidas dos raios solares através de mecanismos de sombreamento, mas que permitam a entrada de sol na edificação durante o inverno.

O tipo de parede indicada é a leve refletora, onde a transmitância térmica deve ser igual ou inferior a  $3,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e a capacidade térmica maior ou igual a  $130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ .

Comparando os valores estabelecidos pela NBR 15220 com os obtidos nos cálculos deste trabalho, mostrados na Tabela 12 a seguir, vemos que as duas habitações estão dentro dos limites exigidos para o clima da região, ou seja, apresentam um desempenho térmico adequado para proporcionar o conforto térmico aos moradores.

Tabela 12-Comparação do desempenho térmico

	Habitação 1	Habitação 2	NBR 15220
<b>Transmitância térmica (<math>\text{W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</b>	2,5	2,4	3,6
<b>Capacidade térmica (<math>\text{kJ/m}^2\cdot\text{K}</math>)</b>	173	181	130

Fonte: Elaboração da própria autora

Outro fator analisado, definido também na NBR 15220, foram as temperaturas no ambiente interno das habitações no momento da visita in loco. Na Tabela 13 abaixo estão mostrados os critérios para a avaliação de desempenho térmico para condições de verão para as zonas bioclimáticas brasileiras em habitações de interesse social.

Tabela 13-Critérios para a avaliação de desempenho térmico

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
<b>Mínimo</b>	Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq$ valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zona 1 a 8)
<b>Intermediário</b>	Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 29^\circ\text{C}$ (zona 1 a 7) Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 28^\circ\text{C}$ (zona 8)
<b>Superior</b>	Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 27^\circ\text{C}$ (zona 1 a 7) Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 26^\circ\text{C}$ (zona 8)

Fonte: Peralta (2006)

Avaliando as temperaturas medidas na visita in loco, constata-se que a habitação 1 apresenta um nível intermediário de desempenho térmico, pois sua temperatura interior foi de  $28,5^\circ\text{C}$ , ou seja, menor que os  $29^\circ\text{C}$  definidos pela NBR

15220. Já a habitação 2 foi classificada dentro do nível mínimo de desempenho térmico, pois sua temperatura interna ultrapassa os 29°C.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as análises realizadas dos resultados obtidos com os cálculos para a avaliação do desempenho térmico das habitações de interesse social da cidade de Dourados e as comparações destes com as especificações estabelecidas na NBR 15220 para o clima da região, pôde-se concluir que a principal característica que influencia no conforto térmico de uma edificação é a espessura total da parede.

Isso ocorre porque quanto mais espessa é a parede, maior é a resistência térmica e menor é a quantidade de calor que é transmitido do ambiente externo para o interno de uma habitação.

Na visita in loco, as temperaturas interiores verificadas estavam próximas dos 30°C, a habitação 1 com 28,5°C e a habitação 2 com 29,8°C, o que significa que elas apresentavam os níveis intermediário e mínimo de desempenho térmico, respectivamente, mas que poderiam atingir o nível superior se a espessura do reboco fosse aumentada.

Outro fato observado, é que o tipo de transmissão de calor que contribui de forma relevante para o aquecimento do interior das edificações é a condução, pois a convecção é somente influenciada por uma constante que é igual para as paredes verticais e a transferência de calor por radiação depende da emissividade das superfícies, que possui valores muito semelhantes no caso dos materiais utilizados na construção civil.

Considerando isso, a condução deve ser o foco quando se tem o objetivo de reduzir a quantidade de calor transmitido do ambiente externo para o interno. A melhor maneira de fazer isso é com o uso de materiais com menor condutividade térmica e construção de paredes e seus componentes, como o reboco e o bloco cerâmico, com maiores espessuras.

A redução da intensidade de fluxo de calor que atravessa uma parede até valores que sejam adequados para proporcionar o conforto térmico aos seres humanos possibilita uma economia no consumo de energia elétrica em aparelhos de



ar-condicionado e outros equipamentos climatizadores.

Realizar essas alterações podem elevar os custos das construções, porém é necessário considerar a economia de energia e do custo com a eletricidade consumida, que no longo prazo irá pagar os investimentos na melhoria do desempenho térmico.

Essa economia, além de favorecer economicamente os próprios consumidores, irá beneficiar o meio ambiente, pois reduzirá a necessidade de geração de energia em épocas quentes do ano, o que significa uma diminuição nos impactos ambientais e sociais que são causados por esse processo e no uso de recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

ARANTES, Beatriz. **Conforto térmico em habitações de interesse social: um estudo de caso**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

ARANTES, Pedro Fiori; FIX, Mariana. **Minha Casa, Minha Vida: o pacote habitacional de Lula**. 2009. Disponível em: <[http://web.observatoriodasmetrolopoles.net/download/gthab/text\\_ref\\_outros/fix\\_e\\_arantes\\_MCMV.pdf](http://web.observatoriodasmetrolopoles.net/download/gthab/text_ref_outros/fix_e_arantes_MCMV.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

ARAÚJO, Robinson de Carvalho. **Estudo comparativo entre painéis verticais compostos por EPS e tijolo cerâmico de oito furos como isolantes térmicos para a região de Cuiabá-MT**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **Desempenho térmico de edificações Parte 1: definições, símbolos e unidades**. 2003. NBR 15220. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica\\_parte1\\_SET2004.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte1_SET2004.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **Desempenho térmico de edificações Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. 2003. NBR 15220. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica\\_parte2\\_SET2004.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte2_SET2004.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **Desempenho térmico de edificações Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes para habitações unifamiliares de interesse social**. NBR 15220. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica\\_parte3\\_SET2004.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_SET2004.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2017.

BELLO, Luiza Guerra. **Análise do desempenho de conforto térmico de projetos de habitações unifamiliares em Pato Branco, PR**. 2013. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. 2003. 64 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha Casa, Minha Vida: Habitação Rural.**

Disponível em:

<<http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/rural/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho térmico.** Disponível em:

<<http://caudf.org.br/portal/images/CAU-DF/pdfs/PalestraErcio3.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

CAMARGO, Maristela Gomes de; FURLAN, Maria Montserrat Diaz Pedrosa.

Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Saúde e Pesquisa**, [s. L.], v. 4, n. 2, p.278-288, ago. 2011. Disponível em:

<<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/viewFile/1723/1286>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

CARVALHO, M. et al. **Análise do desempenho térmico de blocos estruturais cerâmicos preenchidos com materiais leves utilizando termografia.** In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal: Cbecimat, 2016.

CERÂMICA FELISBINO (Santa Catarina). **Tijolo 9 furos.** Disponível em:

<<http://www.ceramicafelisbino.com.br/index.php?id=produtoDetalhe&cod=50>>.

Acesso em: 11 abr. 2017.

CLIMA-DATA.ORG. Clima: Dourados. Disponível em:

<<http://pt.climate-data.org/location/3913/>>. Acesso em: 09 jul. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Dourados). **O clima da Região de Dourados, MS.** 2008. Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37989/1/DOC200892.pdf>>.

Acesso em: 09 jul. 2016.

EQUIPE DE OBRA. **Obra: Isolamento em drywall.** 2012. Disponível em:

<<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/54/artigo273733-1.aspx>>.

Acesso em: 11 abr. 2017.

EXTECH INSTRUMENTS. **Mini Thermo Anemometer Series.** Disponível em:

<[http://www.extech.com/resources/45118\\_45158.pdf](http://www.extech.com/resources/45118_45158.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

FERREIRA, Sandra Araújo. **Estudo do desempenho térmico e acústico nas alvenarias**. 2015. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2015.

FRANQUELINO, Adriano Roberto; AVELINO JUNIOR, Francisco José. **Ensaio regionais sobre o programa minha casa minha vida**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL AMÉRICA PLATINA, 6., 2016, Campo Grande: Enegep, 2016.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Disponível em: <[https://issuu.com/jacksonmendes6/docs/manual\\_de\\_conforto\\_t\\_rmico\\_-\\_an\\_s](https://issuu.com/jacksonmendes6/docs/manual_de_conforto_t_rmico_-_an_s)>. Acesso em: 29 jul. 2016.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2009**. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/deficit-habitacional/185-deficit-habitacional-2009/file>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

GRUPO ISORECORT. **ESP: solução para isolamento térmico e acústico em edificações**. Disponível em: <<http://www.construcaocomisopor.com.br/eps-solucao-para-isolamento-termico-e-acustico-em-edificacoes-6/>>. Acesso em: 11 abr. 17.

GRZYBOWSKI, Graziella Toledo. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá-MT: estudo de caso**. 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

JODAS, Marcela. **Estudo das ligações entre pilares de concreto e alvenaria cerâmica de vedação**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

KRUGER, Patrícia; SOUZA, Annelise Breus de; KONOFAL, William Uczak. **Estudo da trabalhabilidade em argamassas e concretos com utilização de RCD**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 8., 2013, [s. L.].

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: Pw Editora, 1997. Disponível em: <[www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro - Eficiência Energética na Arquitetura.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro_-_Eficiencia_Energética_na_Arquitetura.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2016.

LINS, Fernanda Urban. **Análise de alternativas para melhoria do desempenho térmico de edifícios em alvenaria estrutural em face da norma brasileira 15.575**. 2012. 3 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gerenciamento de Obras, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MAGALHÃES, Ernani Freitas de. **Fissuras em alvenarias**: configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul. 2004. 180 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MOHAMAD, G. et al. **Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural**: previsão e modo de ruptura. Revista Matéria, [s. L], v. 14, n. 2, p.824-844, jul. 2009.

MORESI, Eduardo (Org.). **Metodologia de pesquisa**. 2003. Universidade Católica de Brasília. Disponível em: <[http://ftp.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/1370886616.pdf](http://ftp.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/1370886616.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2016.

NOTÍCIAS DO DIA. **Novas regra do programa Minha Casa, Minha Vida já estão sendo aplicadas em Joinville**. Disponível em: <<http://ndonline.com.br/joinville/noticias/novas-regras-do-programa-minha-casa-minha-vida-ja-estao-sendo-aplicadas-em-joinville>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; FRANCO, Luiz Sérgio. **Alvenaria Protendida**: possibilidades de uso no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo: Entac, 2004.

PEDRA, Solange Andere. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PERALTA, Gizela. **Desempenho térmico de telhas**: análise de monitoramento e normalização específica. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. Disponível em: <[http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book Metodologia do Trabalho Cientifico.pdf](http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2016.

RESENDE, Geraldo. **Programa minha casa, minha vida chega a Dourados**. 2009. Discurso. Disponível em:

<[http://www.geraldoresende.com.br/base/www/geraldoresende.com.br/media/attachments/1437/1437/506edab640a86cb7a0dddf07eec17fa4bdaf59f02b8a0\\_2705-programa-minha-casa-minha-vida-chega-a-dourados.pdf](http://www.geraldoresende.com.br/base/www/geraldoresende.com.br/media/attachments/1437/1437/506edab640a86cb7a0dddf07eec17fa4bdaf59f02b8a0_2705-programa-minha-casa-minha-vida-chega-a-dourados.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2017.

RODRIGUES, Edmundo. **Processos de Transmissão de Calor**. Disponível em: <[http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao\\_de\\_Calor\\_em\\_Edificacoes.pdf](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf)>. Acesso em: 08 set. 2016.

RORIZ, Maurício. **Conforto e desempenho térmico de edificações**. 2008. 63 f. Curso de Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SIENGE. **Programa Minha Casa Minha Vida**. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/minha-casa-minha-vida/>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

SILVA, Lindoaldo Deodato da. **Técnicas e procedimentos para assentamento e de alvenaria de vedação e estrutural**. 2007. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007.

SHUMACHER INSUMOS (Rio Grande do Sul). **Perlita expandida para a construção civil**. Disponível em: <<http://www.schumacherinsumos.com.br/malha.htm>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

SOUSA, Hipólito de. **Construções em alvenaria**. Universidade do Porto. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/TPPC/Sebenta.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2016.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. **Módulo 6: Conforto Térmico III**. 2010. Curso de Arquitetura Bioclimática, Universidade Cruzeiro do Sul, 2010

SPECHT, Luciano Pivoto et al. **Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.7-18, dez. 2010.

VALLE, Juliana Borges de Senna. **Patologia das alvenarias: Causa / Diagnóstico / Previsibilidade**. 2008. 81 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia da Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

VECTUS IMPORTATUM (São Paulo). **Termo-anemômetros modelo 471-1 e 471-2 Dwyer**. Disponível em: <<http://www.vectus.com.br/resources/pdf/termoanemometro-471-1dwyer.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

VETTORAZZI, Egon; RUSSI, Madalena; SANTOS, Joaquim C.Pizzuti dos. **A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética**

**para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 2010, Porto Alegre.

## ANEXO A

Tabela-Propriedades térmicas de materiais utilizados na construção civil

MATERIAL	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (KJ/(Kg.K))
<b>Argamassas</b>			
Argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
Argamassa de gesso	1200	0,70	0,84
Argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmicas</b>			
Tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibrocimento</b>			
Placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
Concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
Concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (r dos inertes~750 Kg/m<sup>3</sup>)</b>			
Com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
Sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
Dosagem de cimento > 300 Kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 Kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
Dosagem de cimento < 250 Kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 Kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	<600	0,20	1,00
Concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite	600-800	0,31	1,00



expandida fabricado em obra	400-600	0,24	1,00
Dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
Dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700 500-600	0,24 0,20	1,00 1,00
Concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
Projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
Placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
Com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida) Dosagem gesso:agregado = 1.1 Dosagem gesso:agregado = 1:2	700-900 500-700	0,30 0,25	0,84 0,84
<b>Granulados</b>			
Brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
Argila expandida	<400	0,16	
Areia seca	1500	0,30	2,09
Areia (10% de umidade)	1500	0,93	
Areia (20% de umidade)	1500	1,33	
Areia saturada	2500	1,88	
Terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
<b>Impermeabilizantes</b>			
Membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
Asfalto	1600	0,43	0,92
Asfalto	2300	1,15	0,92
Betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
Lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Lã de vidro	10-100	0,045	0,70
Poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42

Poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
Espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
Madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
Carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
Aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
Aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
Aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
Placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
Placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
Compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
Aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
Palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
Aço, ferro fundido	7800	55	0,46
Alumínio	2700	230	0,88
Cobre	8900	380	0,38
Zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
Granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
Ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
Basalto	2700-3000	1,60	0,84
Calcáreos, mármore	>2600	2,90	0,84

Outros	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	<1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
Borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
Polimetacrilicos de metila (acrílicos), policloretos de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
Vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: ABNT Projeto 02:135.07-001/2

## ANEXO B

Tabela-Déficit habitacional por situação do domicílio no Brasil em 2009

ESPECIFICAÇÃO	TOTAL	URBANA		RURAL
		TOTAL	RURAL DE EXTENSÃO URBANA	
<b>Norte</b>	<b>634.930</b>	<b>507.138</b>	<b>6.362</b>	<b>127.792</b>
Rondônia	67.092	52.278	4.846	14.814
Acre	25.359	20.402	-	4.957
Amazonas	173.862	148.267	1.516	25.595
Roraima	17.950	13.838	-	4.112
Pará	276.381	216.500	-	59.881
RM Belém	86.667	85.082	-	1.585
Amapá	27.386	26.763	-	623
Tocantins	46.900	29.090	-	17.810
<b>Nordeste</b>	<b>2.050.889</b>	<b>1.443.286</b>	<b>8.098</b>	<b>607.603</b>
Maranhão	436.174	231.062	4.479	205.112
Piauí	119.017	65.513	-	53.504
Ceará	310.972	235.099	-	75.873
RM Fortaleza	124.910	120.910	-	4.000
Rio Grande do Norte	122.328	97.376	1.960	24.952
Paraíba	109.926	88.342	-	21.584
Pernambuco	291.427	238.849	1.659	52.578
RM Recife	140.466	138.760	-	1.706
Alagoas	121.079	86.252	-	34.827
Sergipe	75.475	63.237	-	12.238
Bahia	464.491	337.556	-	126.935
RM Salvador	130.894	128.013	-	2.881
<b>Sudeste</b>	<b>2.217.241</b>	<b>2.142.760</b>	<b>17.397</b>	<b>74.481</b>
Minas Gerais	538.577	493.619	-	44.958
RM Belo Horizonte	147.933	147.131	-	802
Espírito Santo	103.663	94.750	-	8.913
Rio de Janeiro	380.312	376.756	2.033	3.556
RM Rio de Janeiro	282.261	282.261	-	-
São Paulo	1.194.689	1.177.635	15.364	17.054

RM São Paulo	608.809	601.115	14.428	7.694
<b>Sul</b>	<b>601.965</b>	<b>539.843</b>	-	<b>62.122</b>
Paraná	245.165	220.701	-	24.464
RM Curitiba	76.519	71.709	-	4.810
Santa Catarina	131.343	118.209	-	13.134
Rio Grande do Sul	225.457	200.933	-	24.524
RM Porto Alegre	98.423	92.301	-	6.122
<b>Centro-Oeste</b>	<b>493.884</b>	<b>456.132</b>	<b>1.120</b>	<b>37.752</b>
Mato Grosso do Sul	78.733	69.545	-	9.188
Mato Gross	108.262	89.690	-	18.572
Goiás	189.081	181.334	-	7.747
Distrito Federal	117.808	115.563	1.120	2.245
<b>Brasil</b>	<b>5.998.909</b>	<b>5.089.159</b>	<b>32.977</b>	<b>909.750</b>
Total das RMs	1.696.882	1.667.282	14.428	29.600
Demais áreas	4.302.027	3.421.877	18.549	880.150

Fonte: Adaptado de Fundação João Pinheiro (2012)



**ABNT – Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 28º andar  
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel.: PABX (21) 3974-2300  
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436  
Endereço eletrônico:  
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,  
ABNT–Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

SET 2003

**Projeto 02:135.07-001**

# **Desempenho térmico de edificações**

## **Parte 1: Definições, símbolos e unidades**

Origem: Projeto 02:135.07-001:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings - Terminology, symbols and units

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

7 páginas

### **Sumário**

#### **Prefácio**

- 1 Objetivo
- 2 Definições

#### **ANEXO**

- A Referências bibliográficas

#### **Prefácio**

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém o anexo A, de caráter informativo.

#### **1 Objetivo**

Esta parte da NBR estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações.

NOTA - O anexo A apresenta a fonte de algumas definições abordadas nesta Norma.

#### **2 Definições**

Para os efeitos desta parte da NBR aplicam-se as definições, os símbolos e as unidades indicadas nas tabelas 1, 2 e 3, conforme o campo de estudo.

**Tabela 1 - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.**

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
1	Fluxo de calor ou Taxa de fluxo de calor	Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo.	Q	W
2	Densidade de fluxo de calor ou Densidade de taxa de fluxo de calor	Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície (1).	q	W/m <sup>2</sup>
3	Condutividade térmica	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m <sup>2</sup> , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (2).	$\lambda$	W/(m.K)
4	Resistência térmica de elementos e componentes	Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.	R	(m <sup>2</sup> .K)/W
5	Resistência superficial interna	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R <sub>si</sub>	(m <sup>2</sup> .K)/W
6	Resistência superficial externa	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K)/W
7	Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.	R <sub>T</sub>	(m <sup>2</sup> .K)/W
8	Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor	Inverso da resistência térmica total.	U	W/(m <sup>2</sup> .K)
9	Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (3).	C	J/K
10	Calor específico ou Capacidade térmica específica	Quociente da capacidade térmica pela massa.	c	J/(kg.K)
11	Capacidade térmica de componentes	Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área.	C <sub>T</sub>	J/(m <sup>2</sup> .K)
12	Densidade de massa aparente	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo.	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
13	Difusividade térmica	Quociente da condutividade térmica de um material ( $\lambda$ ) pela sua capacidade de armazenar energia térmica ( $\rho c$ ).	$\alpha$	m <sup>2</sup> /s
14	Atraso térmico	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (4).	$\phi$	h

Tabela 1 (conclusão) - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
15	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos ou Fator solar de elementos opacos	Quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.	$FS_o$	-
16	Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos ou Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos	Quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.	$FS_t$	-
17	Coeficiente de sombreamento	Quociente entre o fator solar do componente transparente ou translúcido estudado e o fator solar de um vidro plano incolor de 3 mm de espessura ( $FS_t = 0,87$ )	CS	-
18	Emitância	Taxa de emissão de radiação por unidade de área (5).	E	$W/m^2$
19	Irradiância	Taxa de radiação incidente sobre um corpo, por unidade de área da superfície (5).	G	$W/m^2$
20	Radiosidade	Taxa de emissão de radiação de uma superfície por unidade de área, incluindo a parcela refletida da radiação incidente (5).	J	$W/m^2$
21	Emissividade	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (5).	$\epsilon$	-
22	Absortância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (6).	$\alpha$	-
23	Absortância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície (7).	$\alpha_{ol}$	-
24	Refletância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.	$\rho$	-
25	Refletância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é refletida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície.	$\rho_{ol}$	-
26	Transmitância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.	$\tau$	-

- (1) Esta grandeza também pode ser expressa por unidade de comprimento. Neste caso, seu símbolo é  $q'$  e sua unidade  $W/m$ .
- (2) Quando existe transferência de calor por condução, convecção e radiação em materiais porosos recomenda-se usar o termo "condutividade térmica aparente".
- (3) Para que esta grandeza seja completamente definida, é necessário que o tipo de transformação seja especificado.
- (4) O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.
- (5) Todas as grandezas relativas às propriedades radiantes dos componentes devem fazer referência ao comprimento de onda da radiação e à sua direção de incidência ou de reflexão ou de emissão. Quando estas informações forem omitidas, tratam-se de propriedades totais hemisféricas.
- (6) A radiação solar está concentrada na região do espectro eletromagnético compreendida entre comprimento de onda de  $0,2 \mu m$  e  $3,0 \mu m$ .
- (7) Fontes de baixa temperatura emitem radiação térmica de onda longa com comprimento de onda compreendido entre  $3,0 \mu m$  e  $100,0 \mu m$ .



Tabela 2 - Características térmicas de ambientes.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
27	Transmitância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é transmitida por um corpo pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre a superfície desse corpo.	$\tau_{ol}$	-
28	Transmitância à radiação visível	Quociente da taxa de radiação solar no espectro visível (0,38 a 0,72 $\mu\text{m}$ ) que atravessa um elemento transparente ou translúcido pela taxa de radiação solar no espectro visível incidente sobre este mesmo elemento.	$\tau_v$	-
29	Temperatura radiante plana	Temperatura uniforme do ambiente no qual o fluxo radiante incidente em um lado de um pequeno elemento plano é o mesmo que no ambiente real, geralmente não uniforme (1).	$T_{rp}$	$^{\circ}\text{C}$
30	Temperatura radiante média	Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual a troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme.	$T_{rm}$	$^{\circ}\text{C}$
31	Assimetria de radiação	Diferença entre as temperaturas radiantes planas medidas em lados opostos de um pequeno elemento plano.	$\Delta T_{rp}$	$^{\circ}\text{C}$
32	Temperatura operativa	Temperatura uniforme de um ambiente com comportamento de corpo negro imaginário, no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme.	$T_o$	$^{\circ}\text{C}$
33	Temperatura efetiva	Temperatura operativa de um ambiente com 50% de umidade relativa que resulta na mesma troca total de calor do corpo humano que em um ambiente real.	$T_{ef}$	$^{\circ}\text{C}$
34	Temperatura neutra	Temperatura operativa para a qual o corpo humano encontra-se em neutralidade térmica.	$T_N$	$^{\circ}\text{C}$
35	Temperatura termodinâmica	Fração 1/273,15 de temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água.	$T$	K
36	Temperatura Celsius	Intervalo de temperatura unitário igual a 1K, numa escala de temperaturas em que o ponto 0 coincide com 273,15K.	$t$	$^{\circ}\text{C}$
37	Temperatura ar-sol	Temperatura fictícia que representa o efeito combinado da radiação solar incidente no fechamento e dos intercâmbios de energia por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente.	$T_{ar-sol}$	$^{\circ}\text{C}$
38	Taxa de ventilação	Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais.	$V_{ar}$	$\text{m}^3/\text{s}$
39	Taxa de infiltração	Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas não intencionais.	$V_i$	$\text{m}^3/\text{s}$
40	Taxa de renovação de ar	Número de trocas de ar de um ambiente por unidade de tempo.	$N_v$	Renovações /hora

(1) A temperatura radiante plana é uma quantidade que descreve a radiação em uma direção.

**Tabela 3 - Grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionadas ao condicionamento térmico de edificações.**

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
41	Conforto térmico	Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.	-	-
42	Neutralidade térmica	Estado físico no qual a densidade do fluxo de calor entre o corpo humano e o ambiente é igual à taxa metabólica do corpo, sendo mantida constante a temperatura do corpo.	-	-
43	Desconforto local	Aquecimento ou resfriamento de uma parte do corpo gerando insatisfação do indivíduo.	-	-
44	Taxa metabólica	Taxa de produção de energia do corpo (1).	TM	W/m <sup>2</sup>
45	Índice de resistência térmica de vestimentas	Resistência térmica da vestimenta à troca de calor sensível por condução, convecção e radiação entre a pele e a superfície externa da roupa (2).	I <sub>r</sub>	clo
46	Porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente	Porcentagem de pessoas em um ambiente que não se encontram termicamente satisfeitas (3).	PPI	%
47	Temperatura de bulbo seco	Temperatura do ar medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica.	T <sub>BS</sub>	°C
48	Temperatura de bulbo úmido	Temperatura à qual a evaporação de água conduzirá uma massa de ar úmido, por meio de um processo isobárico de saturação adiabática. (Pode ser medida por um termômetro cujo bulbo está embutido em uma mecha embebida em água destilada, sobre o qual atua um exaustor de ar, tornando forçada a convecção entre a mecha e o ar).	T <sub>BU</sub>	°C
49	Temperatura de bulbo úmido natural	Temperatura à qual a evaporação de água conduzirá uma massa de ar úmido, por meio de um processo isobárico, não atingindo necessariamente a condição de saturação adiabática. (Pode ser medida por um termômetro cujo bulbo está embutido em uma mecha embebida em água destilada, o qual está sujeito à circulação de ar existente no ambiente).	T <sub>BU<sub>n</sub></sub>	°C
50	Umidade absoluta do ar	Quociente da massa de vapor d'água (em gramas) pela massa de ar seco (em quilogramas).	UA	g vapor/ kg ar seco
51	Umidade relativa do ar	Quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica.	UR	%
52	Zona bioclimática	Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.	-	-
53	Irradiância solar direta	Taxa de radiação solar direta incidente sobre uma superfície por unidade de área.	G <sub>dir</sub>	W/m <sup>2</sup>

Tabela 3 (conclusão) - Grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionadas ao condicionamento térmico de edificações.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
54	Irradiância solar difusa	Taxa de radiação solar incidente sobre uma superfície por unidade de área, no conjunto de todas as direções, exceto a de incidência direta (4).	$G_{dif}$	$W/m^2$
55	Irradiância solar total	Fluxo de radiação solar direto e difuso incidente sobre uma superfície unitária, a uma dada inclinação e orientação.	G	$W/m^2$
56	Admitância térmica	Taxa de fluxo de calor entre a superfície interna de um elemento ou componente construtivo e o ar, por unidade de variação de temperatura.		

(1) A Taxa metabólica, função da intensidade da atividade física desenvolvida pelo corpo humano, pode também ser expressa na unidade "met" (do inglês *metabolic unit*), que corresponde a  $58,2 W/m^2$ .

(2) É expresso em "clo", do inglês *clothing*, sendo que  $1 clo = 0,155 (m^2.K)/W$ .

(3) Esta grandeza também pode ser chamada de PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied.

//ANEXO

**Anexo A (informativo)**  
**Referências bibliográficas**

Nº da grandeza	Fonte
1, 2, 3, 9, 10, 32 e 33	ABNT (1992). <i>NBR 12538 – Grandezas e unidades de termodinâmica</i> . Associação Brasileira de Normas Técnicas.
26, 27, 28 e 30	ASHRAE (2001). <i>Ashrae Handbook – Fundamentals</i> . Capítulo 8 - <i>Physiological principles for comfort and health</i> . ISO 7726 (1998). <i>Thermal environments: Instruments and methods for measuring physical quantities</i> .
29	ISO 7730 (1994). <i>Moderate thermal environments: Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort</i> . ASHRAE (1997). <i>Ashrae Standard 55/1992 – Thermal environmental conditions for human occupancy</i> .
41 e 42	ASHRAE (1997). <i>Ashrae Standard – Thermal environmental conditions for human occupancy</i> .



**ABNT – Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 28º andar  
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel.: PABX (21) 3974-2300  
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436  
Endereço eletrônico:  
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,  
ABNT–Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

SET 2003

**Projeto 02:135.07-001/2**

# **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**

Origem: Projeto 02:135.07-001/2:2003

ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings - Calculation methods of thermal transmittance, thermal capacity, thermal delay and solar heat factor of elements and components of buildings.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

21 páginas

## **SUMÁRIO**

Prefácio

**1** Objetivo

**2** Referências normativas

**3** Definições, símbolos e subscritos

**4** Fórmulas básicas

**5** Resistência térmica de um componente

**6** Capacidade térmica de um componente

**7** Atraso térmico de um componente

**8** Fator de calor solar

## **ANEXOS**

**A** Resistências térmicas superficiais

**B** Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, absorvância e emissividade de superfícies e cores, e propriedades térmicas de materiais

**C** Exemplos de cálculo

## **Prefácio**

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta norma contém o anexo A, de caráter normativo, e os anexos B e C, de caráter informativo.

## **1 Objetivo**

Esta parte da NBR estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações.

**Notas:**

- 1 O anexo A apresenta as resistências térmicas superficiais a serem consideradas na aplicação desta Norma.
- 2 O anexo B apresenta a resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, a absorvância e a emissividade de superfícies e cores e as propriedades térmicas (condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente) de materiais.
- 3 O anexo C apresenta exemplos de cálculo das grandezas tratadas nesta Norma. No anexo D do projeto 02:135.07-001/3 apresentam-se a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico de vários exemplos de paredes e coberturas.

**2 Referências normativas**

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/3:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Procedimentos para avaliação de habitações de interesse social.

ISO 6946:1996: Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods.

**3 Definições, símbolos e subscritos**

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas do projeto 02:135.07-001/1 e os seguintes símbolos, unidades, subscritos e definições:

**3.1 Símbolos**

<b>Símbolo</b>	<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>
A	Área	m <sup>2</sup>
R	Resistência térmica de um componente	(m <sup>2</sup> .K)/W
U	Transmitância térmica de um componente	W/(m <sup>2</sup> .K)
C <sub>T</sub>	Capacidade térmica de um componente	kJ/(m <sup>2</sup> .K)
φ	Atraso térmico de um componente	horas
FS <sub>o</sub>	Fator solar de elementos opacos	-
FS <sub>t</sub>	Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos	-
CS	Coefficiente de sombreamento	-
c	Calor específico	kJ/(kg.K)
e	Espessura de uma camada	m
λ	Condutividade térmica do material	W/(m.K)
ρ	Densidade de massa aparente do material	kg/m <sup>3</sup>
ε	Emissividade hemisférica total	-

**3.2 Subscritos**

<b>Subscrito</b>	<b>Descrição</b>
ar	Referente a uma câmara de ar
n	Número total de seções ou camadas (a, b, c, ..., n-1, n.) de um elemento ou componente
s	Superfície
e	Exterior da edificação
i	Interior da edificação
t	Total, superfície a superfície
T	Total, ambiente a ambiente

**3.3 Definição de seções e camadas**

Denomina-se seção à uma parte de um componente tomada em toda a sua espessura (de uma face à outra) e que contenha apenas resistências térmicas em série.

Denomina-se camada à uma parte de um componente tomada paralelamente às suas faces e com espessura constante.

Nota: Desta forma, conforme 5.2.1, a figura 1 possui quatro seções (S<sub>a</sub>, S<sub>b</sub>, S<sub>c</sub> e S<sub>d</sub>). A seção S<sub>a</sub> é composta por uma única camada, a seção S<sub>b</sub> é composta por duas camadas, a seção S<sub>c</sub> também é composta por uma única camada (diferente daquela da seção S<sub>a</sub>) e a seção S<sub>d</sub> é composta por duas camadas.

**4 Fórmulas básicas****4.1 Resistência térmica****4.1.1 Camadas homogêneas**

Valores da resistência térmica, R, obtidos através de medições baseadas em ensaios normalizados, devem ser usados sempre que possível. Na ausência de valores medidos, conforme ISO 6946, recomenda-se que a resistência térmica, R, de uma camada homogênea de material sólido seja determinada pela expressão 1.

$$R = e/\lambda \quad \dots 1)$$

Os valores recomendados de condutividade térmica de alguns materiais de uso corrente são encontrados na tabela B.3.

#### 4.1.2 Câmara de ar

A resistência térmica de câmaras de ar ( $R_{ar}$ ) não ventiladas pode ser obtida na tabela B.1.

Para tijolos ou outros elementos com câmaras de ar circulares, deve-se transformar a área da circunferência em uma área equivalente a um quadrado com centros coincidentes.

Para coberturas, independentemente do número de águas, a altura equivalente da câmara de ar para cálculo é determinada dividindo-se por dois a altura da cumeeira.

#### 4.1.3 Superfícies

A resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) e a superficial interna ( $R_{si}$ ) são obtidas na tabela A.1.

### 4.2 Transmitância térmica

A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total, conforme expressão 2.

$$U = 1/R_T \quad \dots 2)$$

### 4.3 Capacidade térmica de componentes

A capacidade térmica de componentes pode ser determinada pela expressão 3.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \dots 3)$$

Onde:

$\lambda_i$  é a condutividade térmica do material da camada  $i^a$ ;

$R_i$  é a resistência térmica da camada  $i^a$ ;

$e_i$  é a espessura da camada  $i^a$ ;

$c_i$  é o calor específico do material da camada  $i^a$ ;

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ .

## 5 Resistência térmica de um componente

### 5.1 Componentes com camadas homogêneas

A resistência térmica total de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pelas expressões 4 e 5.

#### 5.1.1 Superfície a superfície ( $R_t$ )

A resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 4.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad \dots 4)$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$  são as resistências térmicas das  $n$  camadas homogêneas, determinadas pela expressão 1;

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$  são as resistências térmicas das  $n$  câmaras de ar, obtidas da tabela B.1.

#### 5.1.2 Ambiente a ambiente ( $R_T$ )

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela expressão 5.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots 5)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 4;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela A.1.

### 5.2 Componentes com camadas homogêneas e não homogêneas

A resistência térmica total de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pelas expressões 6 e 7.

Nota: O procedimento de cálculo da resistência térmica de componentes apresentado nesta parte da NBR é diferente daquele apresentado pela ISO 6946, sendo que o apresentado nesta parte da NBR é mais rápido e simples e os resultados são equivalentes.

#### 5.2.1 Superfície a superfície ( $R_t$ )

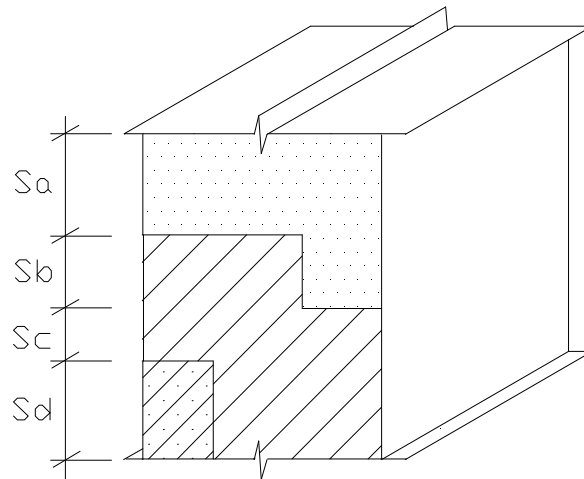
A resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas (ver figura 1), perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 6.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad \dots 6)$$

Onde:

$R_a, R_b, \dots, R_n$  são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão 4;

$A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.



**Figura 1 - Seções de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas**

### 5.2.2 Ambiente a ambiente ( $R_T$ )

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela expressão 7.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots 7)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 6;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela A.1.

### 5.3 Componentes com câmara de ar ventilada

#### 5.3.1 Condições de ventilação para as câmaras de ar

São considerados dois tipos de ventilação para as câmaras de ar - pouco ou muito ventiladas - segundo sua posição. As relações são dadas na tabela 1.

**Tabela 1 - Condições de ventilação para câmaras de ar**

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/A \geq 30$

Onde:  
 S é a área total de abertura de ventilação, em  $\text{cm}^2$ ;  
 L é o comprimento da parede, em m;  
 A é a área da cobertura.

#### 5.3.2 Em condições de verão (ganho de calor)

A resistência térmica da câmara de ar ventilada deve ser igual a da câmara de ar não ventilada e obtida da tabela B.1.

#### 5.3.3 Em condições de inverno (perda de calor)

Distinguem-se dois casos:

- câmara pouco ventilada: a resistência térmica da câmara será igual à da câmara não ventilada e obtida da tabela B.1; e
- câmara muito ventilada: a camada externa à câmara não será considerada e a resistência térmica total (ambiente a ambiente) deve ser calculada pela expressão 8.



$$R_T = 2.R_{si} + R_t \quad \dots 8)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica da camada interna do componente construtivo. No caso de coberturas, é a resistência térmica do componente localizado entre a câmara de ar e o ambiente interno – forro;

$R_{si}$  é a resistência superficial interna obtida da tabela A.1 do anexo A.

Nota: No caso de coberturas, a câmara de ar existente entre o telhado e o forro pode ser chamada de ático.

### 5.3.4 Considerações quanto à ventilação de áticos

A ventilação do ático em regiões quentes é desejável e recomendável. Isto aumenta a resistência térmica da câmara de ar e, conseqüentemente, reduz a transmitância térmica e os ganhos de calor.

Porém, alerta-se que em regiões com estação fria (inverno) a ventilação do ático provoca perdas de calor pela cobertura, o que não é desejável.

## 6 Capacidade térmica de um componente

### 6.1 Componentes com camadas homogêneas

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pela expressão 3, conforme 4.3.

### 6.2 Componentes com camadas homogêneas e não homogêneas

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas (ver figura 1), perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 9.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad \dots 9)$$

Onde:

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$  são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão 3;

$A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.

### 6.3 Componentes com câmaras de ar

Como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ), a sua capacidade térmica, em componentes com câmaras de ar, pode ser desprezada.

## 7 Atraso térmico de um componente

### 7.1 Caso de elemento homogêneo

Em uma placa homogênea (constituída por um único material), com espessura “e” e submetida a um regime térmico variável e senoidal com período de 24 horas, o atraso térmico pode ser estimado pela expressão 10 ou pela 11.

$$\varphi = 1,382.e.\sqrt{\frac{?.c}{3,6.?.}} \quad \dots 10)$$

$$\varphi = 0,7284.\sqrt{R_t.C_T} \quad \dots 11)$$

Onde:

$\varphi$  é o atraso térmico;

e é a espessura da placa;

$\lambda$  é a condutividade térmica do material;

$\rho$  é a densidade de massa aparente do material;

c é o calor específico do material;

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$C_T$  é a capacidade térmica do componente.

### 7.2 Caso de elemento heterogêneo

No caso de um componente formado por diferentes materiais superpostos em “n” camadas paralelas às faces (perpendiculares ao fluxo de calor), o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas.

Para calor específico quando em (kJ/(Kg.K)), o atraso térmico é determinado através da expressão 12.

$$\phi = 1,382.R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad \dots 12)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$B_1$  é dado pela expressão 13;

$B_2$  é dado pela expressão 14.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad \dots 13)$$

Onde:

$B_0$  é dado pela expressão 15.

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad \dots 14)$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} \quad \dots 15)$$

Onde:

$C_T$  é a capacidade térmica total do componente;

$C_{Text}$  é a capacidade térmica da camada externa do componente.

Notas:

1 Nas equações acima, o índice "ext" se refere à última camada do componente, junto à face externa.

2 Considerar  $B_2$  nulo caso seja negativo.

## 8 Fator de ganho de calor solar de elementos opacos

O fator de ganho de calor solar de elementos opacos (ou apenas fator solar de elementos opacos) é dado pela expressão 16.

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad \dots 16)$$

Onde:

$FS_o$  é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorvância à radiação solar – função da cor, dada pela tabela B.2;

$R_{se}$  é a resistência superficial externa, dada pela tabela A.1.

Como  $R_{se}$  é admitido constante e igual a 0,04, a expressão 16 pode ser reescrita na forma da expressão 17.

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad \dots 17)$$

Quando deve-se respeitar um limite de fator solar para uma determinada região, pode-se determinar o máximo valor de  $\alpha$  em função do fator solar e da transmitância térmica, conforme mostra a expressão 18.

$$\alpha \leq FS_o / (4 \cdot U) \quad \dots 18)$$

A tabela B.2 apresenta a absorvância ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\epsilon$ ) de algumas superfícies e cores.

## 9 Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos

O fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos (ou apenas fator solar de elementos transparentes ou translúcidos) é dado pela expressão 19.

$$FS_t = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau \quad \dots 19)$$

Onde:

$FS_t$  é o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorvância à radiação solar – função da cor, dada pela tabela B.2;

$R_{se}$  é a resistência superficial externa, dada pela tabela A.1;

$\tau$  é a transmitância à radiação solar.

**Anexo A (normativo)****Resistências térmicas superficiais**

A resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas.

A tabela A.1 apresenta valores médios recomendados.

**Tabela A.1 - Resistência térmica superficial interna e externa.**

$R_{si}$ ( $m^2.K/W$ )			$R_{se}$ ( $m^2.K/W$ )		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

## Anexo B (informativo)

## Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, absorptância e emissividade de superfícies e cores e propriedades térmicas de materiais

## B.1 Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Os valores da resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas apresentados na tabela B.1 são válidos para uma temperatura média da camada entre 0°C e 20°C e com uma diferença de temperatura entre as superfícies limitantes menor do que 15°C.

**Tabela B.1 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.**

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica $R_{ar}$ $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇨	⇩	⇩
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:  
 1  $\epsilon$  é a emissividade hemisférica total.  
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.  
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.  
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

**Tabela B.2 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)**

Tipo de superfície	$\alpha$	$\epsilon$	
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05	
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12	
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25	
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90	
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95	
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95	
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95	
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95	
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98	
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84	
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84	
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84	
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

## B.2 Propriedades térmicas de materiais

A tabela B.3, de caráter não restritivo, apresenta a condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o calor específico ( $c$ ) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente ( $\rho$ ). Estes valores são apenas indicativos, devendo-se utilizar, sempre que possível, valores medidos em laboratório.

**Tabela B.3 - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibro-cimento</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes ~750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Tabela B.3 (continuação) - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
vidro comum	2500	1,00	0,84

### Anexo C (informativo) Exemplos de cálculo

#### C.1 Exemplo 1: Parede de tijolos maciços rebocados em ambas as faces (ver figura C.1)

Dados:

Dimensões do tijolo = 5 cm x 9 cm x 19 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$

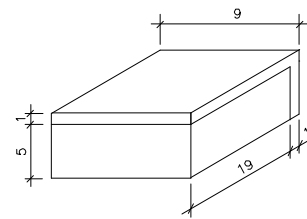
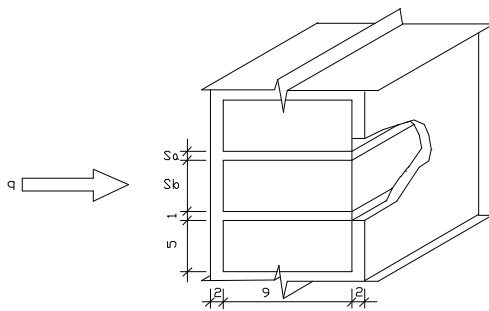
$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$  (ver tabela B.3)

$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$  (ver tabela B.3)

$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ kg/m}^3$

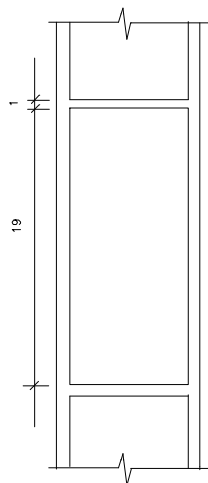
$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$  (ver tabela B.3)

$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$  (ver tabela B.3)



Elemento isolado

Vista em perspectiva



Vista superior

Figura C.1 - Parede de tijolos maciços rebocados em ambas as faces

a) resistência térmica da parede:

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,06 = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,13}{1,15} = 0,1130 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,05 \times 0,19 = 0,0095 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1348 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0025 + 0,0095}{\frac{0,0025}{0,1130} + \frac{0,0095}{0,1348}} = \frac{0,0120}{0,0926} = 0,1296 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**b) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1296 + 0,04 = 0,2996 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**c) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2996} = 3,34 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

**d) capacidade térmica da parede:**

Seção A (reboco+argamassa+reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,06 = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{argamassa}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

Como  $\rho_{\text{reboco}} = \rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$  e  $c_{\text{reboco}} = c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ , tem-se:

$$C_{Ta} = 0,13 \times 1,00 \times 2000 = 260 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,05 \times 0,19 = 0,0095 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{cerâmica}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,02 \times 1,00 \times 2000 = 212 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}}} = 220 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

**e) atraso térmico:**

$$R_t = 0,1296 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 220 - 0,02 \cdot 1,00 \cdot 2000 = 180$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{180}{0,1296} = 313,9$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1,00)_{\text{ext}}}{0,1296} \right) \left( \frac{0,02}{1,15} - \frac{0,1296 - \left( \frac{0,02}{1,15} \right)}{10} \right) = 22,4$$

$$\phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,1296 \cdot \sqrt{313,9 + 22,4} = 3,3 \text{ horas}$$

**f) fator solar:**

$$FS_0 = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot 0,04 = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_0 = 4 \cdot 3,34 \cdot 0,3 = 4,0\%$$

Pode-se verificar, também, a absorvância máxima permitida em função do limite máximo permitido de fator solar para a zona bioclimática onde será executada a parede. Por exemplo, se para uma determinada região  $FS_0 < 5,5\%$ , teremos:

$$\alpha \leq FS_0 / (4 \cdot U) \leq 5,5 / (100 \cdot 3,34) \leq 0,4$$

**C.2 Exemplo 2: Parede com blocos de concreto colados, sem reboco (ver figura C.2)**

Dados:

Dimensões do bloco = 39 cm x 19 cm x 9 cm

$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

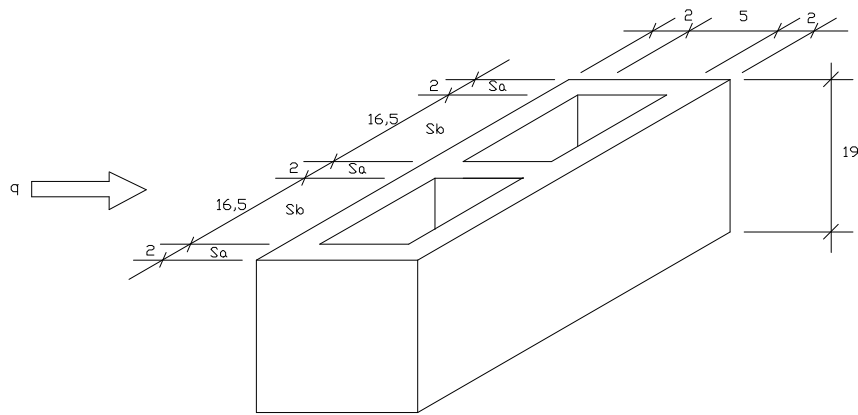
$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$c_{\text{concreto}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

Nota: despreza-se a cola.

Para a câmara de ar,  $R_{ar} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$  (ver tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 5,0 cm, fluxo horizontal).





Vista em perspectiva

Figura C.2 - Parede com blocos de concreto colados, sem reboco

**a) resistência térmica da parede:**

Seção A (concreto):

$$A_a = 0,02 \times 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,09}{1,75} = 0,0514 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$A_b = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} = 0,1829 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{3 \times A_a + 2 \times A_b}{\frac{3 \times A_a}{R_a} + \frac{2 \times A_b}{R_b}} = \frac{3 \times 0,0038 + 2 \times 0,03135}{\frac{3 \times 0,0038}{0,0514} + \frac{2 \times 0,03135}{0,1829}} = \frac{0,0741}{0,5646} = 0,1312 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**b) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,1312 + 0,04 = 0,3012 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**c) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3012} = 3,32 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**d) capacidade térmica da parede:**

Seção A (concreto):

$$A_a = 0,02 \times 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$C_{\text{Ta}} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} = 0,09 \times 1,00 \times 2400 = 216 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$A_b = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

$$C_{\text{Tb}} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}}$$

Desprezando a capacidade térmica da câmara de ar, tem-se:

$$C_{\text{Tb}} = 0,02 \times 1,00 \times 2400 + 0 + 0,02 \times 1,00 \times 2400 = 96 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{3 \times A_a + 2 \times A_b}{\frac{3 \times A_a}{C_{\text{Ta}}} + \frac{2 \times A_b}{C_{\text{Tb}}}} = 105 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**e) atraso térmico:**

$$R_t = 0,1312 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T \cdot C_{\text{Text}} = 105 - 0,02 \cdot 1,00 \cdot 2400 = 57$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{57}{0,1312} = 98,2$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,75 \cdot 2400 \cdot 1,00)_{\text{ext}}}{0,1312} \right) \left( \frac{0,02}{1,75} - \frac{0,1312 - \left( \frac{0,02}{1,75} \right)}{10} \right) = -3,6$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_1 \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,1312 \cdot \sqrt{98,2} = 1,8 \text{ horas}$$

#### f) fator solar:

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 3,32 \cdot 0,3 = 4,0\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 3,32 \cdot 0,5 = 6,6\%$$

### C.3 Exemplo 3: Paredes de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces (ver figura C.3)

Dados:

Dimensões do tijolo = 32 cm x 16 cm x 10 cm

$$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

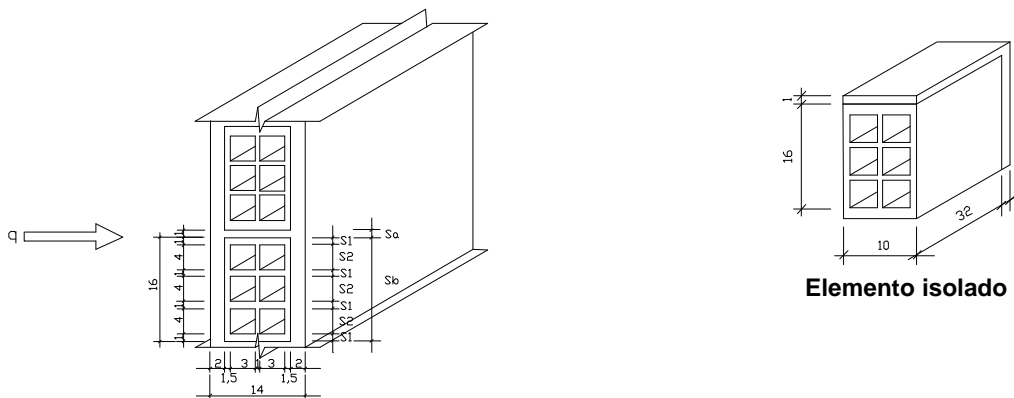
$$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

Para a câmara de ar,  $R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal).

Este exemplo é resolvido de duas formas, seguindo o mesmo procedimento apresentado por esta parte da NBR. Na primeira forma, a resistência térmica do tijolo é calculada isoladamente e, em seguida, calcula-se a resistência térmica da parede. Na segunda forma, a resistência térmica da parede é calculada considerando-se a argamassa e o tijolo ao mesmo tempo.

Primeira forma (ver figura C.3):



**Vista em perspectiva**  
**Figura C.3 - Paredes de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces**

#### a) resistência térmica do tijolo ( $R_{\text{tijolo}}$ ):

Seção 1 (tijolo):

$$A_1 = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,10}{0,90} = 0,1111 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

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

$$A_2 = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

$$R_2 = \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} = 0,3644 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência do tijolo será:

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4xA_1 + 3xA_2}{\frac{4xA_1}{R_1} + \frac{3xA_2}{R_2}} = \frac{4 \times 0,0032 + 3 \times 0,0128}{\frac{4 \times 0,0032}{0,1111} + \frac{3 \times 0,0128}{0,3644}} = \frac{0,0512}{0,2206} = 0,2321 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**b) resistência térmica da parede (R<sub>i</sub>):**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,16 \times 0,32 = 0,0512 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + R_{\text{tijolo}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + 0,2321 + \frac{0,02}{1,15} = 0,2669 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0049 + 0,0512}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{0,0512}{0,2669}} = \frac{0,0561}{0,2321} = 0,2417 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

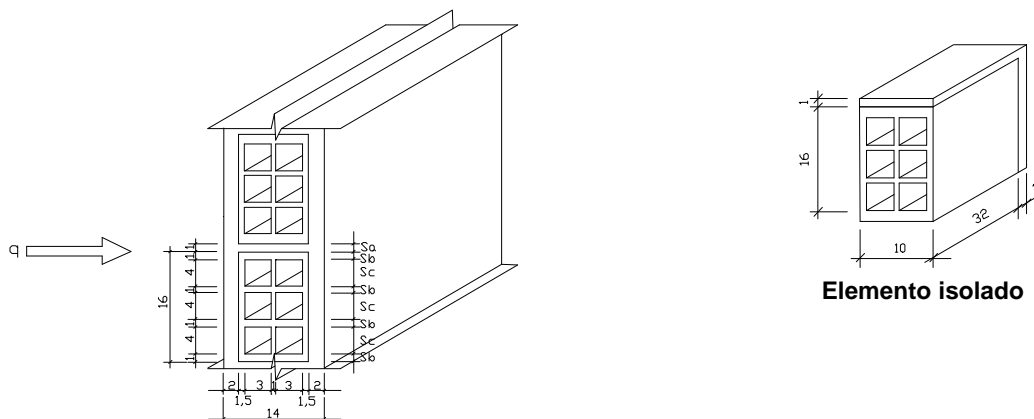
**c) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,2417 + 0,04 = 0,4117 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**d) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4117} = 2,43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Segunda forma (ver figura C.4):



**Vista em perspectiva**  
**Figura C.4- Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces**

**a) resistência térmica da parede:**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1459 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_c = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,3992 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + 4x A_b + 3x A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4x A_b}{R_b} + \frac{3x A_c}{R_c}} = \frac{0,0049 + 4x0,0032 + 3x0,0128}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{4x0,0032}{0,1459} + \frac{3x0,0128}{0,3992}} = \frac{0,0561}{0,2242} = 0,2502 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

**b) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{Si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2502 + 0,04 = 0,4202 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

**c) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4202} = 2,38 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**Notas:**

1 A transmitância térmica calculada pelas duas diferentes formas no exemplo 3 mostra uma pequena diferença (2%) entre os valores, indicando que a forma como o problema pode ser resolvido não é única e que os resultados serão equivalentes.

2 Esta diferença se deve ao fato de estar se admitindo regime estacionário e unidimensional de transmissão de calor.

3 Pode-se dar preferência ao primeiro processo, quando diferentes paredes forem construídas com o mesmo tijolo e ocorrer variação nas espessuras das argamassas de assentamento e de reboco.

**d) capacidade térmica da parede:**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

Como  $\rho_{\text{reboco}} = \rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$  e  $c_{\text{reboco}} = c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ , tem-se:

$$C_{Ta} = 0,14 \times 1,00 \times 2000 = 280 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,10 \times 0,92 \times 1600 + 0,02 \times 1,00 \times 2000 = 227 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^7 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Tc} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tc} = 0,04 \times 1,00 \times 2000 + 0,04 \times 0,92 \times 1600 = 139 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + 4x A_b + 3x A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{4x A_b}{C_{Tb}} + \frac{3x A_c}{C_{Tc}}} = 160 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**e) atraso térmico:**

$$R_t = 0,2502 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 160 - 0,02 \cdot 1,00 \cdot 2000 = 120$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{120}{0,2502} = 108,4$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1,00)_{\text{ext}}}{0,2502} \right) \left( \frac{0,02}{1,15} - \frac{0,2502 - \left( \frac{0,02}{1,15} \right)}{10} \right) = -11,1$$

$B_2$  é desprezado pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,2502 \cdot \sqrt{108,4} = 3,6 \text{ horas}$$

**f) fator solar:**

$$FS_0 = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4.2,38.0,3 = 2,9\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4.2,38.0,5 = 4,8\%$$

#### C.4 Exemplo 4: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada (ver figura C.5)

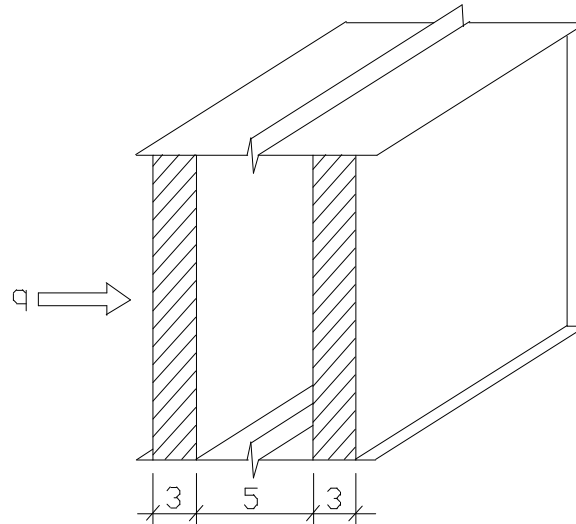
Dados:

$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

$$c_{\text{concreto}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

Para a câmara de ar,  $R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$  (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 5,0 cm, fluxo horizontal).



Vista em perspectiva

Figura C.5 - Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada

a) resistência térmica da parede:

$$R_t = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,03}{1,75} + 0,16 + \frac{0,03}{1,75} = 0,1943 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,1943 + 0,04 = 0,3643 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3643} = 2,74 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

d) capacidade térmica da parede:

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}}$$

$$C_T = 0,03 \times 1,00 \times 2400 + 0 + 0,03 \times 1,00 \times 2400 = 144 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

e) atraso térmico:

$$R_t = 0,1943 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 144 - 0,03 \cdot 1,00 \cdot 2400 = 72$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{72}{0,1943} = 83,7$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,75 \cdot 2400 \cdot 1,00)_{\text{ext}}}{0,1943} \right) \left( \frac{0,03}{1,75} - \frac{0,1943 - \left( \frac{0,03}{1,75} \right)}{10} \right) = -2,5$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,1943 \cdot \sqrt{83,7} = 2,5 \text{ horas}$$

**f) fator solar:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,74 \cdot 0,3 = 3,3\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,74 \cdot 0,5 = 5,5\%$$

**C.5 Exemplo 5: Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus e câmara de ar ventilada** (ver figura C.6)**Dados:**

comprimento do telhado = 7 m

abertura de ventilação de 5 cm por 7 m em cada beiral

**Fibro-cimento:**

$$\rho_{\text{fibro-cimento}} = 1700 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{fibro-cimento}} = 0,65 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

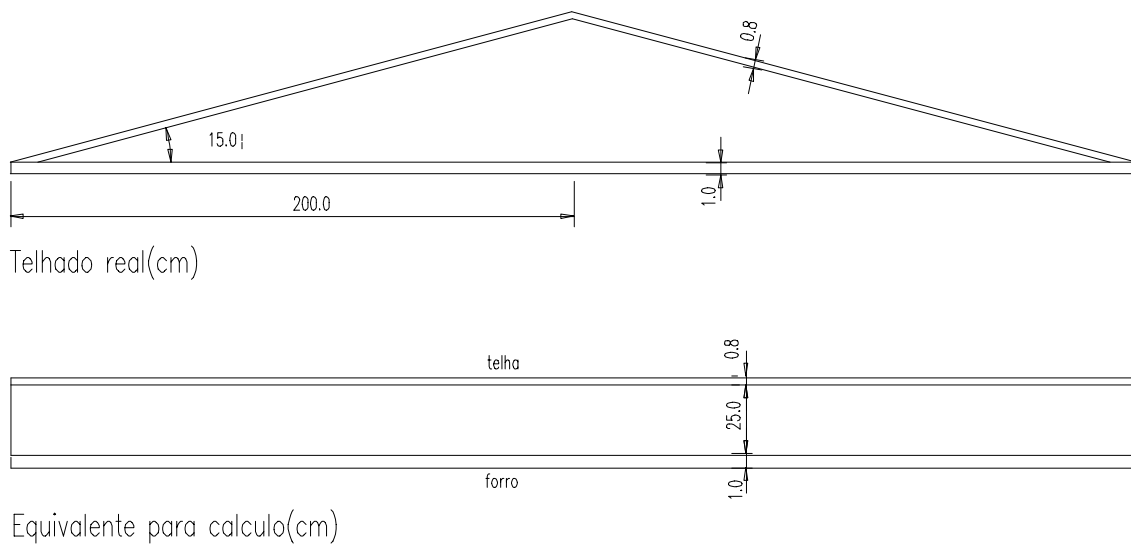
$$c_{\text{fibro-cimento}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

**Pinus:**

$$\rho_{\text{pinus}} = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{pinus}} = 0,15 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$c_{\text{pinus}} = 1,34 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

**Figura C.6 - Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus e câmara de ar ventilada**

Verificação das condições de ventilação da câmara de ar:

$$S = 2 (700 \times 5) = 7000 \text{ cm}^2$$

$$A = 4 \times 7 = 28 \text{ m}^2$$

$$\frac{S}{A} = \frac{7000}{28} = 250 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

$S/A \gg 30$  logo, a câmara é muito ventilada (ver 5.3.1 - tabela 1).

**a) no verão (ver 5.3.2):**

Para a câmara da ar,  $R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$  (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 25,0 cm > 5,0 cm, direção do fluxo descendente).

Resistência térmica:

$$R_t = \frac{e_{\text{fibro-cimento}}}{\rho_{\text{fibro-cimento}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{pinus}}}{\rho_{\text{pinus}}} = \frac{0,008}{0,65} + 0,21 + \frac{0,01}{0,15} = 0,2890 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,2890 + 0,04 = 0,4990 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4990} = 2,00 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

**b) no inverno (ver 5.3.3):**

Resistência térmica total:

$$R_T = 2.R_{si} + R_{pinus} = 2.0,10 + \frac{e_{pinus}}{\lambda_{pinus}} = 0,20 + \frac{0,01}{0,15} = 0,2667 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2667} = 3,75 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**c) capacidade térmica da cobertura:**

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.p)_{\text{fibro-cimento}} + (e.c.p)_{\text{ar}} + (e.c.p)_{\text{pinus}}$$

$$C_T = 0,008 \times 0,84 \times 1700 + 0 + 0,01 \times 1,34 \times 500 = 18 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**d) atraso térmico para o verão:**

$$R_t = 0,2890 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{ext}} = 18 - 0,008 \cdot 0,84 \cdot 1700 = 6,6$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{6,6}{0,2890} = 5,1$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(0,65 \cdot 1700 \cdot 0,84)_{\text{ext}}}{0,2890} \right) \left( \frac{0,008}{0,65} - \frac{0,2890 - \left( \frac{0,008}{0,65} \right)}{10} \right) = -10,1$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,2890 \cdot \sqrt{5,1} = 0,9 \text{ horas}$$

**e) fator de calor solar para o verão:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,00 \cdot 0,3 = 2,4\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,00 \cdot 0,5 = 4,0\%$$

Notas:

- 1 O atraso térmico e o fator solar são determinados apenas para o verão em virtude de ser a condição predominante no Brasil.
- 2 A transmitância térmica é determinada também para o inverno apenas para efeito didático.
- 3 As duas notas anteriores também se aplicam ao exemplo seguinte (C.6).

**C.6 Exemplo 6: Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus, lâminas de alumínio polido e câmara de ar ventilada (ver figura C.7)**

Dados:

comprimento do telhado = 7 m

abertura de ventilação de 5 cm por 7 m em cada beiral

Fibro-cimento:

$$\rho_{\text{fibro-cimento}} = 1700 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{fibro-cimento}} = 0,65 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

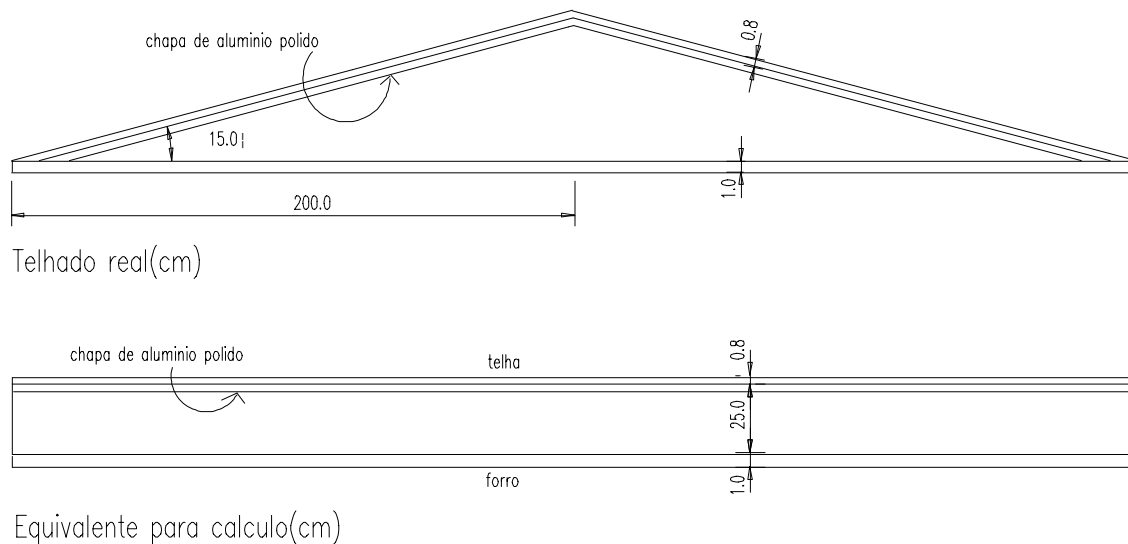
$$C_{\text{fibro-cimento}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

Pinus:

$$\rho_{\text{pinus}} = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{pinus}} = 0,15 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$C_{\text{pinus}} = 1,34 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$



**Figura C.7 - Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus, lâminas de alumínio polido e câmara de ar ventilada**

Verificação das condições de ventilação da câmara de ar:

$$S = 2 (700 \times 5) = 7000 \text{ cm}^2$$

$$A = 4 \times 7 = 28 \text{ m}^2$$

$$\frac{S}{A} = \frac{7000}{28} = 250 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

$S/A \gg 30$  logo, a câmara é muito ventilada (ver 5.3.1 - tabela 1).

**a) no verão (ver 5.3.2):**

Para a câmara da ar,  $R_{ar} = 0,61 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  (tabela B.1, superfície de baixa emissividade, espessura da câmara de ar = 25,0 cm > 5,0 cm, direção do fluxo descendente).

Resistência térmica:

$$R_t = \frac{e_{\text{fibro-cimento}}}{\rho_{\text{fibro-cimento}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{pinus}}}{\rho_{\text{pinus}}} = \frac{0,008}{0,65} + 0,61 + \frac{0,01}{0,15} = 0,6890 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,6890 + 0,04 = 0,8990 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,8990} = 1,11 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**b) no inverno (ver 5.3.3):**

Resistência térmica total:

$$R_T = 2 \cdot R_{si} + R_{\text{pinus}} = 2 \cdot 0,10 + \frac{e_{\text{pinus}}}{\rho_{\text{pinus}}} = 0,20 + \frac{0,01}{0,15} = 0,2667 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2667} = 3,75 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**c) capacidade térmica da cobertura:**

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{fibro-cimento}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{pinus}}$$

$$C_T = 0,008 \times 0,84 \times 1700 + 0 + 0,01 \times 1,34 \times 500 = 18 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**d) atraso térmico para o verão:**

$$R_t = 0,6890 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 18 - 0,008 \cdot 0,84 \cdot 1700 = 6,6$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{6,6}{0,6890} = 2,2$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$



$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(0,65 \cdot 1700 \cdot 0,84)_{ext}}{0,6890} \right) \left( \frac{0,008}{0,65} - \frac{0,6890 - (0,008 / 0,65)}{10} \right) = -15,3$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,6890 \cdot \sqrt{2,2} = 5,5 \text{ horas}$$

**e) fator solar para o verão:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 1,11 \cdot 0,3 = 1,3\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 1,11 \cdot 0,5 = 2,2\%$$

Com  $\alpha = 0,8$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 1,11 \cdot 0,8 = 3,6\%$$



**ABNT – Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 28º andar  
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel.: PABX (21) 3974-2300  
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436  
Endereço eletrônico:  
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,  
ABNT–Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

SET 2003

**Projeto 02:135.07-001/3**

# **Desempenho térmico de edificações**

## **Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**

Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings – Brazilian Bioclimatic Zones and Building Guidelines for Low-Cost Houses.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações

23 páginas

### **Sumário**

Prefácio

Introdução

1 Objetivos e campo de aplicação

2 Referências normativas

3 Definições

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

5 Parâmetros e condições de contorno

6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira

7 Estratégias de condicionamento térmico

### **ANEXOS**

A Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados

B Zoneamento Bioclimático do Brasil

C Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local

D Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

### **Prefácio**

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT /CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém os anexos A e B, de caráter normativo, e os anexos C e D, de caráter informativo.

### **Introdução**

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Esta parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Adaptou-se uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni ("Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines". Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992), detalhada no anexo B.

Esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados através de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais.

### **1 Objetivos e campo de aplicação**

**1.1** Esta parte da NBR estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

**1.2** Esta parte da NBR estabelece recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

### **2 Referências normativas**

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das mesmas. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.  
Projeto 02:135.07-001/2:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.  
Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.  
Projeto 02:135.07-001/5:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico.  
ASHRAE: 1996 - Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines.

### **3 Definições**

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e unidades dos projetos 02:135.07-001/1, 02:135.07-001/2, 02:135.07-001/4 e 02:135.07-001/5.

### **4 Zoneamento bioclimático brasileiro**

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a figura 1.

O anexo A apresenta a relação de 330 cidades cujos climas foram classificados e o anexo B apresenta a metodologia adotada na determinação do zoneamento.

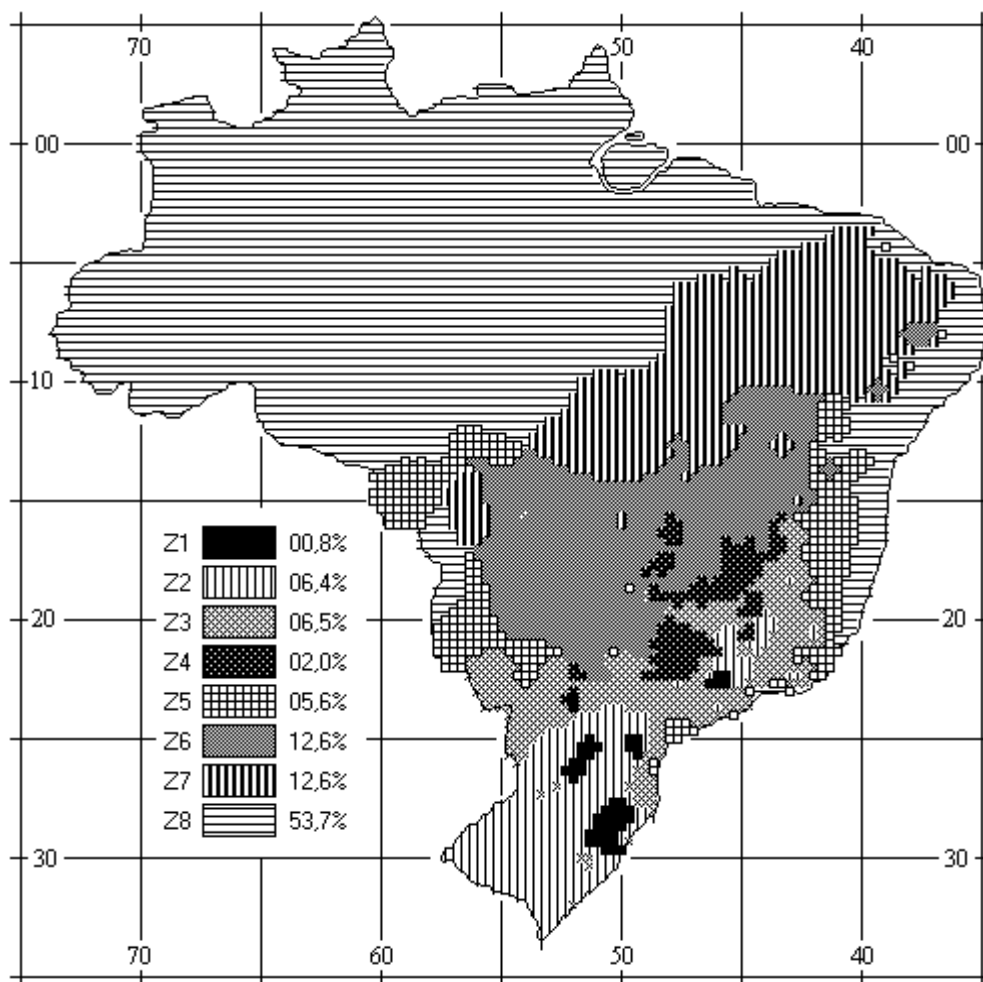


Figura 1 - Zoneamento bioclimático brasileiro.

### 5 Parâmetros e condições de contorno

Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira (seção 6) - e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo (seção 7), foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura)<sup>1</sup>; e
- estratégias de condicionamento térmico passivo.

As informações constantes das seções 6 e 7, a seguir, não têm caráter normativo mas apenas orientativo.

### 6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática

Diretrizes construtivas relativas a aberturas, paredes e coberturas para cada zona bioclimática são apresentadas de 6.1 a 6.8. Limites indicativos são apresentados no anexo C.

#### 6.1 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 1

Na zona bioclimática 1 (ver figuras 2 e 3) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3.

<sup>1</sup> Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

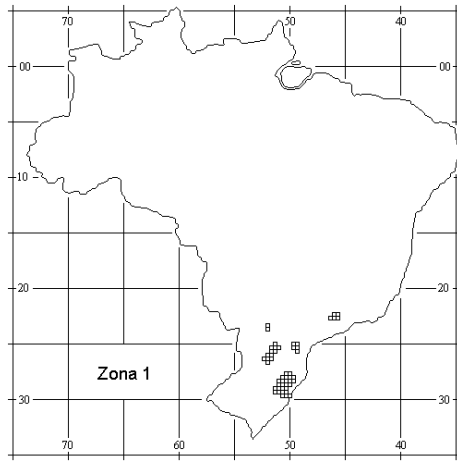


Figura 2 - Zona Bioclimática 1

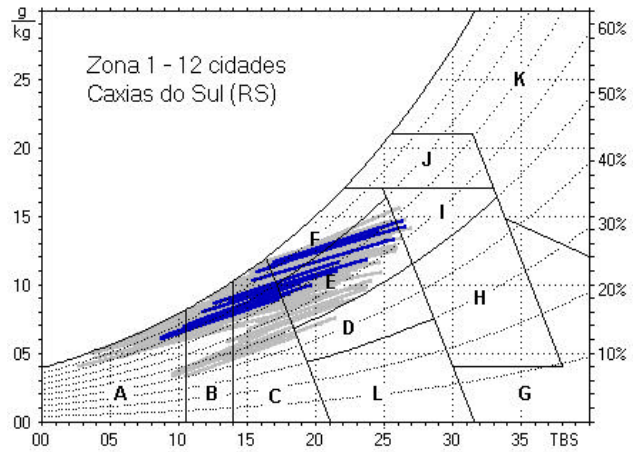


Figura 3 - Carta Bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS

Tabela 1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 1

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o período frio

Tabela 2 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 1

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Tabela 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 1

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Inverno	<p>B) Aquecimento solar da edificação</p> <p>C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)</p> <p>Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).</p>

### 6.2 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2

Na zona bioclimática 2 (ver figuras 4 e 5) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6.



Figura 4 - Zona Bioclimática 2

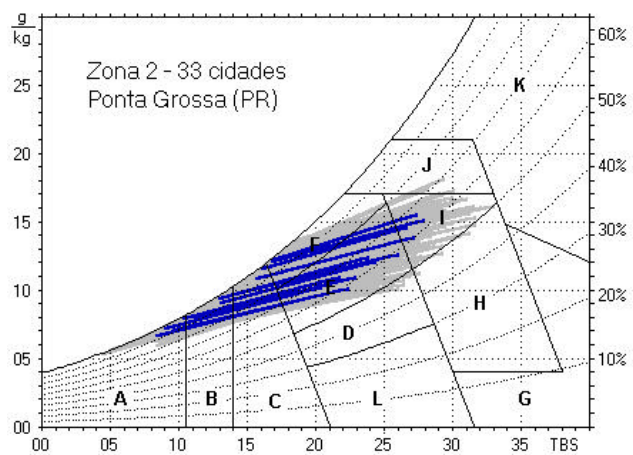


Figura 5 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR

**Tabela 4 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

**Tabela 5 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2**

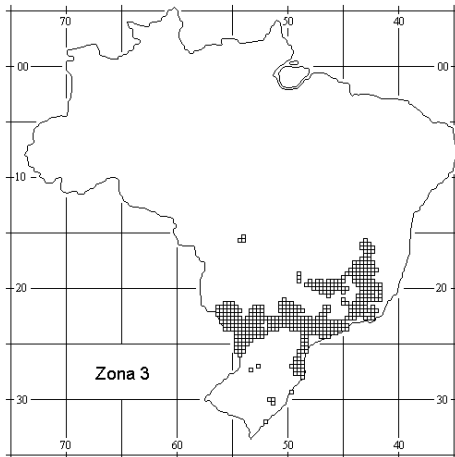
Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 6 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2**

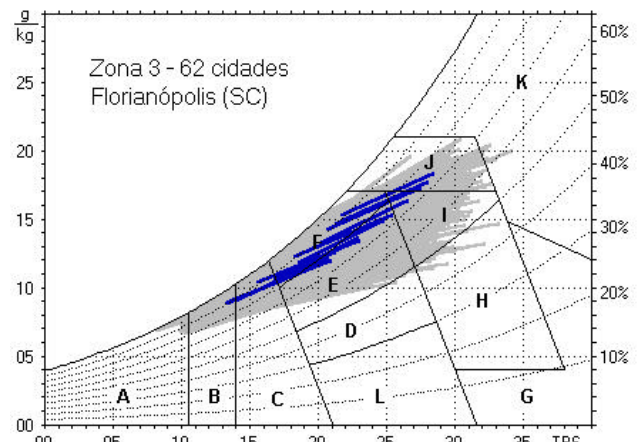
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

**6.3 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3**

Na zona bioclimática 3 (ver figuras 6 e 7) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 7, 8 e 9.



**Figura 6 - Zona Bioclimática 3**



**Figura 7 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC**

**Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

**Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3**

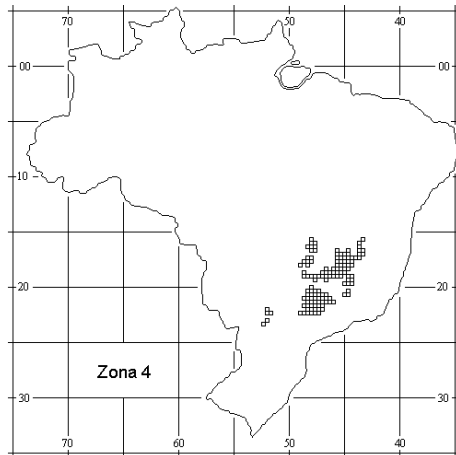
Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3**

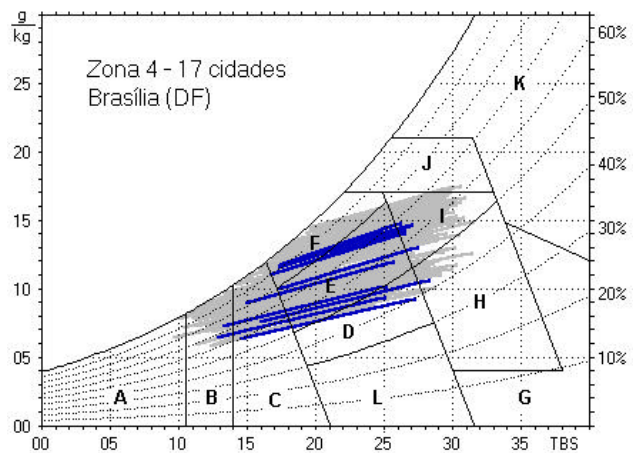
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

**6.4 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 4**

Na zona bioclimática 4 (ver figuras 8 e 9) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 10, 11 e 12.



**Figura 8 - Zona Bioclimática 4**



**Figura 9 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF**

**Tabela 10 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

**Tabela 11 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 4**

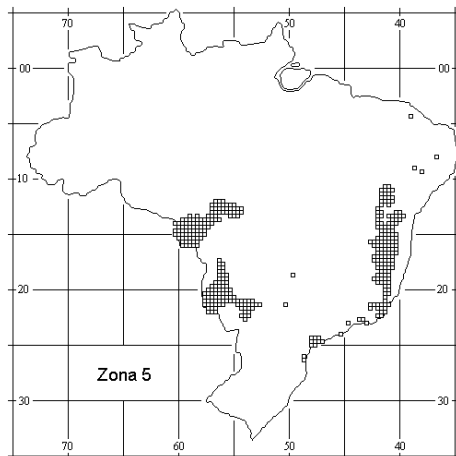
<b>Vedações externas</b>
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 12 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4**

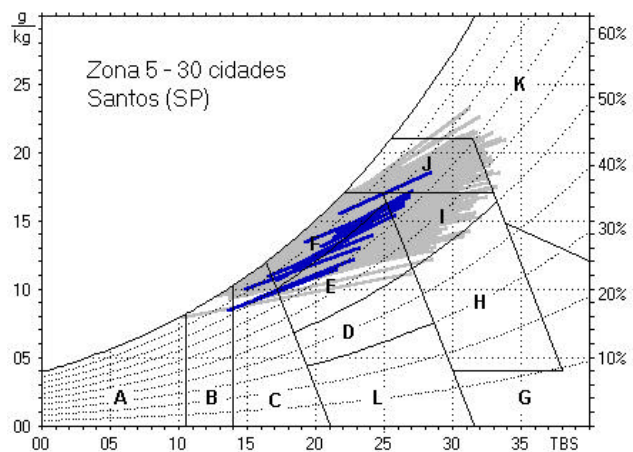
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota:	Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

**6.5 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 5**

Na zona bioclimática 5 (ver figuras 10 e 11) devem ser atendidas as diretrizes construtivas apresentadas nas tabelas 13, 14 e 15.



**Figura 10 - Zona Bioclimática 5**



**Figura 11 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Santos, SP**

**Tabela 13 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 5**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

**Tabela 14 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 5**

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 15 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 5**

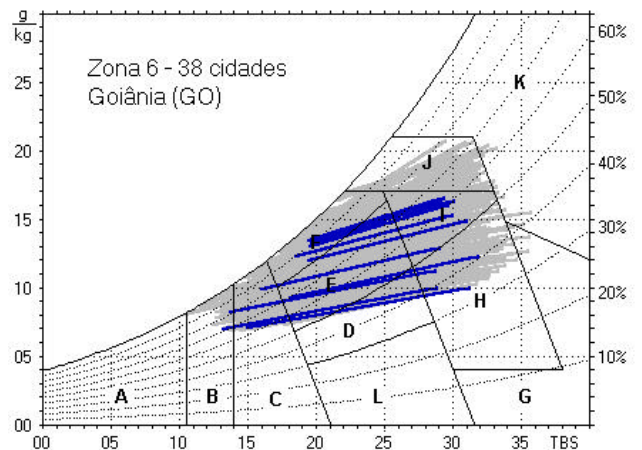
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

**6.6 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 6**

Na zona bioclimática 6 (ver figuras 12 e 13) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 16, 17 e 18.



**Figura 12 - Zona Bioclimática 6**



**Figura 13 - Carta Bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Goiânia, GO**

**Tabela 16 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 6**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

**Tabela 17 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 6**

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

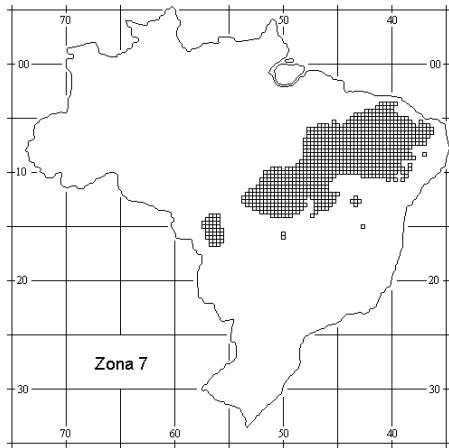
**Tabela 18 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 6**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos H, J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

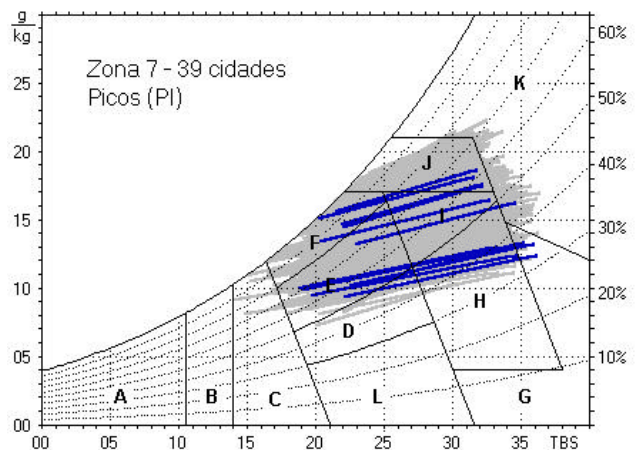


**6.7 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7**

Na zona bioclimática 7 (ver figuras 14 e 15) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 19, 20 e 21.



**Figura 14 - Zona Bioclimática 7**



**Figura 15 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI**

**Tabela 19 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

**Tabela 20 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7**

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Pesada

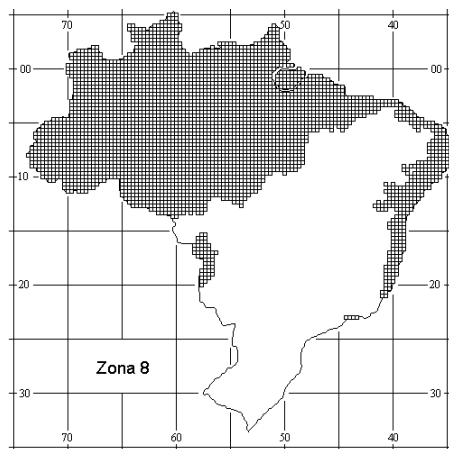
**Tabela 21 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)

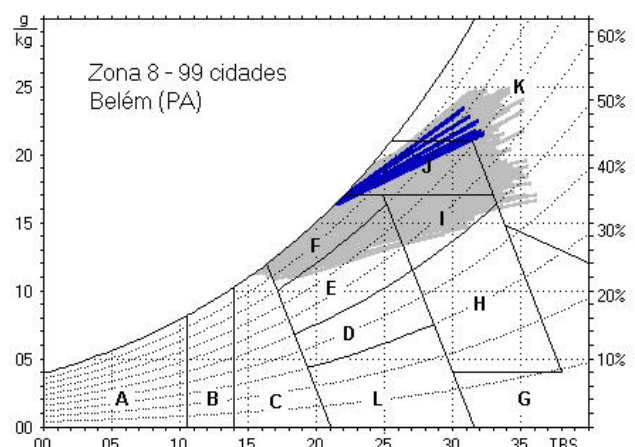
Nota:  
Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

**6.8 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8**

Na zona bioclimática 8 (ver figuras 16 e 17) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 22, 23 e 24.



**Figura 16 - Zona Bioclimática 8**



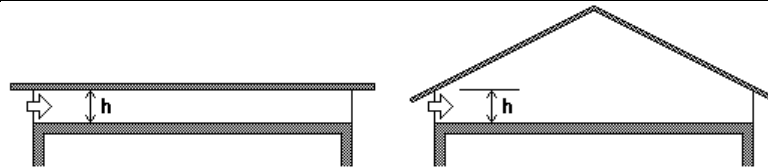
**Figura 17 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA**

**Tabela 22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

**Tabela 23 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8**

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
Notas: 1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas. 2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências: a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1.

**Figura 18 - Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático**

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04} \quad (1)$$

Onde:

FT igual ao fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional);  
 h igual à altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.

Nota:

Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, FT = 1.

**Tabela 24 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada permanente  Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes. O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

## 7 Estratégias de condicionamento térmico

A tabela 25 apresenta o detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.

**Tabela 25 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico**

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

**Tabela 25 (conclusão) - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.**

Estratégia	Detalhamento
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

//ANEXO

**Anexo A (normativo)**  
**Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados**

**A.1 Notas sobre as colunas**

A primeira coluna (UF) indica a Unidade Federativa a que a cidade pertence e a quarta coluna (Zona) indica a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida. Os estados e as cidades são apresentados em ordem alfabética. A terceira coluna apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas, de acordo com a metodologia utilizada.

UF	Cidade	Estrat.	Zona
AC	Cruzeiro do Sul	FJK	8
AC	Rio Branco	FIJK	8
AC	Tarauacá	FJK	8
AL	Água Branca	CFI	5
AL	Anadia	FIJ	8
AL	Coruripe	FIJ	8
AL	Maceió	FIJ	8
AL	Palmeira dos Índios	FIJ	8
AL	Pão de Açúcar	FIJK	8
AL	Pilar	FIJ	8
AL	Porto de Pedras	FIJ	8
AM	Barcelos	FJK	8
AM	Coari	FJK	8
AM	Fonte Boa	FJK	8
AM	Humaitá	FIJK	8
AM	laurete	FJK	8
AM	Itacoatiara	FJK	8
AM	Manaus	FJK	8
AM	Parintins	JK	8
AM	Taracua	FJK	8
AM	Tefé	FJK	8
AM	Uaupes	FJK	8
AP	Macapá	FJK	8
BA	Alagoinhas	FIJ	8
BA	Barra do Rio Grande	CDFHI	6
BA	Barreiras	DFHIJ	7
BA	Bom Jesus da Lapa	CDFHI	6
BA	Caetité	CDFI	6
BA	Camaçari	FIJ	8
BA	Canavieiras	FIJ	8
BA	Caravelas	FIJ	8
BA	Carinhanha	CDFHI	6
BA	Cipó	FIJK	8
BA	Correntina	CFHIJ	6
BA	Guaratinga	FIJ	8
BA	Ibipetuba	CFHIJ	6
BA	Ilhéus	FIJ	8
BA	Irecê	CDFHI	6
BA	Itaberaba	FI	8
BA	Itiruçu	CFI	5
BA	Ituaçu	CDFHI	6
BA	Jacobina	FI	8
BA	Lençóis	FIJ	8
BA	Monte Santo	CFHI	6
BA	Morro do Chapéu	CFI	5
BA	Paratinga	FHIJK	7
BA	Paulo Afonso	FHIJK	7
BA	Remanso	DFHI	7
BA	Salvador (Ondina)	FIJ	8
BA	Santa Rita de Cássia	CFHIJ	6
BA	São Francisco do Conde	FIJ	8
BA	São Gonçalo dos Campos	FIJ	8
BA	Senhor do Bonfim	FHI	7
BA	Serrinha	FIJ	8
BA	Vitória da Conquista	CFI	5

UF	Cidade	Estrat.	Zona
CE	Barbalha	DFHIJ	7
CE	Campos Sales	DFHIJ	7
CE	Crateús	DFHIJ	7
CE	Fortaleza	FIJ	8
CE	Guaramiranga	CFI	5
CE	Iguatu	DFHIJ	7
CE	Jaguaruana	FIJK	8
CE	Mondibim	FIJ	8
CE	Morada Nova	FHIJK	7
CE	Quixadá	FHIJK	7
CE	Quixeramobim	FHIJK	7
CE	Sobral	FHIJK	7
CE	Tauá	DFHIJ	7
DF	Brasília	BCDFI	4
ES	Cachoeiro de Itapemirim	FIJK	8
ES	Conceição da Barra	FIJ	8
ES	Linhares	FIJ	8
ES	São Mateus	FIJ	8
ES	Vitória	FIJ	8
GO	Aragarças	CFHIJ	6
GO	Catalão	CDFHI	6
GO	Formosa	CDFHI	6
GO	Goiânia	CDFHI	6
GO	Goiás	FHIJ	7
GO	Ipamerí	BCDFI	4
GO	Luziânia	BCDFI	4
GO	Pirenópolis	CDFHI	6
GO	Posse	CDFHI	6
GO	Rio Verde	CDFHI	6
MA	Barra do Corda	FHIJK	7
MA	Carolina	FHIJ	7
MA	Caxias	FHIJK	7
MA	Coroatá	FIJK	8
MA	Grajaú	FHIJK	7
MA	Imperatriz	FHIJK	7
MA	São Bento	FIJK	8
MA	São Luiz	JK	8
MA	Turiacu	FIJ	8
MA	Zé Doca	FIJK	8
MG	Aimorés	CFIJK	5
MG	Araçuaí	CFIJ	5
MG	Araxá	BCFI	3
MG	Bambuí	BCFIJ	3
MG	Barbacena	BCFI	3
MG	Belo Horizonte	BCFI	3
MG	Caparaó	ABCDFI	2
MG	Capinópolis	CFIJ	5
MG	Caratinga	BCFI	3
MG	Cataguases	CFIJ	5
MG	Conceição do Mato Dentro	BCFI	3
MG	Coronel Pacheco	BCFIJ	3
MG	Curvelo	BCFIJ	3
MG	Diamantina	BCFI	3
MG	Espinosa	CDFHI	6
MG	Frutal	CFHIJ	6

## Continuação

UF	Cidade	Estrat.	Zona
MG	Governador Valadares	CFIJ	5
MG	Grão Mogol	BCFI	3
MG	Ibirité	ABCFI	2
MG	Itabira	BCFI	3
MG	Itajubá	ABCFI	2
MG	Itamarandiba	BCFI	3
MG	Januária	CFHIJ	6
MG	João Pinheiro	CDFHI	6
MG	Juiz de Fora	BCFI	3
MG	Lavras	BCFI	3
MG	Leopoldina	CFIJ	5
MG	Machado	ABCFI	2
MG	Monte Alegre de Minas	BCFIJ	3
MG	Monte Azul	DFHI	7
MG	Montes Claros	CDFHI	6
MG	Muriae	BCFIJ	3
MG	Oliveira	BCDFI	4
MG	Paracatu	CFHIJ	6
MG	Passa Quatro	ABCFI	2
MG	Patos de Minas	BCDFI	4
MG	Pedra Azul	CFI	5
MG	Pirapora	BCFHI	4
MG	Pitangui	BCFHI	4
MG	Poços de Calda	ABCF	1
MG	Pompeu	BCFIJ	3
MG	Santos Dumont	BCFI	3
MG	São Francisco	CFHIJ	6
MG	São João Del Rei	ABCFI	2
MG	São João Evangelista	BCFIJ	3
MG	São Lourenço	ABCFI	2
MG	Sete Lagoas	BCDFI	4
MG	Teófilo Otoni	CFIJ	5
MG	Três Corações	ABCFI	2
MG	Ubá	BCFIJ	3
MG	Uberaba	BCFIJ	3
MG	Viçosa	BCFIJ	3
MS	Aquidauana	CFIJK	5
MS	Campo Grande	CFHIJ	6
MS	Corumbá	FIJK	8
MS	Coxim	CFHIJ	6
MS	Dourados	BCFIJ	3
MS	Ivinhema	CFIJK	5
MS	Paranaíba	CFHIJ	6
MS	Ponta Porã	BCFI	3
MS	Três Lagoas	CFHIJ	6
MT	Cáceres	FIJK	8
MT	Cidade Vera	CFIJK	5
MT	Cuiabá	FHIJK	7
MT	Diamantino	FHIJK	7
MT	Meruri	CFHIJ	6
MT	Presidente Murtinho	BCFIJ	3
PA	Altamira	FJK	8
PA	Alto Tapajós	FJK	8
PA	Belém	FJK	8
PA	Belterra	FJK	8

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PA	Breves	FJK	8
PA	Conceição do Araguaia	FIJK	8
PA	Itaituba	FJK	8
PA	Marabá	FJK	8
PA	Monte Alegre	FIJ	8
PA	Óbidos	FJK	8
PA	Porto de Moz	FJK	8
PA	Santarém (Taperinha)	FJK	8
PA	São Félix do Xingú	FIJK	8
PA	Soure	JK	8
PA	Tiríós	FIJ	8
PA	Tracuateua	FIJK	8
PA	Tucuruí	FJK	8
PB	Areia	FIJ	8
PB	Bananeiras	FIJ	8
PB	Campina Grande	FIJ	8
PB	Guarabira	FIJK	8
PB	João Pessoa	FIJ	8
PB	Monteiro	CFHI	6
PB	São Gonçalo	FHIJK	7
PB	Umbuzeiro	FI	8
PE	Arco Verde	FHI	7
PE	Barreiros	FJK	8
PE	Cabrobó	DFHI	7
PE	Correntes	FIJ	8
PE	Fernando de Noronha	FIJ	8
PE	Floresta	FHIK	7
PE	Garanhuns	CFI	5
PE	Goiana	FIJ	8
PE	Nazaré da Mata	FIJ	8
PE	Pesqueira	FI	8
PE	Petrolina	DFHI	7
PE	Recife	FIJ	8
PE	São Caetano	FIJ	8
PE	Surubim	FIJ	8
PE	Tapera	FIJ	8
PE	Triunfo	CFHI	6
PI	Bom Jesus do Piauí	DFHIJ	7
PI	Floriano	FHIJK	7
PI	Parnaíba	FIJ	8
PI	Paulistana	DFHIJ	7
PI	Picos	DFHIJ	7
PI	Teresina	FHIJK	7
PR	Campo Mourão	BCFI	3
PR	Castro	ABCF	1
PR	Curitiba	ABCF	1
PR	Foz do Iguaçu	BCFIJ	3
PR	Guaíra	BCFIJ	3
PR	Guarapuava	ABCF	1
PR	Ivaí	ABCFI	2
PR	Jacarezinho	BCFIJ	3
PR	Jaguariaiva	ABCFI	2
PR	Londrina	BCFI	3
PR	Maringá	ABCD	1
PR	Palmas	ABCF	1

## Continuação

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PR	Paranaguá	BCFIJ	3
PR	Ponta Grossa	ABCFI	2
PR	Rio Negro	ABCFI	2
RJ	Angra dos Reis	FIJ	8
RJ	Barra do Itabapoana	CFIJ	5
RJ	Cabo Frio	FIJ	8
RJ	Campos	CFIJ	5
RJ	Carmo	BCFIJ	3
RJ	Cordeiro	BCFIJ	3
RJ	Escola Agrícola	CFIJ	5
RJ	Ilha Guaiaba	FIJ	8
RJ	Itaperuna	CFIJ	5
RJ	Macaé	CFIJ	5
RJ	Niterói	CFIJ	5
RJ	Nova Friburgo	ABCFI	2
RJ	Petrópolis	BCF	3
RJ	Piraí	BCFIJ	3
RJ	Rezende	BCFIJ	3
RJ	Rio de Janeiro	FIJ	8
RJ	Rio Douro	CFIJ	5
RJ	Teresópolis	ABCFI	2
RJ	Vassouras	BCFIJ	3
RJ	Xerém	CFIJ	5
RN	Apodí	FIJK	8
RN	Ceará Mirim	FIJ	8
RN	Cruzeta	FHIJK	7
RN	Florânia	FHIJ	7
RN	Macaíba	FIJ	8
RN	Macau	FIJ	8
RN	Mossoró	FHIJK	7
RN	Natal	FIJ	8
RN	Nova Cruz	FIJ	8
RO	Porto Velho	FIJK	8
RS	Alegrete	ABCFI	2
RS	Bagé	ABCFI	2
RS	Bom Jesus	ABCF	1
RS	Caxias do Sul	ABCF	1
RS	Cruz Alta	ABCFI	2
RS	Encruzilhada do Sul	ABCFI	2
RS	Iraí	BCFIJ	3
RS	Passo Fundo	ABCFI	2
RS	Pelotas	ABCFI	2
RS	Porto Alegre	BCFI	3
RS	Rio Grande	BCFI	3
RS	Santa Maria	ABCFI	2
RS	Santa Vitória do Palmar	ABCFI	2
RS	São Francisco de Paula	ABCF	1
RS	São Luiz Gonzaga	ABCFI	2
RS	Torres	BCFI	3
RS	Uruguaiana	ABCFI	2
SC	Araranguá	ABCFI	2
SC	Cambóriu	BCFIJ	3
SC	Chapecó	BCFI	3
SC	Florianópolis	BCFIJ	3
SC	Indaial	BCFIJ	3

UF	Cidade	Estrat.	Zona
SC	Lages	ABCF	1
SC	Laguna	ABCFI	2
SC	Porto União	ABCFI	2
SC	São Francisco do Sul	CFIJ	5
SC	São Joaquim	ABCF	1
SC	Urussanga	ABCFI	2
SC	Valões	ABCFI	2
SC	Xanxerê	ABCFI	2
SE	Aracajú	FIJ	8
SE	Itabaianinha	FIJ	8
SE	Propriá	FIJK	8
SP	Andradina	CFHIJ	6
SP	Araçatuba	CFIJK	5
SP	Avaré	BCFIJ	3
SP	Bandeirantes	BCFI	3
SP	Bariri	BCFI	3
SP	Barra Bonita	BCFI	3
SP	Campinas	BCFI	3
SP	Campos do Jordão	ABCF	1
SP	Casa Grande	ABCFI	2
SP	Catanduva	CFHIJ	6
SP	Franca	BCDF	4
SP	Graminha	BCFI	3
SP	Ibitinga	BCFIJ	3
SP	Iguape	CFIJ	5
SP	Itapeva	ABCFI	2
SP	Jau	BCDFI	4
SP	Juquiá	CFIJ	5
SP	Jurumirim	BCFI	3
SP	Limeira	BCDFI	4
SP	Limoeiro	BCDFI	4
SP	Mococa	BCDFI	4
SP	Mogi Guaçu (Campininha)	BCFIJ	3
SP	Paraguaçu Paulista	CDFI	6
SP	Pindamonhangaba	BCFIJ	3
SP	Pindorama	CDFHI	6
SP	Piracicaba	ABCFI	2
SP	Presidente Prudente	CDFHI	6
SP	Ribeirão das Antas	BCFI	3
SP	Ribeirão Preto	BCDFI	4
SP	Salto Grande	BCFIJ	3
SP	Santos	CFIJ	5
SP	São Carlos	BCDFI	4
SP	São Paulo	BCFI	3
SP	São Simão	BCDFI	4
SP	Sorocaba	BCFI	3
SP	Tietê	BCFI	3
SP	Tremembé	BCFI	3
SP	Ubatuba	BCFIJ	3
SP	Viracopos	BCDFI	4
SP	Votuporanga	CDFHI	6
TO	Paraná	CFHIJ	6
TO	Peixe	FHIJK	7
TO	Porto Nacional	FHIJK	7
TO	Taguatinga	DFHIJ	7

## Anexo B (normativo) Zoneamento Bioclimático do Brasil

### B.1 Conceituação

O território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima.

Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

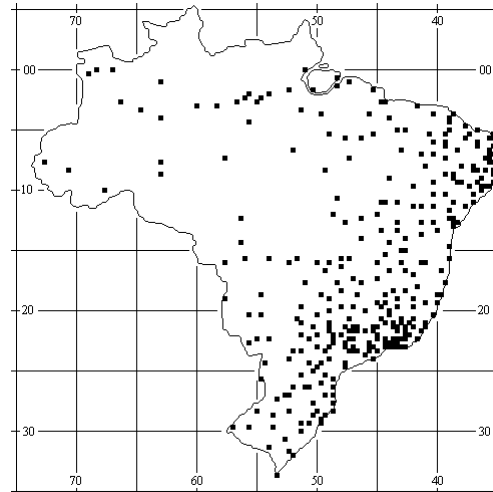
### B.2 Base de dados climáticos

**B.2.1** O território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma das quais foi caracterizada pela posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas:

- a) Médias mensais das temperaturas máximas;
- b) Médias mensais das temperaturas mínimas; e
- c) Médias mensais das umidades relativas do ar.

**B.2.2** Para 330 células (ver figura B.1) contou-se com:

- a) dados das Normais Climatológicas medidos desde 1961 a 1990 em 206 cidades;
- b) dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos desde 1931 a 1960 em 124 cidades;
- c) para as demais células o clima foi estimado, por interpolação, através dos passos B.2.2.1 e B.2.2.2.



**Figura B.1 – Localização das células com dados medidos**

#### B.2.2.1 Médias mensais de temperaturas máximas e mínimas

Os valores de cada célula foram considerados como médias ponderadas entre quatro células vizinhas (acima, abaixo, à esquerda e à direita). Na ponderação, as células com dados medidos tiveram peso quatro e as demais, peso um.

#### B.2.2.2 Médias mensais de umidades relativas

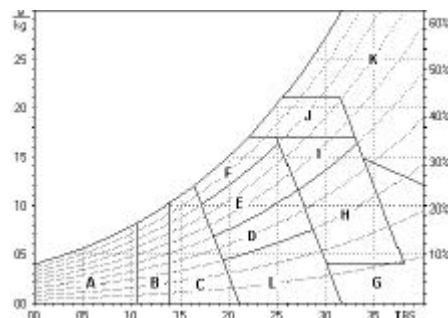
Através dos algoritmos das relações psicrométricas (“Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines”, ASHRAE, 1996), foram primeiramente calculadas as umidades absolutas (gramas de vapor d’água/quilo de ar seco) das cidades com clima medido.

Em seguida, estas umidades foram interpoladas pelo mesmo procedimento adotado para as temperaturas.

Finalmente, para cada célula, foram obtidas as umidades relativas correspondentes às temperaturas médias mensais.

### B.3 Método para a classificação bioclimática

Adotou-se uma Carta Bioclimática (ver figura B.2) adaptada a partir da sugerida por Givoni (“Comfort, climate analysis and building design guidelines”. Energy and Building, vol.18, july/92).



**Figura B.2 – Carta bioclimática adaptada**

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Sobre esta carta, foram registrados e classificados os climas de cada ponto do território brasileiro. Para cada mês do ano, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta (ver figura B.3), obtida da seguinte maneira:

Dados de entrada:

- a) **Tmin** igual à temperatura média das mínimas;
- b) **Tmax** igual à temperatura média das máximas;
- c) **UR** igual à média mensal da umidade relativa.

Cálculo da temperatura média mensal e seqüência

$$T_{med} = (T_{min} + T_{max}) / 2$$

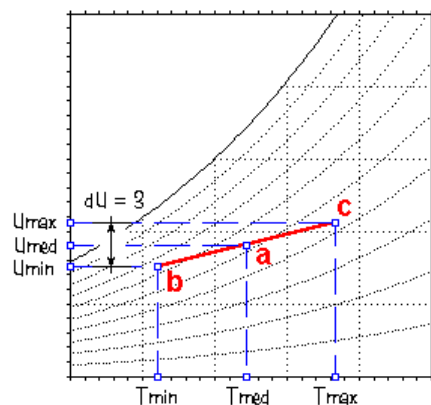


Figura B.3 – Determinação da linha abc

Marcar o ponto “a”, na interseção entre **Tmed** e **UR**.

A umidade absoluta correspondente ao ponto “a” será considerada como a média mensal da umidade absoluta (**Umed**, em g. de vapor / kg de ar seco).

Calcular **Umin** (umidade absoluta correspondente a **Tmin**) pela seguinte expressão:

$$U_{min} = U_{med} - 1,5 \text{ (gr. Vapor / kg ar seco)}$$

Calcular **Umax** (umidade absoluta correspondente a **Tmax**) pela seguinte expressão:

$$U_{max} = U_{med} + 1,5 \text{ (gr. Vapor / kg ar seco)}$$

Nota: A variação média da umidade absoluta do ar, adotada nas expressões acima, é sugerida por Lamberts, Dutra e Pereira (“Eficiência Energética na Arquitetura”, 1997, página 144).

Localizar o ponto “b” na interseção entre as retas que passam por **Tmin** e por **Umin**

Localizar o ponto “c” na interseção entre as retas que passam por **Tmax** e por **Umax**

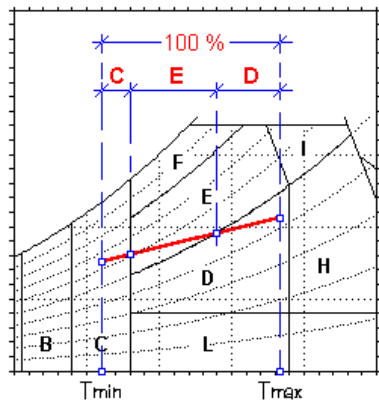


Figura B.4 – Percentagem de cada estratégia

A reta “bc” representa todas as horas de um dia médio do mês considerado. Calcula-se, então, a percentagem destas horas que corresponda a cada uma das estratégias indicadas na carta bioclimática.

No exemplo indicado na figura B.4 , as horas mais frias do dia estão na região **C** da carta (massa térmica para aquecimento), enquanto as mais quentes estão na região **D**. Como a reta inteira equivale a 100% do tempo, os segmentos C, E e D indicam, respectivamente, as percentagens das horas correspondentes a cada uma destas estratégias. Esta operação é repetida para os 12 meses, calculando-se, assim, as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano.

**B.4 Um caso particular**

A figura B.5 mostra uma condição climática sob a qual a aplicação do procedimento indicado implicaria em localizar o ponto “b” acima da curva de saturação do ar.

Nestes casos, fazendo corresponder o ponto “b” a uma umidade relativa ≤ 100%, adota-se uma amplitude maior que 3 para a umidade absoluta (dU > 3 gr vapor / kg ar seco).

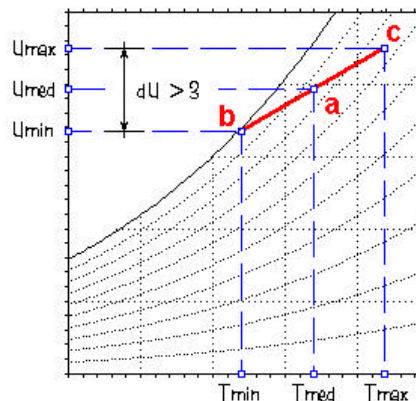


Figura B.5 – Ponto acima da curva de saturação do ar



A carta indicada na figura B.6 apresenta o clima de Brasília, com as respectivas percentagens das horas/ano correspondentes a cada estratégia. Valores menores que 1% são desprezados. Em seguida, são selecionadas as cinco principais estratégias, exceto a da região "E" (conforto térmico). No caso de Brasília, restariam as seguintes:

- F – 16,2 %
- D – 10,6 %
- C – 12,7 %
- I – 3,7%
- B – 1,5%

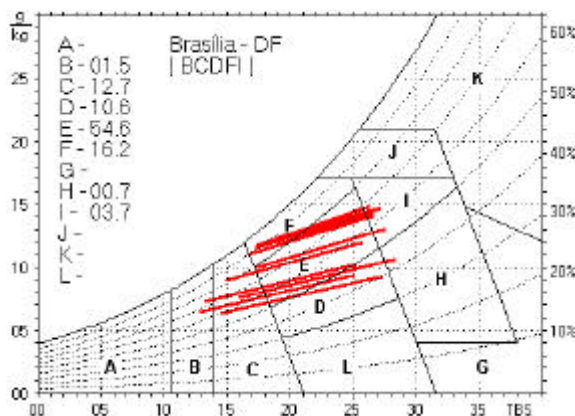


Figura B.6 – Estratégias bioclimáticas para Brasília

Reunidas em ordem alfabética, estas letras definem o código "BCDFI" para o clima analisado. Este código permitirá a classificação de cada tipo de clima, em uma das oito Zonas Bioclimáticas, através dos critérios apresentados na tabela B.1

Tabela B.1 - Critérios para classificação bioclimática

Classificação							Zona	Nº Cidades
A	B	C	D	H	I	J		
Sim					Não	Não	1	12
Sim							2	33
	Sim		Não	Não			3	62
	Sim						4	17
		Sim	Não	Não			5	30
		Sim					6	38
				Sim			7	39
			Não				8	99

Legenda: Sim = presença obrigatória  
 Não = presença proibida

NOTAS:  
 1 As estratégias não assinaladas com **sim** ou **não** podem estar no código do clima, mas sua presença não é obrigatória.  
 2 Percorrer a tabela de cima para baixo, adotando a primeira zona cujos critérios coincidam com o código.

**B.5 Exemplo de aplicação**

Como já foi visto, o clima de Brasília é identificado pelas letras BCDFI. Percorre-se, então, a tabela, de cima para baixo, procurando a primeira Zona cujos critérios aceitem esta seqüência:

Zona 1: **A** é obrigatório e **I** e **J** são proibidos. Portanto, Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A e tem I.

Zona 2: **A** é obrigatório. Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A.

Zona 3: **B** é obrigatório e **D** e **H** são proibidos. Brasília tem D, portanto não faz parte desta Zona Bioclimática.

Zona 4: **B** é obrigatório. Como Brasília tem B, sua Zona Bioclimática é a 4.

**Anexo C** (informativo)**Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local**

A tabela C.1 apresenta diretrizes construtivas relativas às aberturas para ventilação e a tabela C.2, diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas.

**Tabela C.1 - Aberturas para ventilação**

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

**Tabela C.2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa**

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m <sup>2</sup> .K	Atraso térmico - $\varphi$ Horas	Fator solar - FS <sub>o</sub> %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

**NOTAS**

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

2 s aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

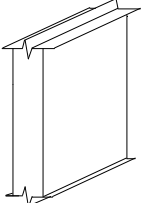
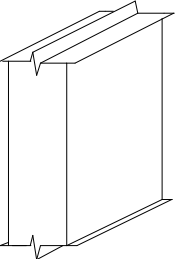
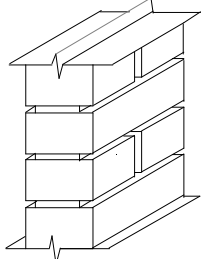
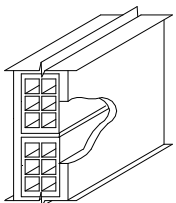
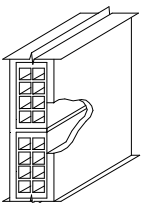
**Anexo D** (informativo)**Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas****Tabela D.1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.3**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

**Tabela D.2 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.4**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibro-cimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido ( $\varepsilon < 0,2$ )	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

**Tabela D.3 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes**

Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	$\phi$ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

**Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.**

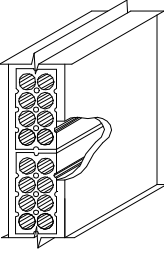
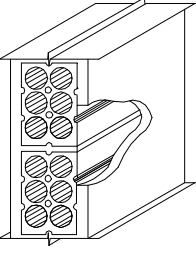
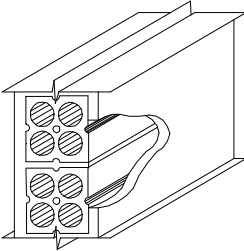
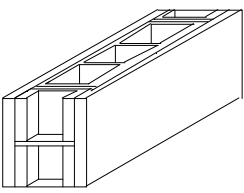
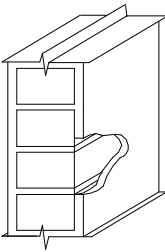
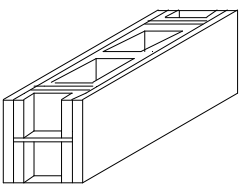
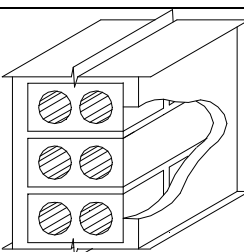
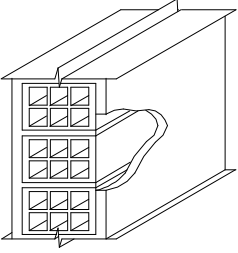
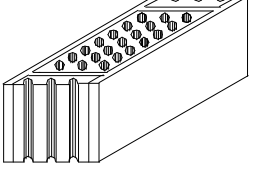
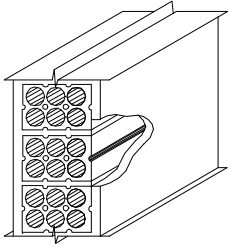
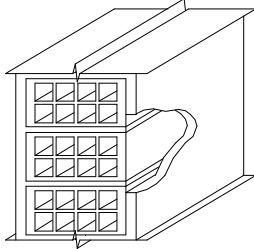
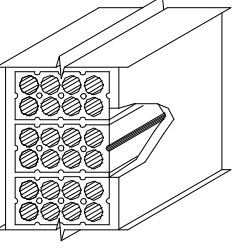
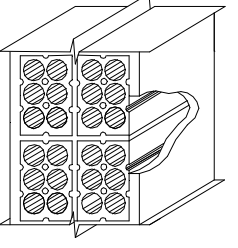
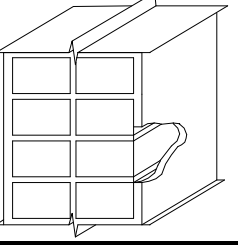
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	3,7
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7
	Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm	2,49	186	3,7
	Parede de blocos cerâmicos de 3 furos Dimensões do bloco: 13,0x28,0x18,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 18,0 cm	2,43	192	3,8
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255	3,8
	Parede de blocos cerâmicos de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0x29,5x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,45	203	4,0
	Parede de tijolos com 2 furos circulares Dimensões do tijolo: 12,5x6,3x22,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm	2,43	220	4,2

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

**Tabela D.3 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.**

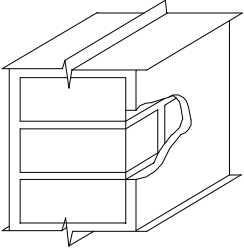
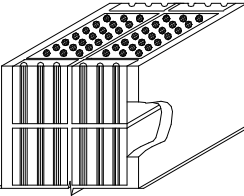
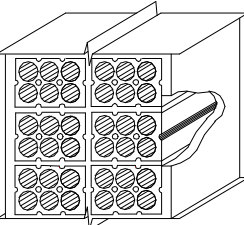
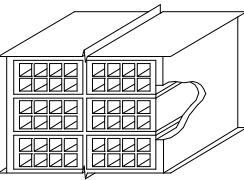
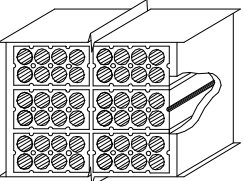
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm	2,25	445	6,8
	Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm	1,54	368	8,1
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm	1,21	312	8,6
	Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm	1,12	364	9,9
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

Tabela D.4 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

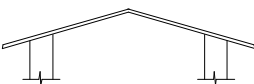
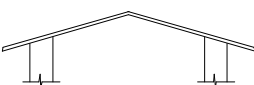
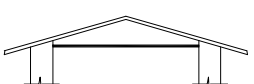
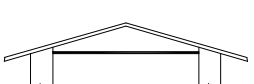
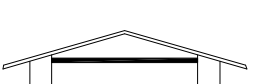
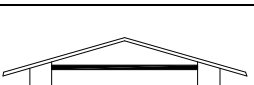
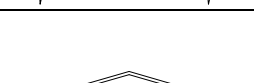

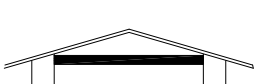
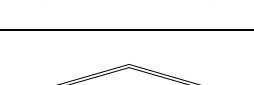
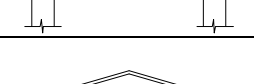

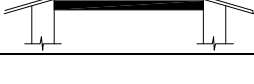
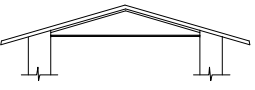
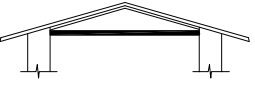

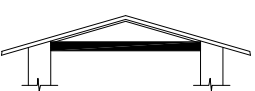
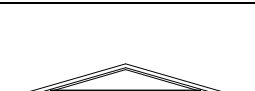
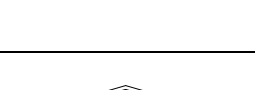
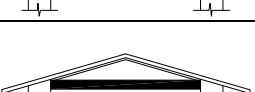
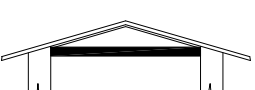
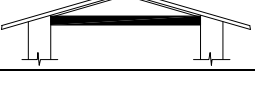
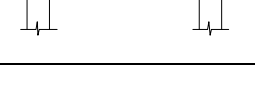

Cobertura	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55	18	0,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm	4,60	11	0,2
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	32	1,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	25	1,3
	Cobertura de telha de barro com forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,24	84	2,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,25	77	2,6
	Cobertura de telha de barro com forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm R <sub>t(laje)</sub> = 0,0900 (m <sup>2</sup> .K/W) C <sub>T(laje)</sub> = 95 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	1,92	113	3,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm R <sub>t(laje)</sub> = 0,0900 (m <sup>2</sup> .K/W) C <sub>T(laje)</sub> = 95 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	1,93	106	3,6
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,84	458	8,0
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,99	451	7,9
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,75	568	9,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,75	561	9,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,11	32	2,0

Tabela D.4 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,16	25	2,0
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	84	4,2
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	77	4,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ $C_{T(laje)} = 95 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$	1,09	113	5,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ $C_{T(laje)} = 95 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$	1,09	106	5,4
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,06	458	11,8
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,06	451	11,8
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,03	568	13,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,03	561	13,4
	Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,95	33	2,3
	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,62	34	3,1

## NOTAS:

1 As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

2 Deve-se atentar que, apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Desta forma, sugere-se a utilização de telhas de barro em seu estado natural, ou seja, isentas de quaisquer tratamentos que impeçam a absorção de água.