

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE ENVOLTÓRIAS RECOMENDADAS POR NORMAS DE DESEMPENHO E MAHONEY

Camila Carvalho Ferreira (1); Henor Artur de Souza (2); Eleonora Sad de Assis (3)

- (1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, camilaccferreira@yahoo.com.br
- (2) Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, henorster@gmail.com,
- (3) Professora do Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, eleonorasad@yahoo.com.br

RESUMO

As normas de desempenho térmico de edificações têm como um dos objetivos avaliar a envoltória da edificação, identificando aquelas que são adequadas e irão garantir um desempenho mínimo no qual seus usuários possam sentir-se em conforto. Atualmente, estão em vigor no Brasil duas normas que abordam o desempenho das edificações: a NBR 15.220 e a NBR 15.575. Alguns estudos apontam inconsistências nestas normas, principalmente no que se refere aos valores limites estabelecidos para as características termofísicas das paredes e coberturas. O objetivo do presente artigo é avaliar o conforto térmico de uma edificação residencial multifamiliar adotando os valores limites normativos para diferentes contextos climáticos brasileiros. Além dos valores normativos, são avaliados igualmente os valores limites para características termofísicas das paredes e coberturas segundo Mahoney. A análise foi realizada por meio de simulações no EnergyPlus© para o período de um ano-padrão em 8 cidades brasileiras. Os resultados indicaram que os valores limites para as características termofísicas das paredes e coberturas propostos pelas Tabelas de Mahoney geram melhores condições de conforto para os casos analisados, superando o desempenho dos valores normativos.

Palavras-chave: conforto térmico, desempenho térmico de envoltórias, normas de desempenho, Tabelas de Mahoney.

ABSTRACT

The standards of thermal performance of buildings have as one of the objectives the evaluation of the building envelope, identifying those that are appropriate and will guarantee a minimum performance in which users can feel in comfort. Nowadays, there are in Brazil two standards that approach the performance of residential buildings: NBR 15220 (2005) and the NBR 15575 (2013). Some studies observe inconsistencies in these standards, especially with regard to the limit values for the thermophysical characteristics of walls and roofs. The purpose of this article is to evaluate the thermal comfort of a multi-family residential building adopting regulatory limits for different Brazilian climatic contexts. In addition to the normative values, the limits for thermophysical characteristics of walls and roofs according to Mahoney Tables will also be assessed. The analysis was performed by means of simulations in the software EnergyPlus© for the period of a standard year in eight Brazilian cities. The results indicated that in general the limit values for the thermophysical characteristics of the building envelope proposed by Mahoney Tables generate better comfort conditions for the cases analyzed, outperforming the normative values.

Keywords: thermal comfort, envelopes thermal performance, standards, Mahoney Tables.

1. INTRODUÇÃO

A normalização de desempenho térmico tem como finalidade avaliar e regulamentar um padrão mínimo de desempenho para as edificações, garantindo as condições de habitabilidade e conforto destas.

Para garantir um desempenho térmico mínimo, as normas de desempenho regulamentam os ganhos através das superfícies externas opacas, estabelecendo valores limites para as características termofísicas de transmitância, absorvância e capacidade térmica. Tais valores devem garantir que as paredes e coberturas que não se adequem ao clima de uma dada localidade sejam identificadas e não sejam então adotadas.

A primeira norma de desempenho criada no Brasil foi a NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), dividida em cinco partes. Esta norma foi desenvolvida com ênfase na avaliação de habitações unifamiliares de interesse social e apresenta recomendações de projeto baseado no zoneamento bioclimático nela proposto. No que se refere à envoltória, esta norma estabelece três tipos de paredes (leve, leve refletora e pesada) e três tipos de coberturas (leve isolada, leve refletora e pesada) a serem selecionadas conforme as condições climáticas. Para cada tipo de parede e cobertura foram determinados valores limites da transmitância térmica, atraso térmico e do fator solar.

Com o intuito de ampliar a abrangência da avaliação de desempenho térmico de edificações, em 2008 foi publicada a NBR 15.575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos: desempenho, sendo revista em 2013 e publicada como NBR 15.575 – Edifícios habitacionais: desempenho (ABNT, 2013). Esta norma abrange o desempenho da edificação em vários aspectos, entre os quais o desempenho térmico que poderá ser avaliado por três procedimentos: simplificado (prescritivo), simulação ou medição. O procedimento simplificado verifica o atendimento de critérios mínimos referentes às características termofísicas de transmitância e capacidade térmica, para os sistemas de fechamento e de cobertura, conforme estabelecido nas partes 4 e 5 da NBR 15.575 (2013).

Os valores limites das normas NBR 15.220 e NBR 15.575 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores limites para as características termofísicas segundo as normas NBR 15.220 e NBR 15.575

DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES										
Zona Bioclimática		ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	
NBR 15220	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 3,00		U ≤ 3,60	U ≤ 2,20	U ≤ 3,60	U ≤ 2,20		U ≤ 3,60	
	Atraso térmico – φ (h)	φ ≤ 4,3		φ ≤ 4,3	φ ≥ 6,5	φ ≤ 4,3	φ ≥ 6,5		φ ≤ 4,3	
	Fator Solar – FS _o (%)	FS _o ≤ 5,0		FS _o ≤ 4,0	FS _o ≤ 3,5	FS _o ≤ 4,0	FS _o ≤ 3,5		FS _o ≤ 4,0	
NBR 15575	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 2,50		U ≤ 3,70 para α ≤ 0,6 U ≤ 2,50 para α > 0,6						
	Capacidade térmica – CT (kJ/m ² K)	CT ≥ 130							-	
DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS										
Zona Bioclimática		ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	
NBR 15220	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 2,00						U ≤ 2,00	U ≤ 2,30. FT ¹	
	Atraso térmico – φ (h)	φ ≤ 3,3						φ ≥ 6,5	φ ≤ 3,3	
	Fator Solar – FS _o (%)	FS _o ≤ 6,5						FS _o ≤ 6,5	FS _o ≤ 6,5	
NBR 15575	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 2,30		U ≤ 2,30 para α ≤ 0,6			U ≤ 2,30FT ¹ para α ≤ 0,4			
				U ≤ 1,50 para α > 0,			U ≤ 1,50FT ¹ para α > 0,4			

¹ FT = 1,17 - 1,07h^{-1,04}

Fonte: ABNT, 2005 e ABNT, 2013.

Fazendo uma avaliação inicial visual, pode-se constatar que, apesar de ambas as normas basearem-se no zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15.220-3 (2005), há diferenças entre os valores limites de cada norma para uma mesma zona bioclimática. É também relevante ressaltar a contradição entre as duas normas no que se refere à inércia térmica. A NBR 15.220, aborda a questão restringindo o valor do atraso térmico a um valor máximo para as paredes leves e leves e refletoras, e a um valor mínimo para as paredes pesadas, pré-estabelecendo assim um limite máximo de espessura de um sistema construtivo qualquer para uma parede leve e leve refletora. Já a NBR 15.575 define apenas um valor mínimo para a capacidade térmica, estabelecendo um limite mínimo para um sistema construtivo. Ou seja, as normas abordam a inércia térmica de forma contrária. Estudos realizados mostram discrepâncias entre os valores limites normativos estabelecidos e o bom desempenho térmico da edificação. Pereira e Assis (2005) realizaram um estudo sobre a adequação das recomendações propostas pela NBR 15.220-3 (2005) para a cidade de Belo Horizonte, inserida na zona bioclimática 3, e constataram que o valor da transmitância térmica sugerido é mais elevado

do que o valor que seria adequado. Também referente a esta norma, Bogo (2008) coloca que o valor da transmitância térmica de 2,00 W/m²K se trata de um valor alto para as coberturas denominadas como “leve e isolada”.

Em estudos realizados sobre a NBR 15.575 (2013), Brito et al. (2012) expõem que os valores limites para a zona bioclimática 8 deveriam ser mais rigorosos no que se refere à transmitância térmica das coberturas. Além disso, para esta mesma zona, os valores limites das paredes deveriam ser revistos de modo a considerar de forma conjunta a transmitância térmica e a capacidade térmica, quando ocorrerem baixas transmitâncias térmicas das coberturas. Chvatal (2014) concluiu, a partir dos resultados obtidos em seu estudo, que o impacto combinado da transmitância térmica e da absorvância solar não é representado de forma adequada nos limites estabelecidos pela NBR 15.575 (2013) e ainda, que a capacidade térmica deveria ser considerada no estabelecimento destes valores, podendo levar a uma classificação de desempenho equivocada.

Apesar de não ser uma norma, outro trabalho a ser citado e que estabelece valores limites para as características termofísicas dos fechamentos externos são as Tabelas de Mahoney (UNITED NATIONS, 1971). As Tabelas de Mahoney foram desenvolvidas por Mahoney e sua equipe em 1968 para análise de edificações habitacionais e escolares e oferecem um método simplificado de análise climática associada a faixas de conforto, para, ao final, gerar uma série de recomendações básicas de projeto. Dentre estas recomendações estão os tipos de parede (leve ou pesada) e de coberturas (leve, leve e bem isolada e pesada), assim como seus respectivos valores limites (

Tabela 2).

Tabela 2 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney

	Transmitância Térmica - U (W/m ² K)	Fator Solar - FS _o (%)	Atraso térmico - φ (h)
PAREDES			
Leve	U ≤ 2,80	FS _o ≤ 4,0	φ ≤ 3,0
Pesada	U ≤ 2,00	FS _o ≤ 4,0	φ ≥ 8,0
COBERTURAS			
Leve	U ≤ 1,10	FS _o ≤ 4,0	φ ≤ 3,0
Leve e bem isolada	U ≤ 0,85	FS _o ≤ 3,0	φ ≤ 3,0
Pesada	U ≤ 0,85	FS _o ≤ 3,0	φ ≥ 8,0

Fonte: United Nations, 1971.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o conforto térmico resultante em uma edificação residencial multifamiliar a partir da adoção dos valores limites das características termofísicas das envoltórias de acordo com a NBR 15.220 (2005), NBR 15.575 (2013) e Mahoney (1971) para diferentes contextos climáticos brasileiros com base em simulação computacional.

3. MÉTODO

O método deste trabalho consiste na simulação de uma edificação residencial multifamiliar para diferentes conformações de envoltórias com as respectivas características termofísicas estabelecidas pelos valores limites da NBR 15.220 (2005), NBR 15.575 (2013) e Mahoney (1971). As simulações são realizadas no programa EnergyPlus© versão 8.1.0.008, conforme recomenda a NBR 15.575, pelo período de um ano padrão (de acordo com o método TMY) para 8 cidades brasileiras representativas de cada uma das zonas bioclimáticas, de acordo com as recomendações de cada uma das normas e de Mahoney para o período de um ano padrão.

Adotou-se a taxa de ventilação de 1 ren/h com o objetivo de minimizar o efeito da ventilação e assim enfatizar o efeito das envoltórias no desempenho térmico e, também, estar compatível com o estabelecido pelo método de análise proposto pela NBR 15.575. Não foi considerada a taxa de infiltração nas esquadrias. Seguindo também as recomendações desta norma, não foi considerada a ocupação interna.

Em razão dos parâmetros de dia típico da NBR 15.575 não estarem completamente definidos para a simulação, obrigando ao usuário estimar alguns desses parâmetros, o que pode induzir a erros, optou-se por realizar simulações anuais horárias. Além disso, a simulação anual horária permite uma simulação mais representativa do desempenho da edificação, uma vez que considera a influência da variação do clima, de fundamental importância para alguns locais do Brasil e não apenas um único dia pouco representativo.

As variáveis de saída foram temperatura do ar (°C) e temperatura operativa (°C). A temperatura operativa além de ser empregada no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE (2010), considera também o efeito da radiação, tão importante em climas quentes, como o do Brasil. A partir da temperatura operativa, as 8.760 horas simuladas foram classificadas como em conforto (dentro da faixa estabelecida pela ASHRAE 55), em desconforto por frio (quando a temperatura operativa é inferior ao limite de conforto) e em desconforto por calor (quando a temperatura é superior ao limite de conforto) e somadas. Além disso, foram avaliadas as temperaturas internas do ar mínimas e máximas obtidas em cada simulação. Os resultados de conforto gerados são comparados e, assim, identificadas as envoltórias com melhor desempenho térmico.

3.1. Objeto de Estudo

Em conformidade com as características atuais do mercado imobiliário brasileiro de construção, o estudo de caso foi definido como uma edificação residencial multifamiliar de cinco pavimentos e quatro apartamentos por andar, totalizando 20 apartamentos. Cada apartamento é composto por cinco cômodos (dormitório 1, dormitório 2, banheiro, sala, cozinha e área de serviço), conforme é mostrado na Figura 1 e na Figura 2.

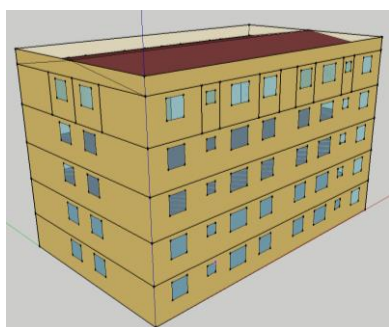


Figura 1 - Perspectiva da edificação estudo de caso



Figura 2 - Planta baixa da edificação em estudo

O ambiente analisado foi o dormitório 1 com orientação norte e destacado com hachura em vermelho na Figura 2. Este ambiente foi escolhido por ter a orientação considerada mais crítica: parede com abertura para norte e outra parede para oeste.

3.2. Climas estudados

Foram selecionadas oito cidades brasileiras, uma para cada Zona Bioclimática (ZB) definida na NBR 15.220-3 (2005). As cidades escolhidas foram Curitiba (ZB1), Santa Maria (ZB2), Florianópolis (ZB3), Brasília (ZB4), Garanhuns (ZB5), Jataí (ZB6), Cuiabá (ZB7) e Manaus (ZB8).

Os valores limites normativos são estabelecidos por zona bioclimática e os valores de Mahoney por meio da análise de indicadores de aridez. Para cada cidade os tipos de paredes e seus valores limites são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Definição das paredes e coberturas para cada cidade

ZB	Cidade	NBR 15.220		NBR 15.575		Mahoney	
		Parede	Cobertura	Parede	Cobertura	Parede	Cobertura
1	Curitiba (PR)	Leve	Leve e isolada	$U \leq 2,5$	$U \leq 2,3$	Leve	Leve e bem isolada
2	Santa Maria (RS)	Leve	Leve e isolada	$U \leq 2,5$	$U \leq 2,3$	Leve	Leve e bem isolada
3	Florianópolis (SC)	Leve refletora	Leve e isolada	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 2,3$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 1,5$	Pesada	Leve e bem isolada
4	Brasília (DF)	Pesada	Leve e isolada	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 2,3$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 1,5$	Pesada	Pesada
5	Garanhuns (PE)	Leve refletora	Leve e isolada	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 2,3$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 1,5$	Leve	Leve e bem isolada
6	Jataí (GO)	Pesada	Leve e isolada	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 2,3$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 1,5$	Pesada	Leve e bem isolada
7	Cuiabá (MT)	Pesada	Pesada	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 2,3$ FV $\alpha > 0,4$ e $U \leq 1,5$ FV	Pesada	Leve e bem isolada
8	Manaus (AM)	Leve refletora	Leve refletora	$\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 2,3$ FV $\alpha > 0,4$ e $U \leq 1,5$ FV	Leve	Leve

3.3. Definição das envoltórias conforme valores limites da NBR 15.220, NBR 15.575 e Mahoney

O critério utilizado para escolha das envoltórias baseou-se nas características termofísicas destas, de forma que fossem iguais ou o mais próximo o possível dos valores limites definidos como referência (Tabela 1 e

Tabela 2). Os valores de absorvância foram definidos conforme a NBR 15.575, que estabelece dois diferentes valores de transmitância térmica de acordo com a absorvância tanto das paredes como das coberturas. Assim, as quatro combinações possíveis de envoltórias pelas recomendações da NBR 15.575 foram analisadas: paredes e cobertura claras, paredes claras e cobertura escura, paredes escuras e cobertura clara e, por fim, paredes e cobertura escuras. Já no caso da NBR 15.220 e das Tabelas de Mahoney são definidos valores limites de fator solar, sendo a absorvância então obtida a partir desta variável. As envoltórias utilizadas têm sua composição descrita na Tabela 4, assim como suas características termofísicas Tabela 5. As propriedades termofísicas dos materiais que compõem as envoltórias foram especificadas conforme a NBR 15.220 (ABNT, 2005b), Ordenes et al. (2003) e Morishita et al. (2013).

Tabela 4 - Envoltórias utilizadas no estudo e suas respectivas propriedades termofísicas

Envoltória	U (W/m ² K)	FS _o (%)	CT (kJ/m ² K)	φ (h)	α
Parede leve segundo NBR 15.220 (argamassa 2,5 cm, bloco cerâmico 6 furos quadrados 9,0 cm, argamassa 2,5 cm, granito 2,5 cm)	2,36	4,72	210	4,15	0,5
Parede leve refletora segundo NBR 15.220 (argamassa 2,5 cm, bloco cerâmico 6 furos quadrados 9,0 cm)	2,61	3,1	98	2,22	0,3
Parede pesada segundo NBR 15.220 (argamassa 2,5 cm, bloco cerâmico 6 furos quadrados 9,0 cm, lâ de rocha 4,0 cm, bloco cerâmico 6 furos quadrados 9,0 cm, argamassa 2,5 cm)	0,63	1,76	199	7,7	0,7
Cobertura leve isolada segundo NBR 15.220 (telha cerâmica 1,0 cm, câmara de ar >5,0 cm, forro de PVC 1,0 cm)	1,75	4,9	21	2,48	0,7
Cobertura leve refletora segundo NBR 15.220 (telha fibrocimento 0,8 cm, câmara de ar >5,0 cm, forro de gesso 3,0 cm)	1,95	5,46	32	1,02	0,7
Cobertura pesada segundo NBR 15.220 (telha metálica 0,1 cm, câmara de ar >5,0 cm, laje mista 12,0 cm com concreto 4,0 cm, EPS 7,0 cm, argamassa 1,0 cm)	1,54	4,31	134	5,22	0,7
Parede ZB1 e ZB2 segundo a NBR 15.575 (argamassa 2,5 cm, bloco cerâmico 6 furos quadrados 9,0 cm, argamassa 2,5 cm)	2,43	2,9	152	4,15	0,3
Parede ZB3 a ZB8 para α ≤ 0,6 segundo a NBR 15.575 (tijolo maciço 10,0 cm)	3,65	4,38	158	2,5	0,3
Parede ZB3 a ZB8 para α > 0,6 segundo a NBR 15.575 (argamassa 2,5 cm, bloco cerâmico 6 furos quadrados 9,0 cm, argamassa 2,5 cm, granito 2,5 cm)	2,36	6,61	210	4,15	0,7
Cobertura ZB1 e ZB2 segundo a NBR 15.575 (laje mista 12,0 cm com concreto 4,0 cm, EPS 7,0 cm, argamassa 1,0 cm)	2,29	6,4	132	2,85	0,7
Cobertura ZB3 a ZB6 para α ≤ 0,6 segundo a NBR 15.575 (laje mista 12,0 cm com concreto 4,0 cm, EPS 7,0 cm, argamassa 1,0 cm)	2,29	2,75	132	2,85	0,3
Cobertura ZB3 a ZB6 para α > 0,6 segundo a NBR 15.575 (telha fibrocimento 0,8 cm, câmara de ar >5,0 cm, laje mista 12,0 cm com concreto 4,0 cm, EPS 7,0 cm, argamassa 1,0 cm)	1,52	2,43	145	4,0	0,4
Cobertura ZB7 e ZB8 para α ≤ 0,4 segundo a NBR 15.575 (laje mista 12,0 cm com concreto 4,0 cm, EPS 7,0 cm, argamassa 1,0 cm)	2,29	2,75	132	2,85	0,3
Cobertura ZB7 e ZB8 para α > 0,4 segundo a NBR 15.575 (telha fibrocimento 0,8 cm, câmara de ar >5,0 cm, laje mista 12,0 cm com concreto 4,0 cm, EPS 7,0 cm, argamassa 1,0 cm)	1,52	2,43	145	4,0	0,4

Tabela 5 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]
Tijolo cerâmico maciço, com argamassa de assentamento	0,90	1764	920
Bloco cerâmico 6 furos quadrado	0,90	2290	920
Concreto maciço	1,75	2200	1000
Telha cerâmica	1,05	2000	920
Telha de alumínio	230	2700	880

Telha de fibrocimento	0,95	1900	840
Argamassa reboco	1,15	2000	1000
Gesso	0,7	1200	840
PVC	0,2	1300	960
EPS	0,04	16	1420
Lã de rocha	0,045	50	750

A resistência térmica considerada da câmara de ar com superfícies de alta emissividade com espessura de 6,0 cm com fluxo descendente foi de 0,21 m²K/W.

Os vidros utilizados nas simulações foram vidros incolores de 3 mm e fator solar equivalente a 0,86, sem a presença de sombreamento.

3.4. A avaliação de conforto térmico pela ASRHAE 55

Para ambientes naturalmente climatizados, com janelas cuja abertura pode ser controlada pelos usuários, a ASHRAE 55 (2010) propõe a utilização de um modelo adaptativo, no qual a temperatura de conforto é função da temperatura externa do ar. As temperaturas operativas internas permitidas para espaços que atendam a esses critérios inclui dois conjuntos de limites de temperatura operativa: um para 80% de aceitabilidade para aplicações típicas e um para 90% de aceitabilidade quando um padrão mais elevado de conforto térmico é desejado.

O cálculo da temperatura operativa e também da temperatura de conforto do modelo adaptativo são realizados pelo próprio *software* de simulação.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para avaliar os desempenhos das envoltórias são analisados os percentuais de horas de conforto (em verde), de desconforto por frio (em azul), desconforto por calor (em laranja) e as temperaturas máximas e mínimas.

4.1. Horas de Conforto

Os resultados de conforto obtidos são apresentados nas Figura 3 a 11.

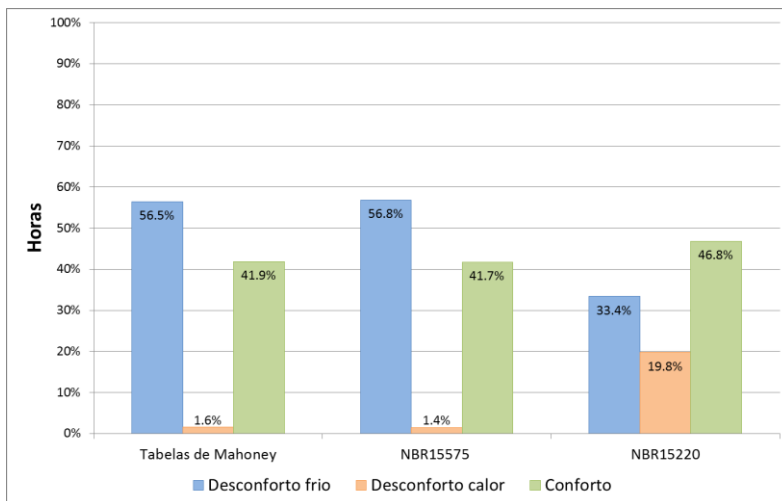


Figura 3- Horas de conforto e de desconforto para Curitiba, ZB1

Para a cidade de Curitiba (ZB1) a melhor condição de conforto foi obtida para as envoltórias segundo as recomendações da NBR 15.220 com 46,8% das horas em conforto, enquanto a NBR 15575 e Mahoney resultaram em torno de 42% das horas em conforto. Contudo, é importante ressaltar que nestes últimos ocorreu um elevado número de horas de desconforto por frio e poucas horas de desconforto por calor, enquanto que para a NBR 15.220 o número de horas de desconforto por frio é menor, mas as de desconforto por calor bem superior.

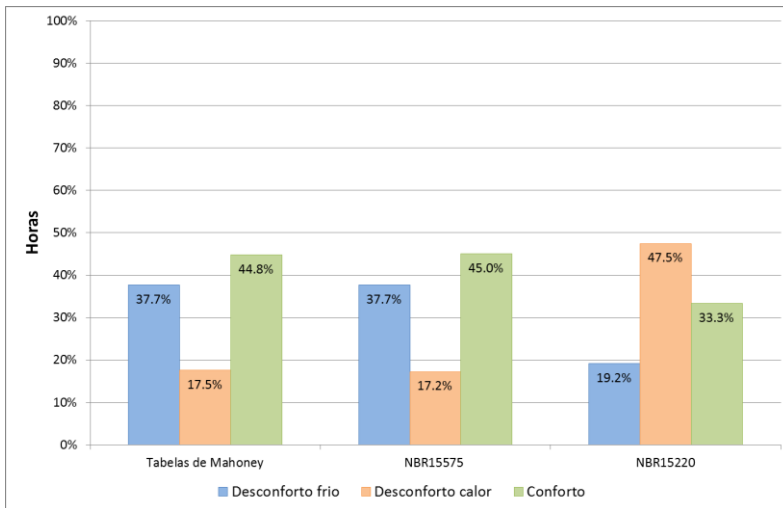


Figura 4 - Horas de conforto e de desconforto para Santa Maria, ZB2

Os resultados para Santa Maria (ZB2) apontaram que o maior número de horas de conforto foi obtida para as envoltórias segundo as recomendações da NBR 15.575 (45,0%), seguido pelas envoltórias segundo as recomendações de Mahoney (44,8%). As envoltórias recomendadas pela NBR 15.220 resultam em um alto número de horas de desconforto por calor (47,5%), número inclusive superior as horas de conforto das envoltórias recomendadas pelas Tabelas de Mahoney e NBR 15.575.

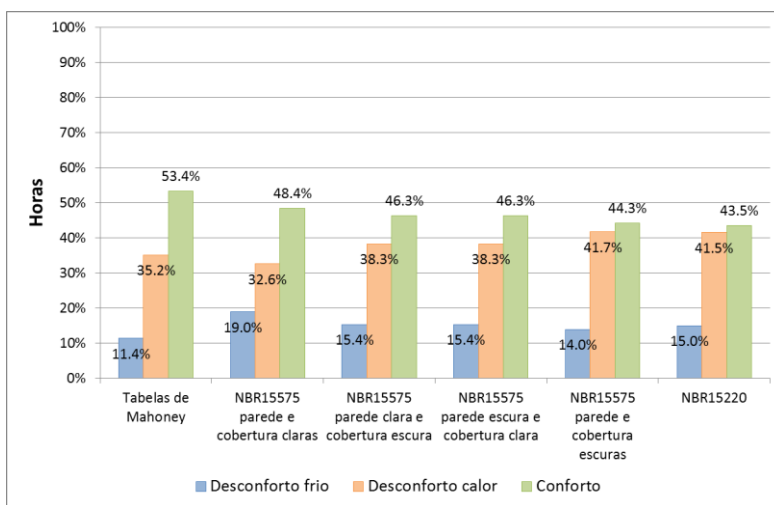


Figura 5 - Horas de conforto e de desconforto para Florianópolis, ZB3

Para a cidade de Florianópolis (ZB3) o melhor resultado foi obtido para as envoltórias com as recomendações de Mahoney (53,4%) e o pior resultado para a NBR 15.220 (43,5%). As horas de conforto com as envoltórias recomendadas pela 15.220 foi até mesmo inferior as horas de conforto com as envoltórias escuras segundo os critérios da NBR 15.575 (44,3%). O menor número de horas de desconforto por calor ocorreu com as envoltórias claras da NBR 15.575 (32,6%) e o menor número de horas de desconforto por frio para as envoltórias segundo Mahoney (11,4%).

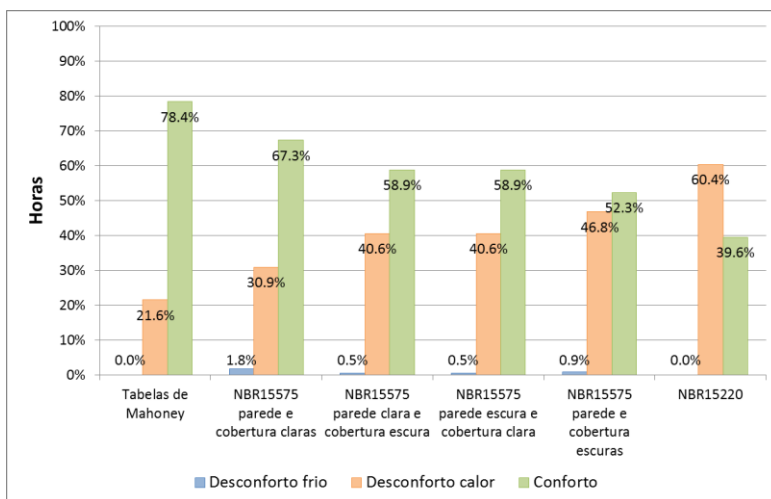


Figura 6 - Horas de conforto e de desconforto para Brasília, ZB4

No caso da cidade de Brasília (ZB4), a melhor condição de conforto foi também obtida com as envoltórias recomendadas por Mahoney, tanto por ter o maior número de horas de conforto (78,4%), como por ter o menor número de horas de desconforto por calor (21,6%). A pior condição foi para as envoltórias conforme a 15.220, tanto pelo menor número de horas de conforto (39,6%) quanto pelo alto número de horas de desconforto por calor (60,4%), valor este superando as horas de conforto inclusive.

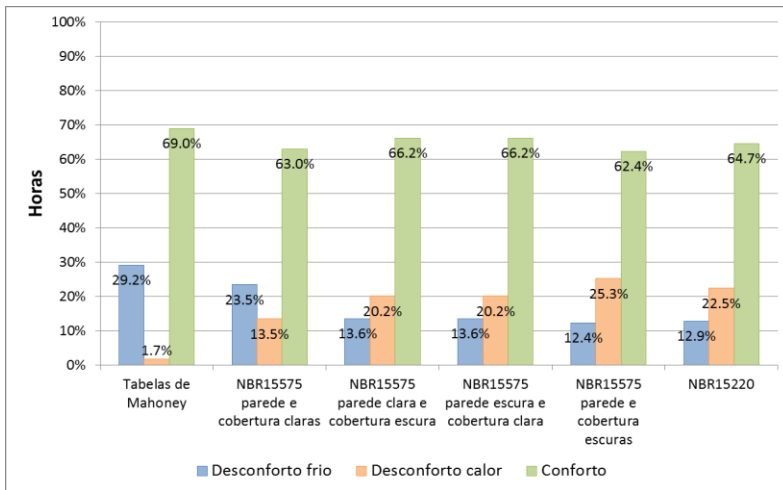


Figura 7 - Horas de conforto e de desconforto para Garanhuns, ZB5

Os resultados para a cidade de Garanhuns (ZB5) apontaram que as envoltórias conforme as recomendações de Mahoney (69,0%) garantem uma porcentagem maior de horas de conforto, apesar de ser também o maior percentual de horas de desconforto por frio, e as envoltórias escuras segundo a NBR 15.575 o menor percentual (62,4%). Ressalta-se que os resultados de horas de conforto para adoção de paredes claras e para a adoção de paredes escuras conforme a NBR 15.575 foram muito similares, sendo que para o primeiro caso há o predomínio de desconforto por frio e no segundo por calor.

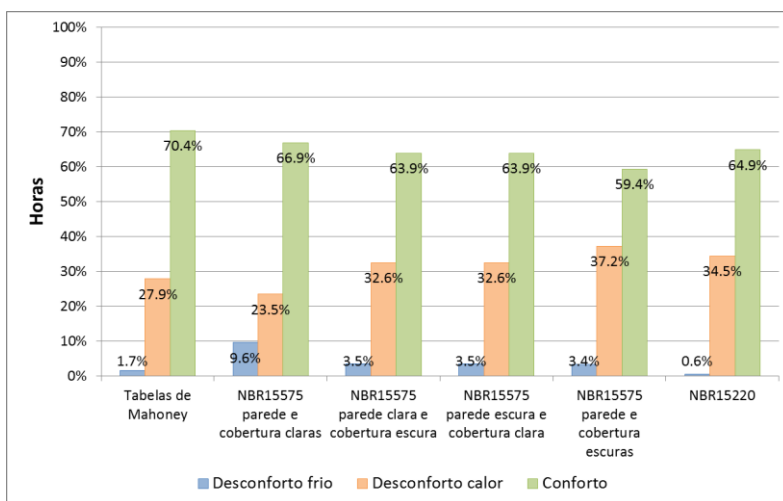


Figura 8 - Horas de conforto e de desconforto para Jataí, ZB6

Novamente para a cidade de Jataí (ZB6), o maior percentual de horas de conforto foi para as envoltórias com as recomendações de Mahoney (70,4%) e o menor para as envoltórias escuras conforme as recomendações da NBR 15.575 (59,4%).

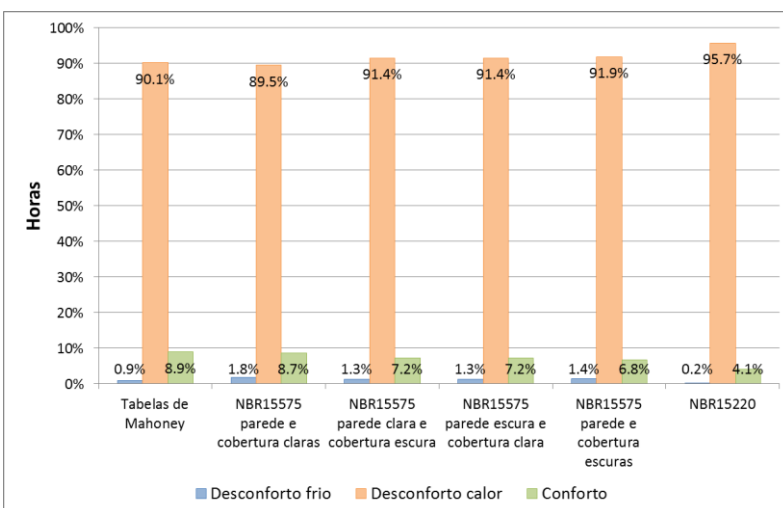


Figura 9 - Horas de conforto e de desconforto para Cuiabá, ZB7

Os resultados para Cuiabá (ZB7) indicaram que as horas de conforto para as envoltórias conforme Mahoney e a NBR 15.575 para cores claras têm valores próximos, sendo a primeira levemente superior. Contudo, o resultado para as envoltórias seguindo as recomendações de Mahoney possui um número de horas de desconforto por calor um pouco mais alta do que no caso da NBR 15.575 para paredes claras. As paredes e coberturas seguindo as recomendações da NBR 15.220 resultam no menor percentual de horas de conforto. Os resultados obtidos para Cuiabá evidenciam ainda a necessidade de outras estratégias, como a ventilação natural, associadas à envoltória para se garantir o conforto.

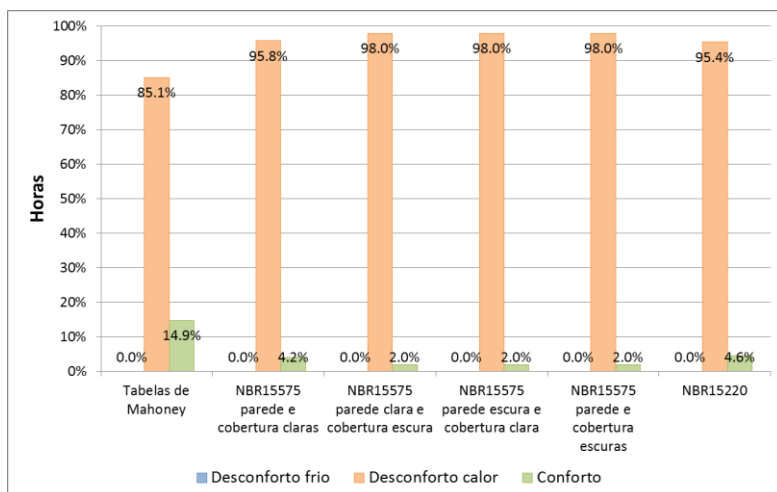


Figura 10 - Horas de conforto e de desconforto para Manaus, ZB8

E, por fim, os resultados para Manaus (ZB8) indicaram um número de horas de conforto bem superior das envoltórias recomendadas por Mahoney, sendo inclusive a alternativa com menor número de horas de desconforto por calor. É também possível verificar que a adoção de cores escuras ($\alpha > 0,4$), seja nas paredes ou na cobertura (NBR 15.575 parede clara e cobertura escura, NBR 15.575 parede escura e cobertura clara, NBR 15.575 parede e cobertura escuras), para esse clima é prejudicial, reduzindo efetivamente o número de horas de conforto (2,0%). Novamente fica evidente aqui a necessidade de adoção de outras estratégias associadas à envoltória para se garantir o conforto do usuário.

4.2. Temperaturas Internas

As temperaturas internas do ar mínimas e máximas resultantes, em °C, são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Temperaturas do ar mínima e máxima resultante das simulações

ZB	NBR 15.220		NBR 15.575			Mahoney	
	Temp. mín.	Temp. máx.	Cores dos fechamentos	Temp. mín.	Temp. máx.	Temp. mín.	Temp. máx.
ZB1	9,5	30,0	-	10,0	34,8	9,5	29,7
ZB2	8,1	32,6	-	10,5	37,5	8,2	32,5
ZB3	11,2	38,4	Parede e cobertura clara	11,7	35,4	16,1	32,2
			Parede clara e cobertura escura	12,2	35,5		
			Parede escura e parede clara	11,9	36,8		
			Parede e cobertura escura	11,6	37,3		
ZB4	23,4	31,6	Parede e cobertura clara	19,5	34,1	21,8	30,1
			Parede clara e cobertura escura	20,3	34,4		
			Parede escura e cobertura clara	20,2	36,5		
			Parede e cobertura escura	19,5	34,1		
ZB5	18,2	33,2	Parede e cobertura clara	17,5	31,3	17,8	29,3
			Parede clara e cobertura escura	18,5	31,4		
			Parede escura e cobertura clara	26,7	32,3		
			Parede e cobertura escura	18,3	32,8		
ZB6	20,6	31,1	Parede e cobertura clara	17,7	35,2	20,5	31,2
			Parede clara e cobertura escura	18,5	35,3		
			Parede escura e cobertura clara	17,8	37,9		
			Parede e cobertura escura	18,0	37,1		
ZB7	21,8	36,2	Parede e cobertura clara	15,2	40,8	20,0	35,7
			Parede clara e cobertura escura	15,9	41,1		
			Parede escura e cobertura clara	15,7	43,4		
			Parede e cobertura escura	15,3	43,8		
ZB8	26,1	36,6	Parede e cobertura clara	25,8	39,0	25,2	35,3
			Parede clara e cobertura escura	26,3	39,3		
			Parede escura e cobertura clara	26,1	41,4		
			Parede e cobertura escura	26,1	41,7		

Para as zonas bioclimáticas 1 e 2 as temperaturas máximas mais elevadas ocorrem para a adoção das envoltórias segundo a NBR 15.575 e as menores para as envoltórias recomendadas por Mahoney. As temperaturas mínimas no caso da ZB1 foram bem próximas, mas já na ZB2 as temperaturas para a NBR

15.220 e Mahoney foram mais baixas e próximas. Para as zonas 3 a 8, com exceção da ZB6, as temperaturas máximas mais baixas foram sempre obtidas com as envoltórias por Mahoney e as mais elevadas para os fechamentos escuros conforme a NBR 15.575. No caso da ZB6 o valor mais baixo da temperatura máxima ocorreu para as recomendações da NBR 15.220, sendo bem próximo do valor obtido para Mahoney. Para esta zona o valor mais elevado da temperatura máxima aconteceu para a simulação considerando as paredes escuras e a cobertura clara conforme a NBR 15.575. Para a ZB3 a menor temperatura mínima está associada às envoltórias propostas pela NBR 15.220. Para as zonas de 4 a 7, esta ocorreu para as envoltórias claras da NBR 15.575, e para a ZB8 a menor temperatura mínima foi observada para Mahoney.

Estes resultados mostram a importância da absorvância dos fechamentos externos, uma vez que as maiores temperaturas ocorreram sempre para as superfícies escuras, mesmo adotando-se valores mais restritivos de transmitância térmica para estes casos.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados é possível verificar que as recomendações das envoltórias segundo Mahoney apresentaram-se, em geral, mais apropriadas para os climas analisados em relação às recomendações propostas pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575. Mesmo quando não resultaram no maior número de horas de conforto, as recomendações de Mahoney para as envoltórias, principalmente no caso de Santa Maria (ZB2), obtiveram valores próximos ao melhor desempenho. Além disso, a adoção destas recomendações resultou em temperaturas internas máximas do ar mais baixas.

Para a ZB1, o menor número de horas de conforto foi obtido com as envoltórias segundo as recomendações da NBR 15.575. O mesmo ocorreu para as ZBs 5 e 6 com paredes e coberturas escuras e para a Zona 8 com qualquer uma das vedações ou ambas escuras. Já para as zonas 2 a 4 e 7 o menor número de horas de conforto ocorreu com as envoltórias recomendadas pela NBR 15.220.

As simulações realizadas mostram também que, conforme apontam os trabalhos referenciados, a absorvância tem grande influência no desempenho térmico final da envoltória. Os piores resultados são obtidos para o caso das superfícies escuras, mesmo sendo os valores da transmitância térmica mais restritivos para estes casos. Esse fato aponta também para a necessidade de se considerar a associação das variáveis envolvidas na caracterização termofísica das envoltórias para a definição de valores limites.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 2010 **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. p. 30.12. Atlanta, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** - Edifícios habitacionais: desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2013.
- BOGO, A. J. **Limitações quanto aos Parâmetros de Desempenho Térmico e Estratégias Bioclimáticas Recomendadas pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social**. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BRITO, A. C. D.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. M. Contribuições para o Aprimoramento da NBR 15.575 Referente ao Método Simplificado de Avaliação de Desempenho Térmico de Edifícios. **In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Juiz de Fora, 2012. 3191-3197.
- CHVATAL, K. M. S. Avaliação do Procedimento Simplificado da NBR 15.575 para Determinação do Nível de Desempenho Térmico de Habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 14, n. 4, 2014. 119-134.
- MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. Florianópolis. 2013.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1**. Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003.
- PEREIRA, I.; ASSIS, E. S. D. Discussão das Estratégias Propostas pelo Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações através de Estudo de Caso. **In: VIII ENTAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e IV ENLAC - Encontro Latino de Conforto no Ambiente Construído**, Macéio, 2005. 1480-1489.
- UNITED NATIONS. **Climate and House Design**. New York: [s.n.], v. 1, 1971.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à FAPEMIG.