

CONTRIBUIÇÃO DA COR DA COBERTURA NA MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÃO NO PERÍODO DE VERÃO

Adriana Camargo de Brito (1); Maria Akutsu (1)

(1) Pesquisadora do IPT, adrianab@ipt.br; akutsuma@ipt.br,

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo – SP, 05508-901, Tel.: (11) 3767-4579

RESUMO

Este artigo apresenta o resultado de análises do desempenho térmico de edificação, por simulação computacional, visando demonstrar que a influência da cor da superfície externa da cobertura em edificações habitacionais de pequeno porte depende de características do sistema construtivo e de parâmetros de projeto diversos. Foram considerados dois tipos de sistemas construtivos, caracterizados como “leve” e “pesado”, que correspondem respectivamente, a edificações com “baixa” e “alta” inércia térmica, com variações na isolamento térmica da cobertura com telhas de fibrocimento, com e sem forro. Para todas as combinações de sistema construtivo e de variações na condição de isolamento térmica da cobertura, considerou-se a superfície externa do telhado pintada em cor clara e em cor escura. As simulações computacionais foram realizadas com o programa Energy Plus, considerando as condições climáticas de um dia típico de verão da cidade de São Paulo. Os resultados demonstram que o tipo de sistema construtivo é determinante do desempenho térmico das edificações, bem como o nível de isolamento térmica da cobertura, e que a influência da cor utilizada no telhado só é significativa em alguns casos específicos.

Palavras-chave: cobertura, cor, desempenho térmico.

ABSTRACT

This paper presents the results of analysis of the thermal performance of a small building by computer simulation in order to demonstrate that the influence of external surface color of the roof depends on the characteristics of the constructive system and several design parameters. It was adopted as reference two constructive system, defined as "lightweight" and "heavyweight" systems. Those systems are made of components with "low" and "high" thermal inertia, with variations in the thermal insulation of the roof, comprised by of fiber cement tiles, painted in light and dark colors, high and low solar reflectance, for all the combinations of constructive system and thermal insulation of the roof condition. The computer simulations were performed using the Energy Plus software considering the climate conditions of a summer design day of the city of São Paulo. The model revealed that the thermal performance for small residential buildings is mainly ruled by construction system design and level of thermal insulation of coverage. Additionally, the influence of color of the roof surfaces is only significant in some specific cases.

Keywords: roof, color, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho térmico das edificações é influenciado por diversos fatores como o clima, o projeto arquitetônico, a implantação, os sistemas construtivos utilizados, os revestimentos e cores empregados em fachadas e coberturas. Para edificações de pequeno porte como as habitações unifamiliares, sem fontes internas de calor ou com fontes pouco significativas, a envoltória é um fator determinante das condições térmicas no interior dos ambientes.

A cor da superfície externa de edificações é tema de vários estudos (GRANJA e LABAKI, 2003; CHENG et al., 2005; SYNNEFA et al., 2007; SANTANA, 2007; SATO, 2013). Tintas brancas, por exemplo, absorvem menos radiação solar, propiciando menor aquecimento de recintos em relação às cores escuras. Uma das formas de reduzir os ganhos de calor pela cobertura é diminuir a absorção da energia solar pelo uso de materiais de alta refletância na sua face externa (VITTORINO, et al 2003; SANTAMOURIS et al 2007).

Entretanto, o efeito da cor da superfície externa de paredes e cobertura no desempenho térmico de edificações habitacionais de pequeno porte depende também de características do sistema construtivo e do projeto arquitetônico (LA ROCHE, 2004; BRITO et al., 2011; SOUZA et. al, 2011; ROSSI, 2011; BRITO et al., 2013, SALES, 2014). Geralmente, a cobertura da edificação, por ser o elemento mais exposto à ação da radiação solar, influencia significativamente o desempenho térmico de habitações. Nos casos em que não são utilizados materiais isolantes térmicos para reduzir as trocas de calor com o meio externo, a cor da superfície externa da cobertura pode determinar a resposta térmica do edifício como um todo, principalmente em edificações compostas por sistemas construtivos leves.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é indicar situações em que a cor da superfície externa da cobertura tem um papel significativo no desempenho térmico de uma habitação exposta às condições climáticas da cidade de São Paulo no período de verão.

3. MÉTODO

Foram realizadas simulações computacionais para a obtenção da resposta térmica de uma habitação, cujo projeto arquitetônico é apresentado nas Figuras 1 e 2, de acordo com os procedimentos indicados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013). O programa computacional utilizado para a realização das simulações foi o *EnergyPlus* (DOE, 2016), que determina o comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima.

A habitação foi simulada considerando-se as condições climáticas de um dia típico de verão da cidade de São Paulo, cujos dados geográficos e climáticos são indicados, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2, obtidos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Observa-se que na referida norma não constam dados referentes à velocidade e direção do vento, bem como a temperatura do solo, fatores necessários à realização das simulações computacionais. Desse modo, para esses dados adotou-se como padrão para todas as simulações: direção do vento norte e velocidade do vento de 1 m/s, situação crítica em termos de disponibilidade de ventos e, temperatura do solo a 1 m de profundidade, igual a 20,9 °C, obtido dos arquivos climáticos da cidade de São Paulo disponibilizados pelo Departamento Americano de Energia (DOE, 2015).

O programa *EnergyPlus* proporciona a realização de simulações considerando dados climáticos de dias de projeto, com campos específicos que precisam ser preenchidos, contemplando os dados citados anteriormente. Como dados de saída é possível escolher quais variáveis serão apresentadas. Neste trabalho são indicados os valores horários das temperaturas do ar exterior e no interior dos ambientes da edificação, que são analisados conforme os critérios descritos no item 3.3.

Tabela 1 – Dados geográficos da cidade de São Paulo

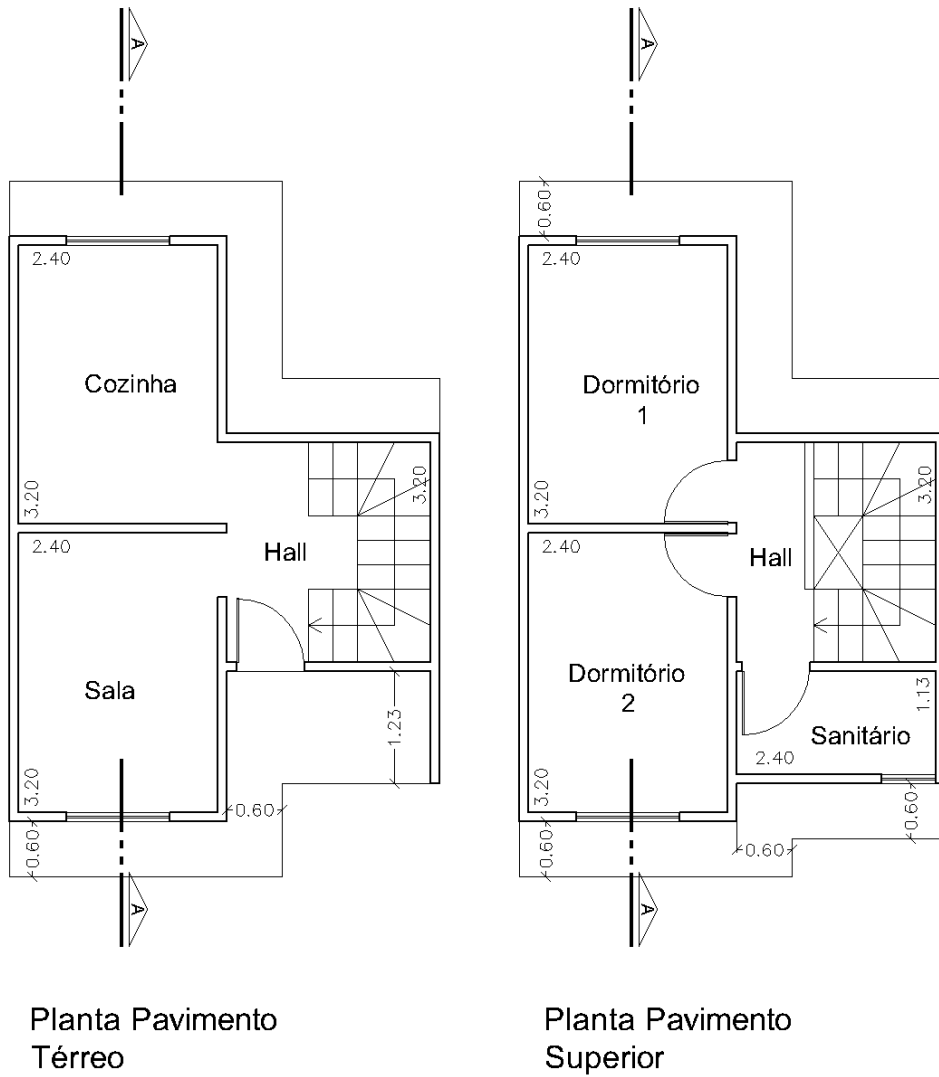
UF	Zona bioclimática	Cidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
SP	3	São Paulo	23,5 S	46,62 W	792

(Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013))

Tabela 2 - Dados de dia típico de verão para a cidade de São Paulo

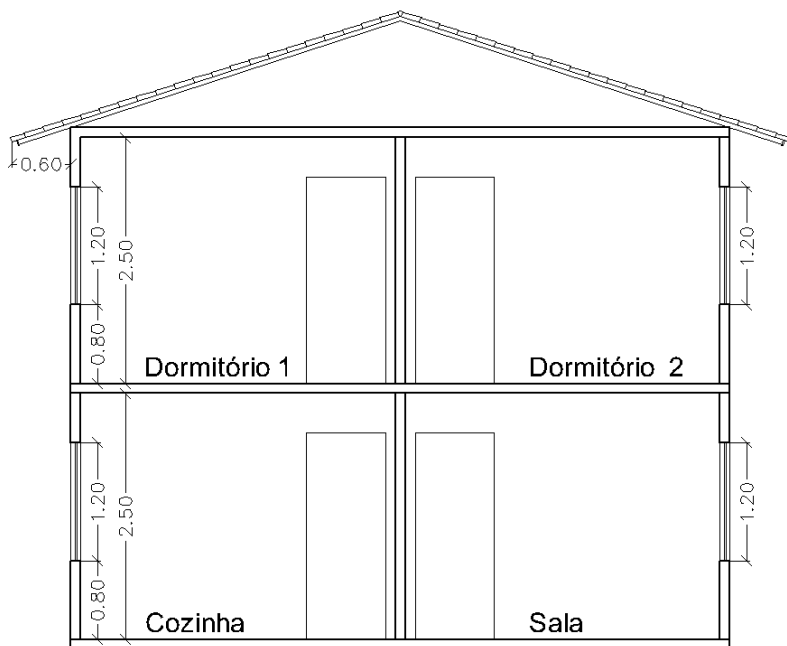
Cidade	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m ²)
São Paulo	31,9	9,2	21,3	5180

(Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013))



(Fonte: Modificado de CDHU, 1997)

Figura 1 – Plantas da habitação, sem escala.



(Fonte: Modificado de CDHU, 1997)

Figura 2 – Corte AA da habitação, sem escala.

3.1 Sistema construtivo

A habitação foi simulada com dois sistemas construtivos caracterizados como “leve” e “pesado” com quatro tipos de cobertura, com acabamento da superfície externa do telhado em cores clara e escura, apresentando absorvância à radiação solar de 0,2 e 0,9, respectivamente, de modo a considerar condições extremas dos valores desta grandeza. O acabamento externo das paredes e demais superfícies da edificação apresentam cores médias, com absorvância à radiação solar igual a 0,5. Os sistemas construtivos são indicados a seguir:

Sistema Construtivo Leve:

- Paredes Externas: placa cimentícia com espessura de 1,2 cm, espaço de ar confinado com espessura de 9,0 cm e placa de gesso acartonado com espessura de 1,2 cm;
- Paredes internas: duas placas de gesso acartonado com espessura de 1,2 cm separadas por uma camada de ar confinado com espessura de 9,0 cm;
- Cobertura L1: telhas de fibrocimento de 6 mm de espessura;
- Cobertura L2: forro horizontal de gesso acartonado com espessura de 1,2 cm, telhas de fibrocimento de 6 mm de espessura;
- Cobertura L3: cobertura igual à descrita para “L2”, com acréscimo de 5 cm de lã de rocha sobre o forro;
- Cobertura L4: cobertura igual à descrita para “L3”, com acréscimo de subcobertura de baixa emissividade sob as telhas (“foil” aluminizado).
- Laje de piso do primeiro pavimento de concreto convencional com espessura de 10 cm;
- Piso do pavimento térreo em contrapiso de concreto convencional, com espessura de 3 cm.

Sistema Construtivo Pesado:

- Paredes e lajes compostas por 15 cm de concreto convencional;
- Cobertura P1: telhado em telhas de fibrocimento de 6 mm de espessura;
- Cobertura P2: laje horizontal de concreto convencional com espessura de 15 cm sob telhado em

- telhas de fibrocimento de 6 mm de espessura;
- Cobertura P3: cobertura igual à descrita para “P2”, com acréscimo de 5 cm de lã de rocha sobre o forro;
- Cobertura P4: cobertura igual à descrita para “P3”, com acréscimo de subcobertura de baixa emissividade sob as telhas (“foil” aluminizado);
- Laje de piso do primeiro pavimento de concreto convencional com espessura de 10 cm;
- Piso do pavimento térreo em contrapiso de concreto convencional, com espessura de 3 cm.

Na tabela 3 são apresentadas as características térmicas dos materiais constantes na edificação. A subcobertura aluminizada utilizada em alguns tipos de cobertura ("L4" e "P4") tem emissividade igual a 0,15.

Tabela 3 - Características térmicas dos materiais

Material / componente	Condutividade (W/[m.K])	Massa específica (kg/m ³)	Calor Específico (J/[kg.K])	Resistência Térmica ([m ² .K]/W)
Placa cimentícia	1,40	2000	1000	-
Concreto convencional	1,75	2400	840	-
Placa de gesso acartonado	0,30	720	840	-
Telha de fibrocimento	0,95	1800	840	-
Lã de rocha	0,04	100	750	-
Espaço de ar (parede)	-	-	-	0,15

(Fonte: ABNT, 2005)

3.2 Condições analisadas

A habitação foi simulada sem fontes internas de calor. Os recintos foram ventilados com a imposição de uma taxa de 5 Ren/h (Renovações de volume de ar do ambiente por hora), durante as 24 horas do dia. As janelas foram simuladas somente com o sombreamento proporcionado pelos beirais do telhado.

3.3 Critérios de análise

Foi efetuada uma análise da resposta térmica do dormitório 1, que apresenta condições mais críticas de exposição ao clima, com janela voltada à direção oeste e em contato com a cobertura da edificação, objeto de estudo deste trabalho. Foi feita uma análise comparativa do desempenho térmico desse recinto, com os vários tipos de cobertura, tendo como referência os critérios indicados na Norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Na referida norma, o desempenho térmico da habitação é classificado em função de seu comportamento nos dias típicos de projeto. Para o período de verão, há os seguintes critérios:

- Mínimo: É caracterizado como nível “M”, a edificação cuja temperatura máxima diária no seu interior seja menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do exterior;
- Intermediário: Esse nível corresponde a edificações cuja temperatura máxima do ar interior seja 2 °C menor que o valor máximo da temperatura do ar exterior, e seja maior que o valor limite determinado para o nível “S”.
- Superior: É considerada como nível “S” a edificação que apresentar temperatura máxima do ar interior pelo menos 4 °C menor do que a temperatura máxima do ar exterior.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os perfis diários das temperaturas do ar exterior e no interior do dormitório 1, com sistema pesado, com as quatro configurações de cobertura e, acabamento externo em cores clara e escura. Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os mesmos elementos para o sistema leve.

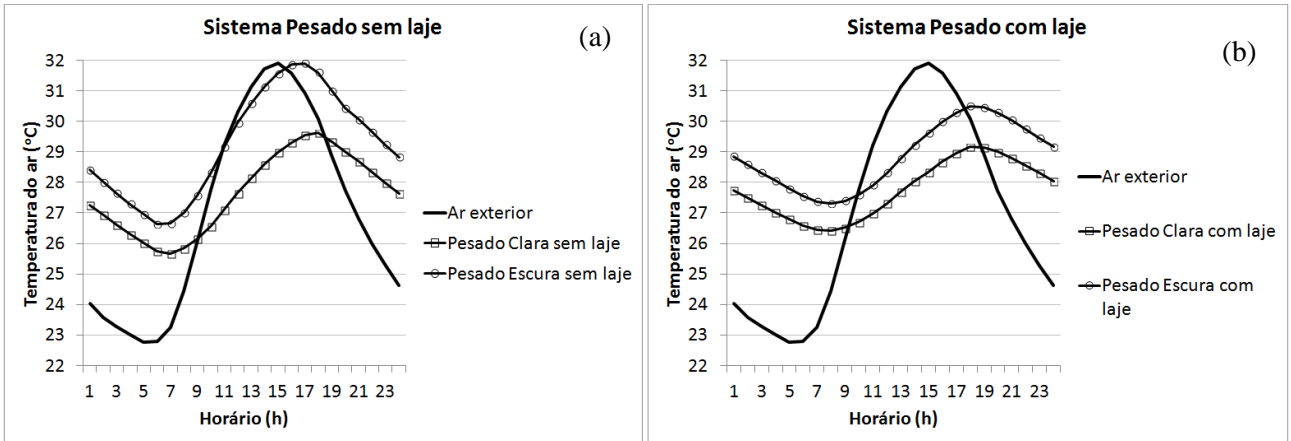


Figura 3 – Perfil diário da temperatura do ar exterior e no interior do dormitório 1 com sistema construtivo leve, sem laje (a) e com laje (b)

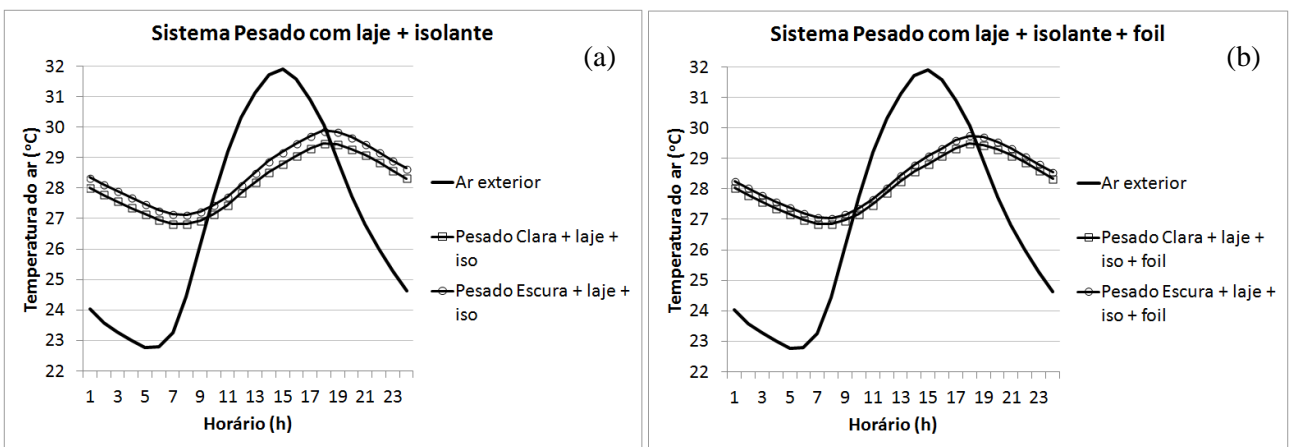


Figura 4 – Perfil diário da temperatura do ar exterior e no interior do dormitório 1 com sistema construtivo leve, com laje e material isolante térmico sobre a laje (a) e a mesma configuração de cobertura com acréscimo de subcobertura aluminizada sob as telhas (b)

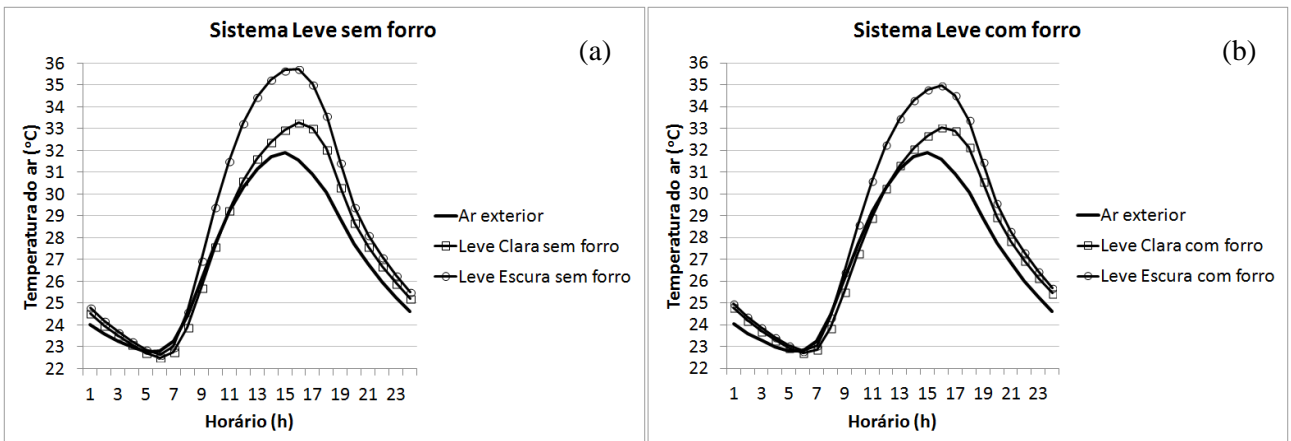


Figura 5 – Perfil diário da temperatura do ar exterior e no interior do dormitório 1 com sistema construtivo pesado, sem laje (a) e com laje (b)

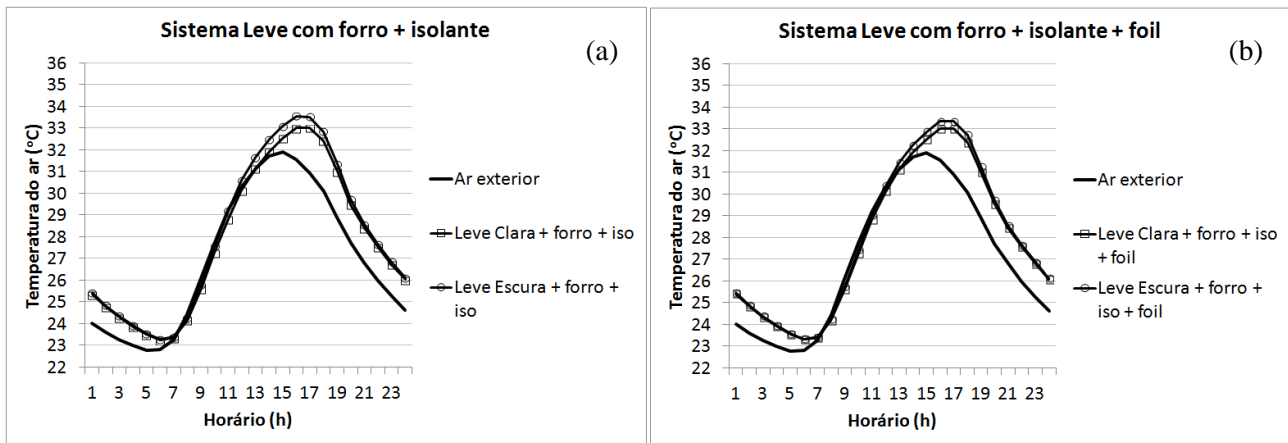


Figura 6 – Perfil diário da temperatura do ar exterior e no interior do dormitório 1 com sistema construtivo leve, com laje e material isolante térmico sobre a laje (a) e a mesma configuração de cobertura com acréscimo de subcobertura aluminizada sob as telhas (b)

4.1 Efeito da cor na resposta térmica do dormitório analisado

Na habitação sem laje ou sem forro, observa-se que a cor da superfície externa das telhas (absortância à radiação solar) tem influência significativa na resposta térmica do dormitório analisado. Com cores claras, (absortância de 0,2) a temperatura máxima do ar interior é da ordem de 2,5 °C menor do que a temperatura máxima do ar no interior desse recinto com cobertura em cores escuras (absortância de 0,9), no caso do uso do sistema construtivo pesado. Com sistema leve, essa diferença é da ordem de 3 °C.

À medida que são acrescentados elementos construtivos na cobertura, como a laje e os materiais isolantes térmicos como a lã de rocha e a barreira radiante, subcobertura aluminizada, o efeito da cor das telhas (absortância à radiação solar da superfície) na resposta térmica do recindo diminui. Na habitação com laje ou forro, a diferença entre os valores da temperatura máxima do ar no interior, com cores claras e escuras no telhado, é da ordem de 1,5° C, com sistema construtivo pesado, e 1 °C, com sistema leve. Com a presença de materiais isolantes térmicos, essa diferença é menos significativa, menor do que 0,5 °C.

4.2 Efeito do sistema construtivo no desempenho térmico do dormitório analisado

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os perfis diários das temperaturas do ar exterior e no interior do dormitório 1, com o sistema construtivo pesado e com o sistema leve, respectivamente, com as várias configurações de cobertura, com a indicação gráfica dos valores limite máximos da temperatura máxima do ar no interior do recito, para o atendimento dos níveis mínimo (M) e Intermediário (I), de desempenho térmico de edifícios habitacionais, de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

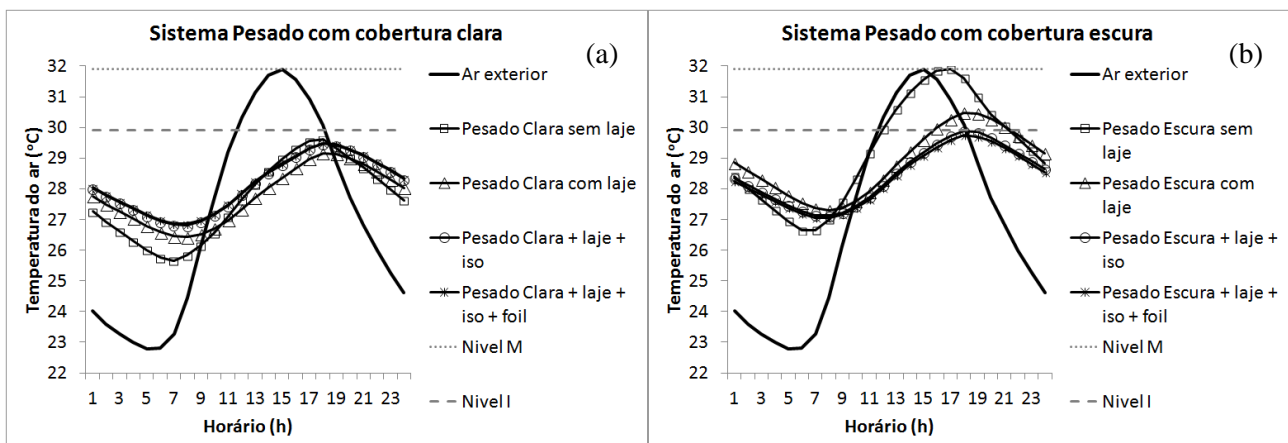


Figura 7 – Perfil diário da temperatura do ar exterior e no interior do dormitório 1 com sistema construtivo pesado, com telhas em cores claras (a) e telhas em cores escuras (b)

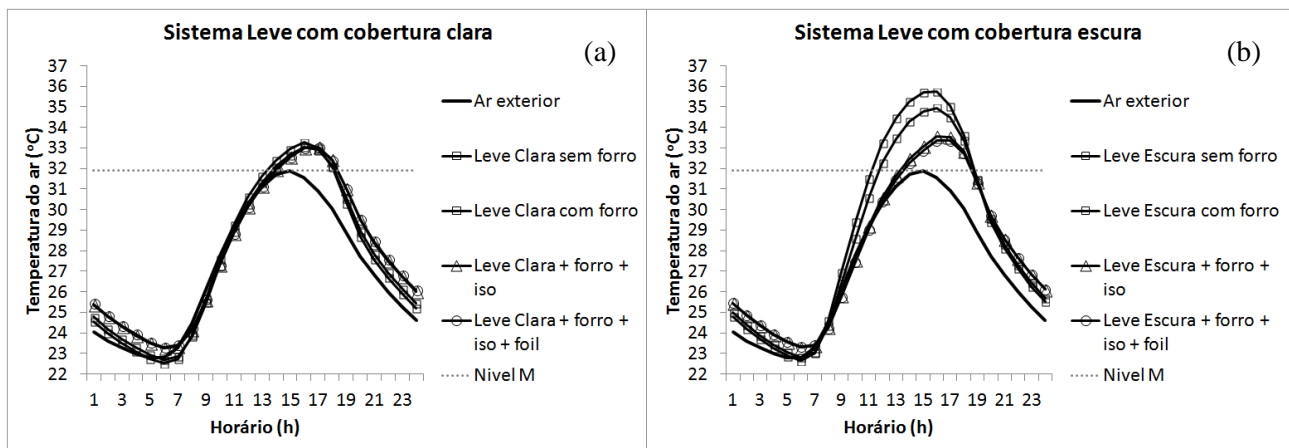


Figura 8 – Perfil diário da temperatura do ar exterior e no interior do dormitório 1 com sistema construtivo leve, com telhas em cores claras (a) e telhas em cores escuras (b)

Nas Tabelas 4 e 5 são indicados os valores máximos diários das temperaturas do ar no interior do dormitório 1, com acabamento externo das telhas em cores claras e escuras, respectivamente, com a identificação, por meio de cores das células da tabela, das situações em que são atendidos os níveis de desempenho térmico previstos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 4 – Nível de desempenho térmico do dormitório 1 com cores claras no acabamento externo da cobertura

Sistema Construtivo	Temperatura máxima do ar interior por tipo de cobertura (°C)			
	Clara sem forro/laje	Clara com forro/laje	Clara + forro/laje + isolante	Clara + forro/laje + isolante térmico + subcobertura aluminizada (foil)
Pesado	29,6	29,2	29,5	29,5
Leve	33,3	33,0	33,0	33,0

Legenda:

Célula sem preenchimento indica o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico (M)

Célula em cor cinza claro indica o atendimento do nível intermediário de desempenho térmico (I)

Célula em cor cinza escuro indica que não houve o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico (M)

Tabela 5 – Nível de desempenho térmico do dormitório 1 com cores escuras no acabamento externo da cobertura

Sistema Construtivo	Temperatura máxima do ar interior por tipo de cobertura (°C)			
	Escura sem forro/laje	Escura com forro/laje	Escura + forro/laje + isolante térmico	Escura + forro/laje + isolante térmico + subcobertura aluminizada (foil)
Pesado	31,9	30,5	29,9	29,7
Leve	35,7	34,9	33,5	33,4

Legenda:

Célula sem preenchimento indica o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico (M)

Célula em cor cinza claro indica o atendimento do nível intermediário de desempenho térmico (I)

Célula em cor cinza escuro indica que não houve o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico (M)

Analisando-se a resposta térmica dos recintos em função do atendimento dos critérios de desempenho térmico de edifícios habitacionais presentes na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), nota-se que o sistema construtivo utilizado na habitação tem influência determinante do nível de desempenho térmico da habitação, como indicado na Tabela 4.

Com o sistema construtivo pesado, independentemente da solução de cobertura adotada ou cor da superfície externa das telhas, é atendido, pelo menos o nível mínimo (M) de desempenho térmico. Nesse caso, o acréscimo de laje e alterações na cor do acabamento externo das telhas ou no isolamento térmico da cobertura (cores claras e, ou acréscimo de materiais isolantes térmicos) resultam em melhorias adicionais do desempenho térmico do recinto, proporcionando também o atendimento do nível intermediário (I).

Na habitação com sistema construtivo leve, o acréscimo de forro, o uso de cores claras da superfície externa das telhas ou o emprego de materiais isolantes térmicos na cobertura propiciam uma redução no valor máximo da temperatura do ar interior, em comparação com as situações sem forro e com cores escuras. Todavia, essas alterações não são suficientes para que o recinto atenda o critério referente ao nível de desempenho térmico mínimo (M).

5. CONCLUSÕES

A cor da superfície externa da cobertura exerce papel fundamental na resposta térmica dos recintos sem a presença de forro ou laje, sem o uso de materiais isolantes térmicos como lã de rocha ou barreira radiante como subcoberturas aluminizadas. Com telhas em cores claras, com absorvância à radiação solar da ordem de 0,2, é possível reduzir de modo significativo o valor da temperatura máxima do ar interior em comparação com a situação com acabamento externo das telhas em cores escuras, com absorvância à radiação solar de 0,9.

Com o acréscimo de forro ou laje com a presença de materiais isolantes térmicos na cobertura, a cor da sua superfície externa não tem efeito significativo na resposta térmica do recinto. Neste caso, o projetista pode ter a liberdade de escolha da cor da cobertura levando em consideração outros aspectos, não relacionados ao comportamento térmico da edificação, como os voltados à estética, desde que escolha um sistema construtivo cujo desempenho térmico seja adequado ao clima do local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: 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. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR-15575**: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M.; TRIBESS, A. Efeito da utilização de vedações internas leves na inércia térmica de edifício com sistema construtivo em concreto. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2011. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.
- BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M.; TRIBESS, A. O efeito da verticalização do edifício e do sistema construtivo na inércia térmica de habitações unifamiliares. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013. Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013.
- CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano. **Caderno de Tipologias**. Disponível em: <http://portalshedhu.cdhu.sp.gov.br>. Acesso em 12/08/2010.
- CHENG, V. e GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy Journal**. 78, 2005. 528-534.
- DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: < <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 16/06/2015.
- GRANJA, A. D.; LABAKI, L. C. Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. **Journal of Energy Research**. 27, 771-779, 2003.
- LA ROCHE, P.; MILNE, M. Effects of window size and thermal mass on building comfort using an intelligent ventilation controller. **Solar Energy**. 77, 421-434, 2004.
- ROSSI, M. R. V. M. Massive and Lightweight Building Envelope Design for a High Level Summertime Performance. **Journal of Science Technology**, 200-207, 2011.
- SALES, E. M.; BRITO, A. C.; AKUSTSU, M. Efeito de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. **Anais...** Maceió: ENTAC, 2014. Maceió.
- SANTAMOURIS, M.; PAVLOU, C.; SYNNEFA, A. and NIACHOU, K. Recent progress on passive cooling techniques: Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. **Energy and Buildings**. 39, 859-866, 2007.
- SANTANA, M. V.; GUISI, E. Influência do percentual de área de janela na fachada e da absorvância de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório da Cidade de Florianópolis. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2007. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC, 2007
- SATO, M. N.; LOH, K.; SILVA, M, L, I. Desempenho térmico de tintas frias em componentes de cobertura. In: Encontro Nacional do Ambiente Construído, 2013. Brasília. **Anais...** Brasília, 2013.

- SOUZA, H. A. D.; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, XI, 113-118, 2011.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. **Energy and Buildings**. 39, 1167–1174, 2007.
- VITTORINO, F.; SATO, N, M, N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003. **Anais...** Curitiba: ENCAC, 2003.