



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE SUBCOBERTURAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

PIRES, Maíra (1); WESTPHAL, Fernando (2)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, maira.opires@gmail.com (2) Universidade Federal de Santa Catarina, fernandosw@arq.ufsc.br

RESUMO

Edificações unifamiliares apresentam grande ganho de calor pela sua cobertura, já que esta é a parcela da edificação mais exposta à radiação solar. A fim de diminuir este ganho térmico tem crescido o uso de subcoberturas para atuar como isolante térmico nestas edificações. O objetivo deste estudo é verificar a economia de energia para climatização de uma edificação residencial em clima quente e úmido (Belém), assim como verificar a melhoria no conforto térmico interno da mesma edificação para clima ameno (Porto Alegre e São Paulo), com o uso destes elementos isolantes. Para isto, seis composições de coberturas foram avaliadas por meio da ferramenta de simulação computacional EnergyPlus. Os materiais analisados nas composições das coberturas foram: fibrocimento, feltro de lã de vidro revestida com película de alumínio na face superior e na face inferior revestida com laminado branco, alumínio e pinus. Os parâmetros que caracterizam estes materiais são resistência térmica total e emissividade e os parâmetros utilizados para qualificar o ambiente interno foram consumo de energia e temperatura operativa por meio do modelo adaptativo de análise de conforto térmico da ASHRAE Standard 55-2004. Ao contrário do que se esperava, os resultados para a cidade de Belém mostram que materiais isolantes e o forro dificultam a troca de calor no período da noite, aumentando o consumo de energia elétrica para climatização entre 4% (lã de vidro invertida e *setpoint* de 24 °C) e 27% (lã de vidro recém instalada e *setpoint* de 26 °C) em relação a cobertura composta apenas por fibrocimento. Mas a análise dos sete dias mais quentes do ano para as três cidades mostram que o uso das subcoberturas reduz os picos de temperatura interna entre 5°C e 10 °C em relação a cobertura composta apenas por fibrocimento, sendo que as maiores reduções ocorrem para Porto Alegre. Dessa forma, os resultados deste estudo podem contribuir para definir a aplicação mais adequada de subcoberturas como isolante térmico.

Palavras-chave: isolante térmico, edificação residencial, conforto térmico, consumo de energia, simulação computacional.

ABSTRACT

Single-family houses have large heat gain by its roofs, since the roof is the portion of the building most exposed to solar radiation along the day. In order to decrease this heat gain the use of roof underlayment is become common. The aim of this study is to verify the energy savings for air conditioning of a residential building in hot and humid climate (Belém), and to quantify the improvement in thermal comfort inside the same building for a mild climate (Porto Alegre and São Paulo), with the use of such insulating elements. Six roofing compositions were evaluated through computer simulation tool, Energy Plus. The following materials that compose the under layer were analyzed: asbestos cement roof, glass wool felt coated with aluminum foil on the upper surface and the lower layer coated with white laminate PVC, aluminum underlayment and wood ceilin. The parameters that characterize these materials are total thermal resistance and emissivity and the parameters used to describe the internal environment were electricity consumption for cooling and operative temperature according to adaptive model of thermal comfort analysis of ASHRAE Standard 55 - 2004. Contrary as expected, results for the city of Belém show that insulating materials minimize the lost of heat in the evening increasing the energy consumption for air conditioning around 4%(inverted glass wool felt and setpoint of 24 °C) and 27% (newly installed glass wool and setpoint of 26 °C). But the analysis of the seven hottest days of the year for the three cities shows that the use of underlayment of the roof reduces the internal peak of temperature between 5°C and 10 °C. Thus,

the results of this study may contribute to define the most appropriate application of underlayment of the roof as thermal insulation.

Keywords:: *Thermal Insulation, Single-family housing, Thermal Comfort, Energy Consumption, Building Simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Edificações unifamiliares apresentam grande ganho de calor pela sua cobertura, já que esta é a parcela da edificação mais exposta à radiação solar. A fim de diminuir este ganho térmico tem crescido o uso de subcoberturas de diferentes composições para atuar como isolante térmico nestas edificações. No Brasil a maioria das residências têm telhados de fibrocimento e não tem um forro para separar o ar do sótão do resto da edificação. Assim, a temperatura no interior da casa aumenta, o que pode causar desconforto térmico para os moradores e incentivar o uso de equipamentos para reduzir a temperatura interna (MICHELS et al, 2007).

Normas internacionais dividem os materiais isolantes térmicos entre aqueles que reduzem a transferência de calor por condução, ou seja, isolantes resistivos; e aqueles que reduzem as trocas de calor por radiação, os isolantes refletivos e as barreiras radiantes (VITTORINO et al, 2003). Uma subcobertura composta por lã de vidro atua como um isolante resistivo, tendo como parâmetro de análise a resistência térmica total. Uma subcobertura composta por alumínio atua como barreira radiante, cabendo apenas a especificação das características superficiais do produto, ou seja, o parâmetro de análise é a Emissividade das superfícies expostas às câmaras de ar.

Soubdhan, Feuillard e Bade (2004) compararam a eficiência da barreira radiante a um isolante resistivo integrado a cobertura de uma edificação na redução da transferência de calor. Esse estudo foi realizado através de modelos físicos reduzidos. Observando a redução do fluxo de calor total, os autores afirmam que a barreira radiante reduz o fluxo de calor em 37%, enquanto o poliestireno reduz em 88% e a fibra de vidro em 84%.

Os metais polidos têm a capacidade de refletir a radiação térmica em ondas longas e, conseqüentemente, têm baixa capacidade de emissão de calor. Isso significa que um material revestido por metal polido emitirá menos calor do que se tivesse outro revestimento, funcionando como uma barreira radiante. “Nos materiais condutores de eletricidade como os metais, há uma grande quantidade de elétrons livres que fazem com que seja refletida grande parte da energia térmica incidente, resultando em pequena absorção e, portanto pequena emissão de energia térmica” (VITTORINO et al, 2003).

Michels (2007, p. 86) traz estimativas de aumento de emissividade de uma superfície aluminizada de acordo com o percentual de poeira depositado na mesma. Verificando um aumento nos valores de emissividade do material na ordem de 0,14 para 25% de cobertura de poeira; 0,43 para 58%; 0,68 para 87%.

Para verificar a economia de energia para climatização de uma edificação residencial em clima quente e úmido, assim como verificar a melhoria no conforto térmico interno da mesma edificação para clima ameno, com o uso de elementos isolantes foram escolhidas três cidades: Belém, na zona bioclimática 8, Porto Alegre e São Paulo, ambas na zona bioclimática 3. As cidades escolhidas refletem duas zonas climáticas brasileiras de comportamentos distintos: a primeira localizada na região climática Equatorial, com temperaturas médias entre 24 °C e 26 °C, baixa amplitude térmica e as duas seguintes, na região climática subtropical caracterizada por grandes amplitudes térmicas.

Os parâmetros utilizados para qualificar o ambiente foram consumo de energia para climatização e temperatura operativa por meio do modelo adaptativo de análise de

conforto térmico da ASHRAE Standard 55- 2004. Por último, testou-se o efeito da barreira radiante, considerando também a depreciação da superfície polida devido ao acúmulo de poeira na superfície externa da subcobertura. O estudo foi realizado por meio de simulação computacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado por meio da ferramenta de simulação de desempenho térmico e energético EnergyPlus, módulo *Zone Ventilation: Design Flow Rate*. Este módulo calcula o fluxo de ar entre dois nós, um interno a zona térmica de análise e outro exterior, através de frestas e janelas. Uma limitação deste método é o fato de ele não permitir descrever a distribuição dos fluxos de ar no ambiente, o que poderia fornecer parâmetros mais detalhados para análise como velocidades e temperaturas dos ventos. Arquivos climáticos das três cidades abordadas foram formulados pela metodologia TMY - Test Meteorological Year. O modelo analisado consiste em uma edificação residencial térrea. Os dados de entradas serão detalhados na tabela do item 2.2.

2.1 Geometria e zoneamento térmico

A planta-baixa é apresentada na Figura 1 e o zoneamento térmico considerado para a modelagem virtual desta edificação é apresentada na Figura 2. A tipologia analisada consiste em uma residência unifamiliar de dois dormitórios com uma área construída total de 86,15m² e área útil de 76,05m² dividida em cinco zonas térmicas.

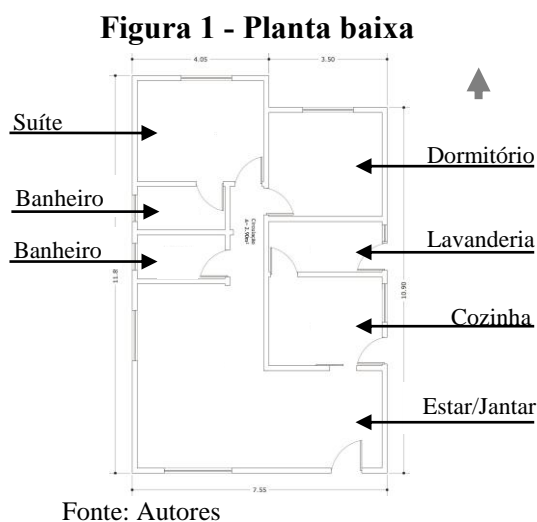
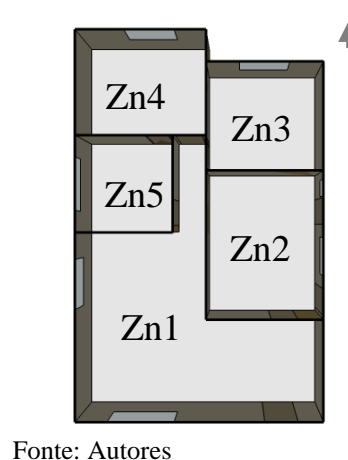


Figura 2 - Zoneamento térmico



2.2 Dados de entrada adotados

A Tabela 1 traz os dados de entrada comuns a todos os modelos analisados:

Tabela 1 Quadro resumo dos dados de entrada comuns aos modelos

<i>Input</i>	<i>Descrição</i>
Envoltória	Paredes de alvenaria, com transmitância térmica igual a 2,5W/m ² .K, de cor neutra (absortância das superfícies interna e externa igual a 0,5). Janelas com vidro incolor de 3 mm.
Ocupação	4 moradores que trabalham e estudam fora de casa de segunda a sexta das 8h às 12h e das 14h às 18h.
Equipamentos	Zn1 = 7,58W/m ² Zn2 = 57,69 W/m ² Zn3 = 32,02W/m ² Zn4 = 27,64W/m ² Zn5 = 654,76 W/m ²

Iluminação interna	LPD(<i>Lighting Power Density</i>) Densidade de Potência de iluminação de 12 W/m ²
Climatização	Condicionador de ar de expansão direta, do tipo split, com eficiência equivalente a classificação nível "A" do Procel. Duas programações de termostato: resfriamento acionado a partir de 24 °C; e resfriamento acionado a partir de 26 °C, ambos para o período das 22h às 6h.
Ventilação Natural	Uso do módulo <i>Zone Ventilation: Design Flow Rate</i> , com disponibilidade de 24 horas. Para metade das simulações, as trocas de ar por hora são controladas pelos limites mínimo e máximo da temperatura interna, limitadas a cinco trocas, ventilação seletiva. Para outra metade das simulações, determinou-se uma troca de ar por hora, independente da temperatura interna.

2.3 Modelos Simulados

Foram avaliadas seis composições de cobertura. Destas formações, uma é apenas de fibrocimento, três são com lã de vidro (manta de feltro de lã de vidro revestida com película de alumínio na face superior e na face inferior revestida com laminado branco), uma com barreira radiante e uma com forro de madeira: (1) Fibrocimento; (2) Forro de Pinus; (3) Barreira radiante; (4) Lã de vidro invertida; (5) Lã de vidro suja; (6) Lã de vidro. As composições e propriedades térmicas destes conjuntos estão na Tabela 2 e um comparativo gráfico entre a resistência térmica total de cada cobertura, resistências térmicas calculadas a partir da NBR 15220, pode ser visto na Figura 3. Os materiais utilizados nestas composições foram: fibrocimento (6mm), manta de feltro de lã de vidro revestida com película de alumínio na face superior e na face inferior revestida com laminado branco (15mm), manta de alumínio (1mm) e forro de pinus (10mm). As propriedades térmicas de cada elementos podem ser vistas na Tabela 3.

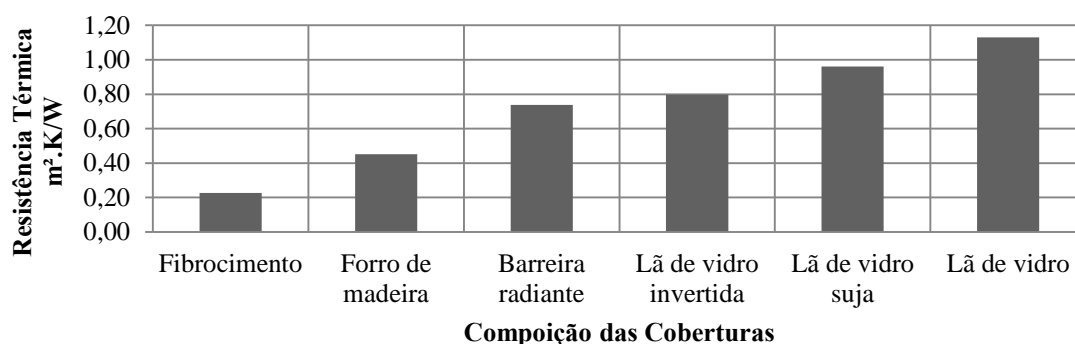
Tabela 2 Composição das coberturas

Cob	Composição das coberturas							Propriedades Térmicas	
	Fibroci-mento	Câm. de ar	Barreira radiante	Lã de vidro	Face inv.	Poeira 27%	Forro de madeira	RT (m ² .K/W)	Emissividade*
1	x							0,23	0,90
2	x	x					x	0,45	0,90
3	x	x	x					0,74	0,10
4	x	x		x	x			0,80	0,10
5	x	x		x		x		0,96	0,90
6	x	x		x				1,13	0,90

Tabela 3 Elementos que compõem as coberturas analisadas

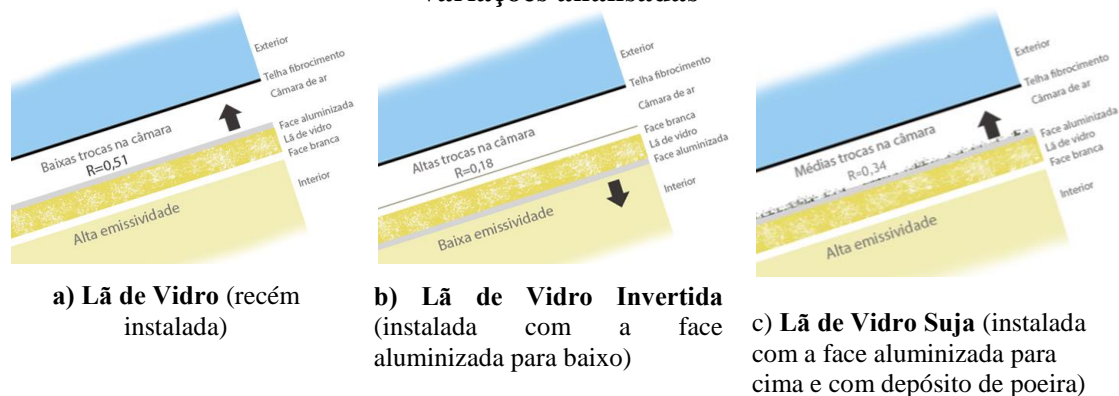
Elemento		Espessura (mm)	Condutividade Térmica λ (W/m.k)	Resistência Térmica Rt(m ² .k/w)
Fibrocimento		6	0,35	0,017
Câmara de Ar	Face aluminizada nova	20 a 50	---	0,51
	Face aluminizada com poeira 27%			0,34
	Face não refletiva			0,18
	Face não refletiva	>50	0,08	0,21
Lã de vidro		15	0,04	0,39
Barreira radiante		1	230	0,001
Forro de madeira		10	0,65	0,015

Figura 3 Resistência térmica total das coberturas analisadas



A Figura 4 mostra as três condições da subcobertura composta por lã de vidro (feltro de lã de vidro revestida com película de alumínio na face superior e na face inferior revestida com laminado branco) avaliadas neste trabalho. Uma subcobertura com face de alumínio voltada para o ambiente interno (Figura 4-b) irá emitir menos calor por radiação para as demais superfícies do ambiente, do que se ela fosse revestida com outro material. Caso a subcobertura tenha face aluminizada voltada para cima, Figura 4 (a), o benefício, em termos de desempenho térmico ocorre apenas na redução de troca de calor entre a cobertura de telha de fibrocimento e a subcobertura. Porém, a emissão de calor para o ambiente, a partir da subcobertura, continua sendo alta. A Figura 4 (c) ilustra a influência do depósito de poeira na superfície aluminizada da subcobertura, pois quanto maior a quantidade de poeira depositada na superfície aluminizada, maior é a emissividade e maior é a passagem de calor para o interior da edificação e menor é a eficiência da barreira radiante.

Figura 4 Lã de vidro (feltro de lã de vidro revestida com película de alumínio na face superior e na face inferior revestida com laminado branco) e suas três variações analisadas



2.4 Parâmetros de análise

A análise de desempenho térmico das seis composições de cobertura foi conduzida a partir de dois indicadores de conforto térmico: Graus-hora e Temperatura Operativa. O somatório de graus-hora ($^{\circ}\text{C.h}$) é um parâmetro de análise de desempenho térmico definido como o somatório da diferença de temperatura quando esta excede ou se encontra abaixo de uma temperatura de referência. As temperaturas de referência foram determinadas segundo ASHRAE Standard 55-2004 considerando que 80% dos ocupantes devam estar em conforto térmico e levando em consideração as temperaturas de bulbo seco dos arquivos climáticos de cada cidade analisada. A análise foi realizada considerando-se as 8760 horas do ano, somando-se as cinco zonas térmicas para cada modelo. A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente radiante negro

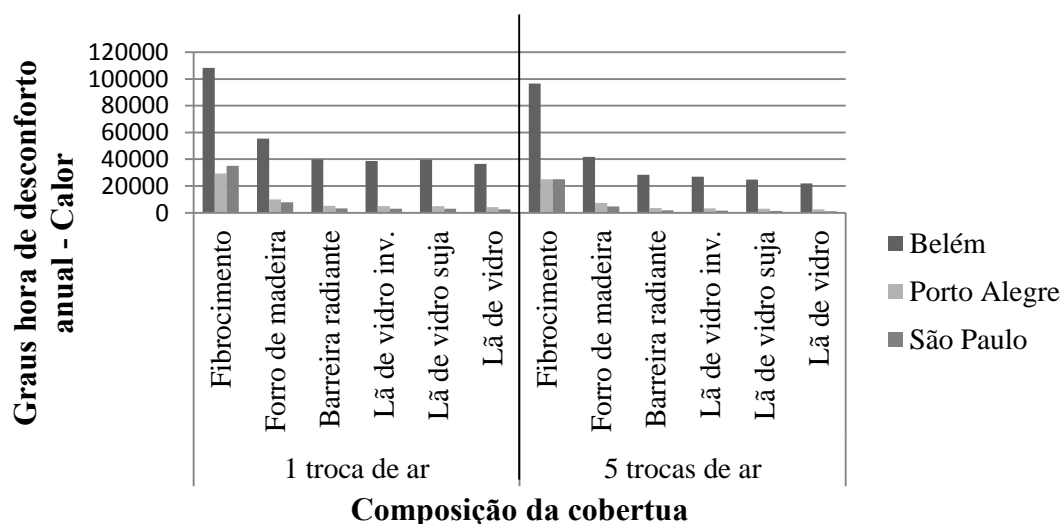
hipotético onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real (ASHRAE, 2004), e pode ser simplificada pelo cálculo da média entre a temperatura do ar e temperatura média radiante.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Graus-hora de desconforto

O uso de qualquer uma das subcoberturas testadas ou forro de madeira reduz os graus-hora de desconforto em pelo menos 24.198 °C.h, redução alcançada pela cobertura composta por barreira radiante para a cidade de Porto Alegre em relação à cobertura composta apenas por fibrocimento com uma troca de ar por hora. A cobertura composta por lã de vidro apresenta menor somatório de graus-hora de desconforto pelo calor para as três cidades. A lã de vidro, testada nas outras duas formas, invertida e suja, também apresenta desempenho superior à barreira radiante e forro de madeira. São Paulo registrou os melhores resultados e quando simulado com cinco trocas de ar por hora o índice de graus-hora de desconforto para o calor caíram de 25083 °C.h, com o uso de fibrocimento apenas, para 1.130 °C.h com o uso da lã de vidro recém instalada. Para Belém e Porto Alegre o aumento das trocas de ar representou uma redução menos significativa dos graus-hora de desconforto. Quanto menor o valor de graus-hora de desconforto, mais eficiente é a estratégia, ou tipo de cobertura aplicada, na promoção do conforto térmico interno. O gráfico da Figura 5 mostra os graus-hora de desconforto pelo calor para as seis coberturas analisadas, quando a edificação é simulada com uma troca de ar por hora (independente da temperatura interna) ou 5 trocas de ar por hora (controladas pelos limites mínimo e máximo da temperatura interna) considerando o desempenho global da edificação.

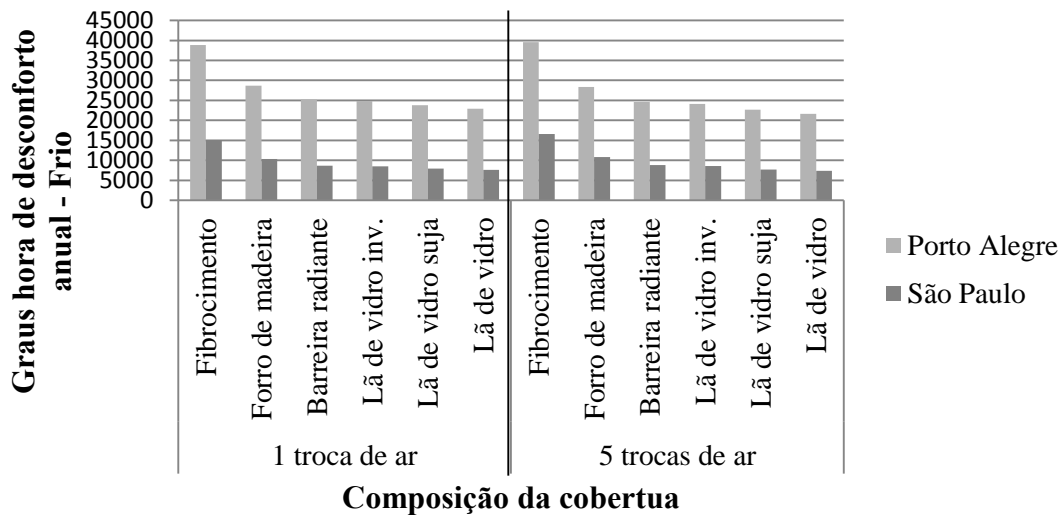
Figura 5 Gráfico de graus-hora de desconforto pelo calor.



Para o frio, as subcoberturas apresentaram o mesmo comportamento, menor somatório de graus-hora de desconforto pelo frio com a lã de vidro, seguido pelas suas variações, suja e invertida, e por último a barreira radiante. São Paulo apresenta índices de desconforto menores que Porto Alegre. O gráfico da Figura 6 mostra os graus-hora de desconforto pelo frio.

O forro de madeira apresenta maior índice de graus-hora de desconforto entre as demais opções de isolantes testadas, desconsiderando a cobertura composta apenas pelo fibrocimento, tanto para o calor quanto para o frio.

Figura 6 Gráfico de graus-hora de desconforto pelo frio



3.2 Temperatura Operativa

Esta avaliação tem foco na zona térmica 4 (dormitório com as paredes externas voltadas para as orientações norte e oeste). Às 14 horas, a temperatura operativa para os modelos com cobertura de fibrocimento chegam a superar a temperatura externa, considerando um intervalo de sete dias contados a partir do dia mais quente do ano, incluindo assim os três dias anteriores e os três posteriores ao mais quente.

As Figuras 7, 8 e 9 trazem os gráficos da relação entre a temperatura média mensal e as temperaturas operativas decorrentes de cada composição de cobertura para o período de sete dias definido a partir do dia mais quente do ano.

As subcoberturas apresentam comportamentos muito semelhantes. Nos picos de temperatura, considerando o dia mais quente do ano, a lã de vidro apresenta melhor desempenho em relação à barreira radiante. As maiores diferenças ocorrem no período da tarde, quando a lã de vidro apresenta uma temperatura operativa de no máximo 0,78 °C menor que a barreira radiante para Belém. Na cidade de São Paulo, às 14h do dia 20 de janeiro, a temperatura operativa do modelo com lã de vidro é 0,89 °C inferior a temperatura da cobertura com barreira radiante. As temperaturas operativas com o uso de lã de vidro são inferiores às alcançadas pela barreira radiante entre as 8h e 16h para as três cidades.

O desempenho da lã de vidro instalada com a face aluminizada para cima tende a perder sua eficiência com o tempo. Ela apresenta as melhores condições de conforto térmico entre todas as opções de isolante estudadas, mas apenas para a sua condição de recém instalada (superfície limpa). Com 27% de acúmulo de poeira, esta configuração representa temperaturas operativas muito semelhantes a da lã de vidro invertida.

Em Porto Alegre, as maiores diferenças entre a lã de vidro e a barreira radiante, considerando o período de sete dias a partir do dia mais quente do ano, ocorrem no período entre as 11h e 15h. No dia 10 de janeiro, às 14h, a lã de vidro apresenta temperatura operativa de 0,92 °C abaixo do modelo com barreira radiante.

Figura 7 Gráfico de temperatura operativa e temperatura externa do ar para um período de sete dias em Belém - PA

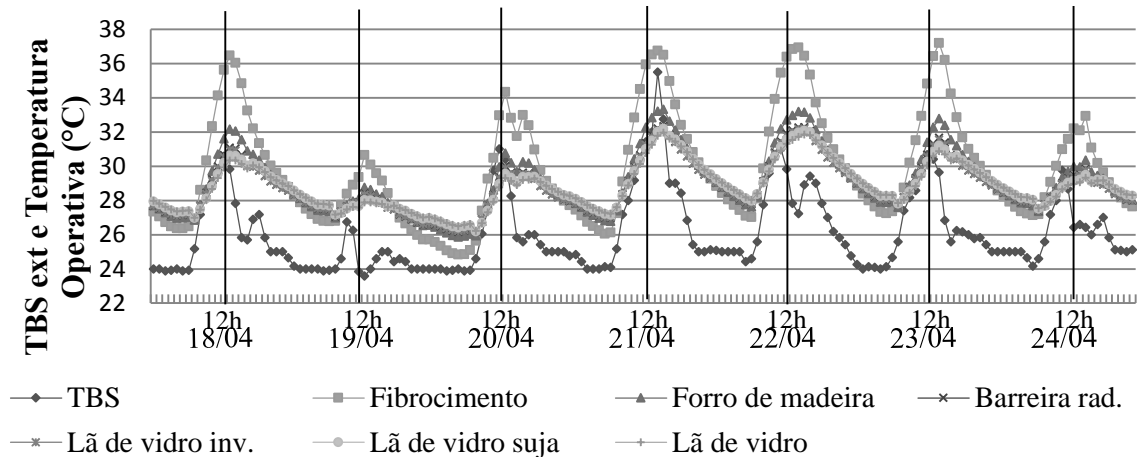


Figura 8 Gráfico de temperaturas operativas e temperatura externa do ar para um período de 7 dias em São Paulo - SP

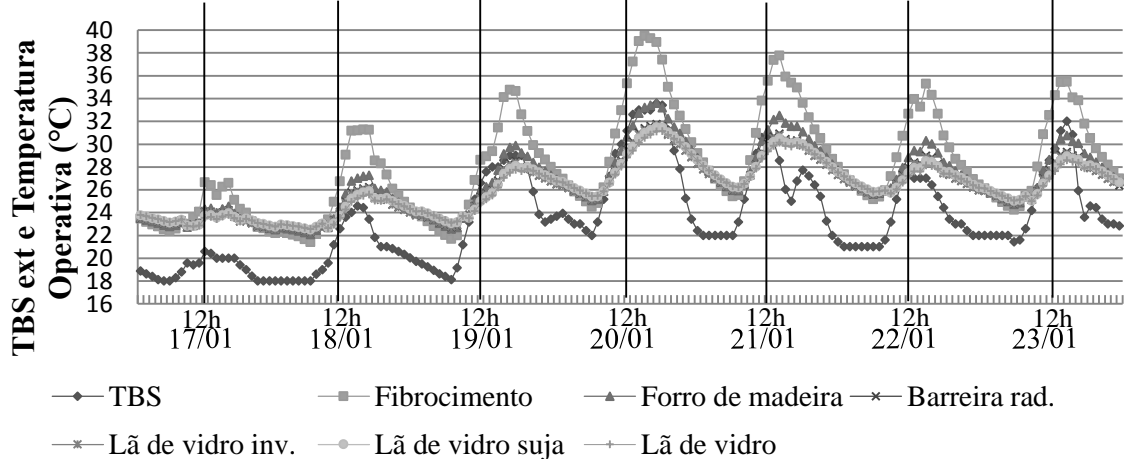
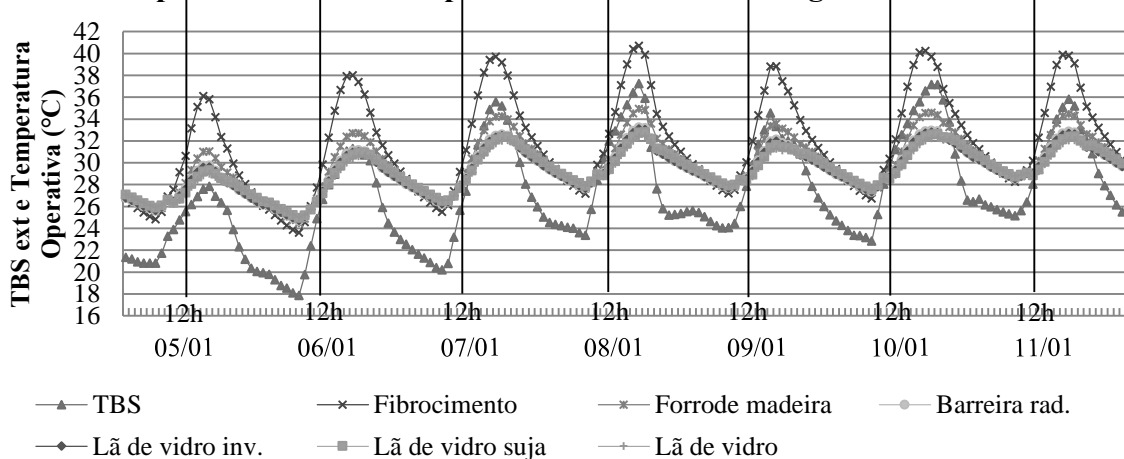


Figura 9 Gráfico de temperaturas operativas e temperatura externa do ar para um período de 7 dias em para a cidade de Porto Alegre - RS



3.3 Consumo de energia para o clima de Belém

A análise do consumo de energia do sistema de condicionamento de ar para a zona térmica 4 (dormitório) na cidade de Belém reafirma a orientação da NBR 15220 para a Zona Bioclimática 8. Para esta condição climática é preciso que a cobertura seja ventilada e

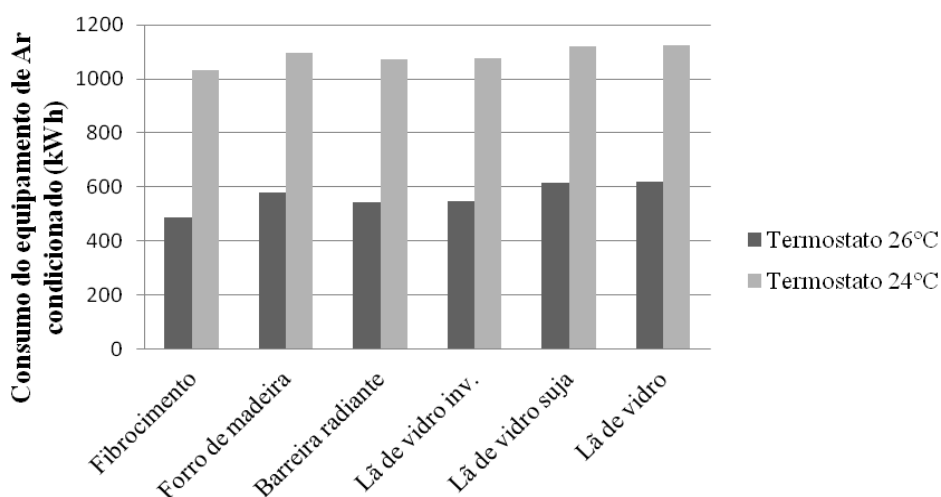
não isolada, pois o material isolante, assim como a câmara de ar proporcionada pelo forro de madeira, dificulta a perda de calor da cobertura para o céu no período da noite.

O consumo de energia para ar-condicionado demonstrado no gráfico da Figura 10 refere-se ao período de um ano, com horário de funcionamento do sistema de condicionamento de ar das 22h às 6h. Foram simuladas duas situações para o mesmo período: acionamento do ar-condicionado quando a temperatura interna atinge os 24 °C e outra quando atinge os 26 °C.

Para o termostato a 24 °C o forro de madeira aumenta o consumo do ar-condicionado em 6% em relação à cobertura composta apenas por fibrocimento. Dentre as variações da lã de vidro, a invertida apresentou melhor desempenho, aumentando o consumo de energia em apenas 4%, o mesmo que a barreira radiante. Já com o termostato programado para 26 °C, o aumento do consumo por conta das subcoberturas e do forro em relação ao fibrocimento é mais significativo. O forro de madeira aumenta o consumo em 19%, a barreira radiante, 11 %, a lã de vidro invertida, 13%, a lã de vidro suja 26% e a lã de vidro recém instalada, 27%. Todos em relação à cobertura composta apenas por telha de fibrocimento. O menor consumo energia para ar-condicionado foi da barreira radiante, com o termostato programado para 26 °C, atingindo 542 kWh ao ano.

Vale ressaltar que ao simular a edificação com sistema de condicionamento de ar operando durante a noite, o comportamento resultante da adição de maior isolamento térmico na cobertura não segue exatamente a mesma tendência que a verificada com o modelo naturalmente ventilado. Pelos resultados apresentados na Figura 10 supõe-se que existe um valor de resistência térmica ideal a partir do qual o consumo de energia deixa de reduzir e passa a aumentar devido à dificuldade de perda de calor pela cobertura. O gráfico da Figura 10 esclarece também que os consumos de energia para as situações com setpoint programado a 24 °C são em média 45% maiores que os casos com setpoint programado a 26 °C, entretanto os aumentos dos consumos relatados acima são referentes ao mesmo setpoint sem e com o uso de subcoberturas.

Figura 10 Gráfico de consumo do ar-condicionado para a cidade de Belém



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Resistência Térmica Total da cobertura se mostrou determinante para o principal indicador de conforto térmico em questão, a temperatura operativa, para a edificação residencial em análise em três cidades brasileiras: Porto Alegre, São Paulo e Belém.

A lã de vidro instalada de forma convencional (face aluminizada para cima) apresenta os melhores resultados de acordo com os graus-horas de desconforto e temperatura operativa

entre os materiais isolantes avaliados. Porém, o acúmulo de poeira na superfície aluminizada reduz a eficiência deste tipo de cobertura, que nos níveis analisados neste estudo aproximam-se muito da eficiência da lã de vidro invertida.

Este estudo mostra que a eficiência de uma subcobertura composta por feltro de lã de vidro revestida com película de alumínio na face superior e na face inferior revestida com laminado branco é decorrente da Resistência Térmica Total da composição da cobertura, valor quase 5 vezes maior que a cobertura de fibrocimento sem a aplicação de uma subcobertura. Já a resistência térmica total da cobertura composta apenas por lâmina de alumínio, $0,74 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, é cerca de 34% menor que a composta por lã de vidro. A avaliação anual dos dois tipos de isolantes mostra que a lã de vidro tem desempenho superior ao da barreira radiante. Entretanto, é importante salientar que o comportamento destes dois materiais é distinto no decorrer do dia: Enquanto o uso da lã de vidro proporciona ambientes com temperaturas mais baixas durante a tarde, o uso de barreira radiante proporciona ambientes com temperaturas inferiores à lã de vidro nos períodos noturnos.

O consumo de energia para climatização na cidade de Belém dos modelos com forro de madeira, barreira radiante e lã de vidro invertida foi muito semelhante. O forro de madeira resulta em maior consumo, pois o balanço de calor noturno mostra-se positivo para o período analisado (das 22h às 6h). É importante salientar que o período de análise do consumo de ar-condicionado leva em consideração o fato de tratar-se de uma edificação residencial, onde a maior ocupação é noturna e considera também que a zona térmica que recebe a análise de consumo do ar-condicionado é o dormitório. As primeiras horas da noite ainda têm temperaturas muito superiores no modelo com forro de madeira do que com os isolantes. A partir da metade do período de funcionamento do ar-condicionado as temperaturas operativas do modelo com forro de madeira passam a ser inferiores às dos modelos com isolantes. Portanto, a adequada aplicação de uma subcobertura de material isolante ou simplesmente forro de madeira depende do período do dia em que se deseja obter as menores temperaturas internas.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Std. 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho termico de edificações. Parte 1 e 3. Rio de Janeiro, 2005.
- MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. Florianópolis, 2007. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2007.
- MICHELS, C; LAMBERTS, R; GÜTHS, S. Theoretical/experimental comparison of heat flux reduction in roofs achieved through the use of reflective thermal insulators. Brasil, 2006. In: **Energy and Buildings**, 2007, p 438-444.
- SOUBDHAN, T. FEUILLARD, T. BADE, F. Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate. França, 2004. In: **Solar Energy**, 2004, p. 311-320.
- VITTORINO, F; SATO, N. M. N; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2003, Curitiba, Paraná. ENCAC, p. 1277-1284.