AVALIAÇÃO DO FLUXO DE CALOR EM COBERTURAS COM BARREIRAS RADIANTES

Tiago de Castro Quevedo (1); Vanessa Aparecida Caieiro da Costa (2); Ana Paula Melo (3) Roberto Lamberts (4)

(1) Engenheiro Civil, mestrando, quevedotc@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, Santa Catarina,
(2) Arquiteta e Urbanista, Mestre, Pesquisadora em Ciência das Edificações, vanessa.costa@saint-gobain.com, Saint-Gobain Research Brasil, Rodovia Campinas Tiete, 1600 - Capivari SP - CEP: 13360-000, (19) 2146-6822
(3) Doutora, Engenharia Civil, a.p.melo@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, Santa Catarina,
(4) Doutor, Engenheiro Civil, roberto.lamberts@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, Santa Catarina.

RESUMO

O consumo de energia em edificações vem ganhando cada vez mais destaque no cenário nacional e internacional, muito influenciado pela demanda do sistema de climatização artificial. A utilização de estratégias que visem a redução do consumo dos sistemas de climatização artificiais, como o uso das barreiras radiantes e isolantes refletivos, destaca-se para a redução no consumo de energia das edificações. O desempenho de edificações com materiais de baixa emissividade pode ser avaliado por meio de ensaios em laboratórios, in situ ou por simulações. As simulações, que são o foco deste artigo, possuem limitações por serem simplificações contendo cálculos de troca de calor, contudo são ferramentas que se destacam e podem ser validadas por meio de comparação com ensaios em laboratórios e in situ. Frente a isso o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da modelagem de edificações, no programa *EnergyPlus,* para a avaliação de barreiras radiantes e isolantes refletivos, estudando o impacto nas temperaturas internas, fluxo de calor e redução na carga térmica. Foram desenvolvidos três cenários distintos, usando materiais de baixa emissividade, comparando com dois modelos de referência localizados em três cidades distintas: Curitiba, Rio de Janeiro e Santa Maria. Todos os cenários permitiram a redução no fluxo de calor quando comparados com as referências, entre 30 e 55%. O cenário 3, com barreira radiante utilizando a simulação simplificada com Energy Management System, apresentou a maior redução para as três cidades, reduzindo até 55% o fluxo de calor e até 20% a carga térmica interna.

Palavras-chave: barreiras radiantes, isolantes refletivos, simulação computacional, EnergyPlus.

ABSTRACT

The energy consumption in buildings is emphasised in national and international scenario, being influence for cooling systems. To reduce the cooling demand, strategies like radiant barriers and reflective insulation shown efficient. Laboratory measurements, in situ measurements and simulations can evaluate the performance of those strategies. The simulation method, the goal of this paper, has limitations since they are simplifications of physical phenomenal regarding the use of equations. Besides that, they are an important tool, since they allow obtaining results faster than laboratory and in situ measurements, and they can be validated comparing the simulation results with laboratory or in situ results. The goal of this paper is to evaluate how modelling in EnergyPlus influences the results of internal surfaces temperature, heat flux and thermal loads of radiant barriers and reflective insulation. To evaluate the influence of modelling, three different scenarios were adopted, using low emissivity materials, and comparing with two reference models with high emissivity materials, for three different cities, Curitiba, Rio de Janeiro and Santa Maria. In All three scenarios was possible to find heat flux reductions between 30 and 55%. The scenario 3, with radiant barriers and Energy Management System had the best's results for all three cities, reducing 55% the heat flux and 20% the internal cooling loads.

Keywords: Radiant barrier, reflective insulating, simulation, EnergyPlus

1. INTRODUÇÃO

A redução no consumo energético de edificações vem ganhando cada vez mais destaque no cenário nacional, principalmente a partir de 2001, com a crise energética e o apagão nacional. Porém, o tema é amplamente discutido e difundido também no cenário internacional, com o crescente foco dos países em reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), as edificações são responsáveis por 28% das emissões de CO_2 no mundo, batendo o recorde em 2019, 10 Gt CO_2. O aumento observado em 2019 ocorreu principalmente pela maior demanda de resfriamento das edificações, uma vez que os anos entre 2016 e 2019 foram os mais quentes registrados, com temperaturas de até 3°C superior a média (IEA, 2019). Assim, a demanda por sistemas de climatização vem se tornando um importante fator no consumo de energia elétrica das edificações. O estudo desenvolvido por Perez e Lombard (2009) evidencia esse fato, mostrando que a energia consumida pelas edificações é influenciada pela demanda da climatização. Segundo os autores, nos Estados Unidos e na Espanha, o sistema de climatização das residências é responsável por 42% do consumo de energia, enquanto no Reino Unido esse número pode chegar a 62%.

Portanto, é fundamental que sejam adotadas estratégias que visem a redução da demanda por climatização, reduzindo o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono. Saber et al (2019) pontuam que uma das formas de atingir esse objetivo é realizando melhorias na envoltória, aumentando a resistência térmica equivalente, para então reduzir as cargas térmicas do ambiente. O uso do isolamento térmico, é uma estratégia comumente adotada, permitindo reduzir o consumo dos sistemas de climatização (DYLEWSKI; ADAMCZYK, 2011) através do uso de materiais com alta resistência térmica ou barreiras radiantes e isolantes refletivos. As barreiras radiantes e os isolantes refletivos são denominadas como tecnologias refletiva, que trabalham com superfícies de baixa emissividade, reduzindo a troca de calor por radiação e convecção nas câmaras de ar. O isolante reflexivo pode ser definido com um isolamento térmico composto por uma ou mais camadas de baixa emissividade voltadas para uma câmara de ar não ventilada. Já as barreiras radiantes são compostas por materiais de baixa emissividade voltados para um ambiente ou uma câmara de ar ventilada. Dessa forma, a principal diferença entre eles é a condição da câmara de ar, sendo ventilada ou não (Lee et al. 2016).

Diversos estudos (Medina, 2000, Parker e Sherwin, 2002, Michels et al 2008a 2008b, Lee et al 2016, Ferreira e Covacho, 2018, Yam et al, 2020) avaliaram o desempenho da utilização de barreiras radiantes e isolantes refletivos em edificações, aplicado, principalmente, em coberturas.

Medina (2000) analisou a influência de barreiras radiantes e isolantes térmicos em coberturas para o clima quente e úmido de Austin, Texas. Por meio de simulações computacionais, o autor obteve reduções de até 44% no fluxo de calor dos modelos, evidenciando como as barreiras radiantes podem ser adotadas como soluções eficientes para a envoltória de uma edificação. Parker e Sherwin (2002) avaliaram o impacto das barreiras radiantes na demanda por ar condicionado em residências reais. No estudo foram testadas barreiras radiantes nos áticos das residências, chegando a uma economia de até 16% no pico de consumo de ar condicionado

Já Michels et al (2008a) avaliaram diversas estratégias para a redução no fluxo de calor em coberturas para a cidade de Florianópolis, por meio de testes em laboratório. Foram testadas amostras, entre alumínio polido, amostras comerciais e embalagem tetra Pack, com os melhores resultados obtidos pela amostra de alumínio polido e amostra comercial reduzindo o fluxo de calor em 79% e 71%, respectivamente. No trabalho de Michels et al (2008b) foram avaliados o desempenho de amostras de material com baixa emissividade em uma edificação real, também para a cidade de Florianópolis. Os resultados demonstram uma redução de 70% no fluxo de calor ao longo do dia, com maior radiação solar na cobertura, para a amostra com barreira radiante.

Com o objetivo de mostrar o potencial das barreiras radiantes e isolantes refletivos, Lee et al (2016) realizaram uma extensa revisão de estudos avaliando os impactos de barreiras radiantes e isolantes reflexivos. Na sua revisão, os autores identificaram que essas estratégias aplicadas ao ático das edificações podem reduzir em média de 26% a 50% o fluxo de calor para os ambientes, e em média de 6% a 16% a carga térmica interna, evidenciando o potencial das barreiras radiantes quando aplicadas em edificações.

Já Ferreira e Covacho (2018) avaliaram o impacto das barreiras radiantes na temperatura do ático e das superfícies dos forros dos ambientes. No estudo, os autores encontraram que a barreira radiante foi responsável por reduzir até 2,3°C a temperatura do teto do dormitório em comparação ao modelo sem barreira radiante (FERREIRA; CORVACHO, 2018).

Por fim, Yam et al (2020) abordaram o cálculo da resistência térmica das câmaras de ar com materiais de baixa emissividade, ou isolantes refletivos. Os autores identificaram os valores de resistência térmica de câmaras de baixa emissividade fornecidos pela ISO 6946 2017 apresentam limitações, uma vez

que o coeficiente de convecção é simplificado. Assim, os autores propõem um método para cálculo de resistência das câmaras de ar, obtendo resultados próximos ao fornecido pela ASHRAE *Handbook* 2017.

Observa-se, portanto, que a aplicação das barreiras radiantes e isolantes refletivos permitem atingir reduções nas temperaturas de superfícies internas, no fluxo de calor das coberturas e da carga térmica dos ambientes, permitindo uma redução no consumo de energia elétrica proveniente do consumo do sistema de climatização. Frente a isso, o desenvolvimento de estudos avaliando o impacto e desempenho dessa estratégia é fundamental.

Contudo, existem três formas para avaliar o desempenho de edificações com barreiras radiantes e isolantes refletivos: estudos em laboratório, medições in loco e simulação (Lee et al 2016). As medições em laboratório apresentam os resultados com menor grau de incerteza, devido ao maior controle das condições. Já as medições in loco apresentam resultados próximos da realidade, porém com maior grau de incerteza. Por fim as simulações são processos simplificados, envolvendo equações de trocas de calor, fornecendo resultados que podem ser calibrados e validados com resultados em laboratório e in loco (LEE; LIM; SALLEH, 2016).

Apesar das limitações, os métodos de simulações permitem realizar os estudos de maneira mais rápida e simplificada, sem o uso de laboratório ou in situ. Além disso, são ferramentas utilizadas em consultorias de desempenho energético das edificações. Dessa forma, é importante compreender suas limitações e como elas influenciam nos resultados. Fontanini et al (2018) estudaram as discrepâncias que os resultados de simulação podem fornecer. De acordo com os autores, os resultados obtidos por meio de softwares de simulação de edificações, como o EnergyPlus, podem indicar que edificações com barreiras radiantes reduzam menos o fluxo de calor, a carga térmica ou o consumo de energia do sistema de climatização, do que o que acontece realmente, subestimando o desempenho de uma edificação com barreira radiante. Assim, os autores desenvolveram um estudo para identificar as possíveis causas, observando que os coeficientes de convecção do programa podem influenciar nos resultados, subestimando o desempenho de barreias radiantes.

Por serem estratégias que reduzem o fluxo de calor, a carga térmica e o consumo de energia do sistema de climatização nas edificações, destaca-se o estudo do uso de barreiras radiantes. A avaliação do desempenho de edificações com essas estratégias por meio de simulação, contudo, deve ser elaborada levando em consideração as limitações do método. Assim, é fundamental compreender como a forma de modelagem em um programa de simulação afeta os resultados, a fim de determinar o real impacto das barreiras radiantes no desempenho de edificações por meio da simulação. Frente a isso, esse estudo tem como objetivo investigar a influência da modelagem nas reduções de fluxo de calor e carga térmica de edificações residenciais no Brasil.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é avaliar a influência da modelagem nos resultados de simulações de edificações com o uso de barreiras radiantes, avaliando a influência da modelagem na temperatura das superfícies internas, no fluxo de calor das superfícies e na redução da carga térmica dos ambientes.

3. MÉTODO

O método desse estudo é dividido em duas etapas. A primeira etapa é a análise do efeito da modelagem com o uso das barreiras radiantes na superfície do forro de uma edificação unifamiliar, ventilada naturalmente. A segunda etapa é a análise da influência da modelagem com o uso dos isolantes reflexivos no fluxo de calor e redução da carga térmica de resfriamento na mesma edificação, adotando o uso de condicionamento artificial.

3.1. Características da edificação

O objeto de estudo é uma residência unifamiliar térrea, composta por dois dormitórios, uma sala integrada com a cozinha, e um banheiro. O adotado modelo foi adotado no trabalho de Triana et al (2016) e representa uma habitação de interesse social padrão, com 39,7 m² de área conforme apresentado na Figura 1.

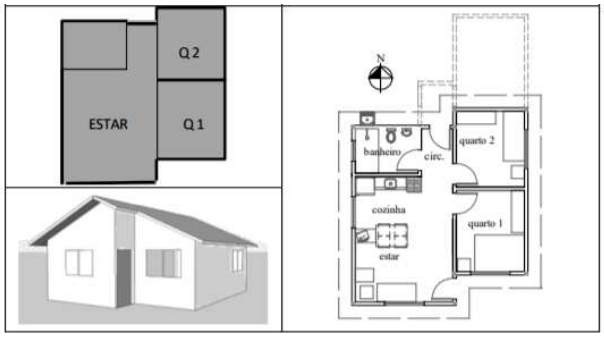


Figura 1 – Residência unifamiliar (TRIANA et al, 2016)

O modelo 3D da edificação foi desenvolvido com o programa Sketchup, e o plugin *OpenStudio*, e simulado com o programa *EnergyPlus* (versão 9.2). Para as simulações, foram considerados duas formas distintas de modelar. A primeira modelando o ático da edificação como uma zona térmica sem infiltração de ar, com o objetivo de fazer um modelo mais próximo da realidade, que considere a inclinação de um telhado e o volume de ar formado entre telhado e o forro da edificação. Já a segunda modelagem, simplifica o ático da edificação em um componente, composto pela telha, uma câmara de ar com resistência fixa e o forro da edificação. Portanto, o modelo de referência 1 é constituído do ático representando uma zona térmica, enquanto o modelo de referência 2 é representado por uma câmara de ar de resistência térmica fixa, conforme Figura 2.

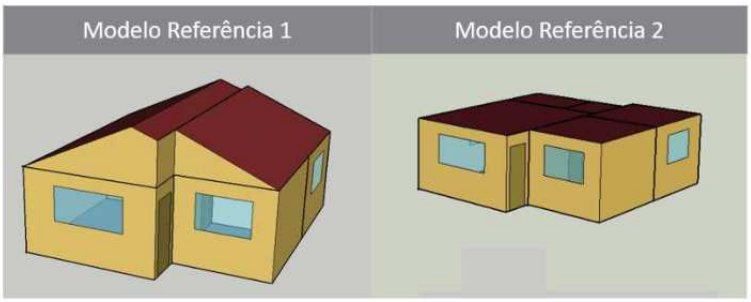


Figura 2 – Modelos de referência 1 e 2

A edificação é composta por paredes de concreto de 10 cm, com transmitância térmica de 4,40 W/m²K e absortância 0,6. O piso é composto de piso cerâmico com laje de concreto 10 cm, com transmitância térmica de, 3,6 W/m²K. Os vidros considerados são do tipo simples incolor de 3 mm com fator solar de 0,87. A cobertura varia conforme os diferentes casos. Para o caso de referência 1 foi considerada uma cobertura de telha fibrocimento com transmitância térmica de 4,6 W/m²K e forro de madeira, com absortância de 0,9. Para o caso de referência 2 foi considerado uma telha de fibrocimento, câmara de ar com fluxo descendente, com resistência térmica de 0,21 m²W/K, totalizando em uma transmitância térmica do componente de 2,0 W/m²K, com absortância de 0,9.

Para os dois modelos de referência foi considerada uma ocupação total de 4 pessoas, sendo duas por dormitório. A sala e os dormitórios possuem horários de ocupação e taxas metabólicas diferentes, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Ocupação e taxa metabólica dos ambientes

Ambiente	Ocupação	Número de ocupantes	Taxa metabólica (W)
Sala	14:00 às 18:00	2	108
	18:00 às 22:00	4	
Dormitório 1	22:00 às 8:00	2	81
Dormitório 2	22:00 às 8:00	2	81

Nos modelos também foi considerado o uso de equipamentos e iluminação artificial. Na sala foi considerado a utilização de equipamentos de 120W das 14:00 até às 22:00 e iluminação artificial das 16:00 às 22:00, já para os dormitórios foi considerado o uso de iluminação artificial das 22:00 até 24:00 e das 6:00 até às 8:00, sem considerar o uso de equipamentos.

A residência foi modelada considerando o contato com o solo, utilizando o objeto *Ground Domain* presente no programa *EnergyPlus* (Eli et al. 2019).

Para a etapa 1, foi considerada uma residência naturalmente ventilada, utilizando o objeto *Airflow Network* do *EnergyPlus*. Para o modelo de ventilação natural as janelas serão abertas somente quando o ambiente estiver ocupado e se a temperatura interna for maior que 19°C. Os resultados da simulação para a etapa 1 foram as temperaturas das superfícies internas dos ambientes.

Para a segunda etapa, a edificação foi considerada totalmente condicionada ao longo do ano, considerando somente resfriamento com o objeto *Ideal Loads,* com temperatura de setpoint igual a 24°C. Para o sistema funcionar é necessário obedecer a duas condições: o ambiente precisa estar ocupado e a temperatura interna tem que ser maior que o setpoint (24°C). Os resultados para a segunda etapa foram a carga térmica anual para refrigeração e o fluxo de calor na cobertura.

3.2. Diferentes cenários

A partir das referências 1 e 2 foram definidos 3 novos cenários utilizando material de baixa emissividade na cobertura. O cenário 1 consiste em uma modelagem da residência, considerando o ático como uma zona térmica, assim como a referência 1. Para configurar uma barreira radiante, foi considerado a instalação de uma lâmina de alumínio com emissividade de 0,01 localizada na parte de baixo da telha de fibrocimento. Dessa forma, a cobertura do cenário 1 é composta por telha de fibrocimento, material de baixa emissividade e forro de madeira.

O cenário 2, assim como a referência 2, é modelado de forma simplificada, transformando o ático em uma câmara de ar com resistência térmica de fluxo descendente. Para configurar a barreira radiante, foi considerada uma câmara de ar com resistência térmica de fluxo descendente e baixa emissividade, no valor de 0,61 m²K/W. Esse cenário representa uma forma tradicional de simplificação no *EnergyPlus*, que considera a resistência térmica igual durante todos os períodos do ano. Assim, não é levada em consideração a resistência térmica de fluxo ascendente durante as simulações.

Para considerar uma alteração nas resistências térmicas da cobertura ao longo do ano foi adotado o cenário 3, que utiliza o *Energy Management System* (EMS), que permite a alteração de algumas configurações durante a simulação. Dessa forma, o cenário 3 considera resistência térmica de fluxo descendente de 0,61 m²K/W e fluxo ascendente de 0,27 m²K/W, conforme os valores apresentados na NBR 15.220. A configuração do EMS necessita de um sensor, um programa e a variável que será alterada conforme o programa. Os sensores para o cenário 3 foram posicionados na cobertura, nos lados interno e externo, medindo a temperatura superficial, que servirão como base para a tomada de decisão do programa, definindo quando a variável será alterada. O programa consiste nas equações que irão alterar a variável desejada, nesse caso a resistência térmica da cobertura. Portanto, foram estabelecidas equações correlacionando a temperatura das superfícies do forro dos quartos e sala com a resistência térmica da cobertura conforme equações abaixo:

Se temp_sup_int < temp_sup_ext, Fluxo descendente, R = 0,61m²K/W (1)

Se temp_sup_int > temp_sup_ext, Ffluxo ascendente, R = 0,27 m²K/W (2)

Assim, durante a simulação, é possível considerar os dois fluxos de calor que ocorrem ao longo de um dia em uma cobertura. No período diurno, a superfície externa tende a ficar mais quente que a interna, portanto o fluxo de calor é no sentido descendente, entrando na edificação. Já durante a noite,

principalmente, em climas mais amenos, a superfície externa tende a ser mais fria que a interna, favorecendo o fluxo de calor ascendente, retirando o calor da edificação.

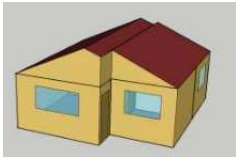
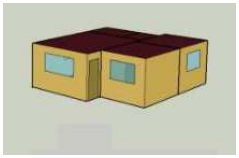
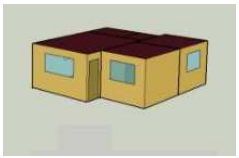
Cenários	Descrição	Modelo EnergyPlus
1	Telha fibrocimento + material de baixa emissividade (0,01) + forro de madeira	
2	Telha fibrocimento + câmara de ar de baixa emissividade fluxo descendente R = 0,61 m²W/K + Forro de madeira	
3	Telha fibrocimento + câmara de ar de baixa emissividade fluxo variável: descendente R = 0,61 m²W/K ascendente R = 0,27 m²W/K + Forro de madeira	

Figura 3 – Diferentes cenários

Para os três cenários serão avaliados os casos com ventilação natural e com climatização artificial. Além disso, as características referentes ao uso, ocupação, iluminação e climatização são idênticas para todos os cenários e as referências, conforme abordado no item 3.1. Da mesma forma, as características da envoltória referente as paredes, piso e vidros foram mantidas idênticas, variando somente a cobertura.

Foram adotadas 3 cidades diferentes para a avaliação do desempenho das edificações com coberturas com isolante reflexivo: Rio de Janeiro, Santa Maria e Curitiba, abordando diferentes condições climáticas. A cidade do Rio de Janeiro, está inserida na zona bioclimática 8, conforme NBR 15.220 e classificada como um clima equatorial com inverno seco (Aw) pela classificação de Köppen. Já Santa Maria, está inserida na zona bioclimática 2, com clima com temperaturas médias, úmido e verão com temperaturas elevadas (Cfa). Por fim, Curitiba na zona bioclimática 1 e clima com temperaturas médias ao longo do ano e verões quentes conforme classificação de Köppen (KOTTEK Et al. 2006).

Para a simulação foram utilizados os arquivos climáticos TMYx, obtidos no site *climate one building* (US NOAA, 2018). Por fim, todas as simulações foram realizadas considerando o período anual, com 8760 horas.

4. RESULTADOS

Para a análise da temperatura das superfícies, do fluxo de calor e da redução da carga térmica foram adotados os dias mais quentes do ano de acordo com o arquivo climático, para cada cidade selecionada, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Dias mais quentes para cada cidade

Cidade	Dia	Temperatura máxima
Rio de Janeiro	01/fevereiro	38°C
Santa Maria	24/novembro	39°C
Curitiba	28/novembro	33 °C

4.1 Análise com ventilação natural

A primeira etapa permitiu identificar a diferença na temperatura superficial do forro entre os diferentes cenários, observando como a modelagem influencia nos resultados, conforme apresentado na Figura 4.

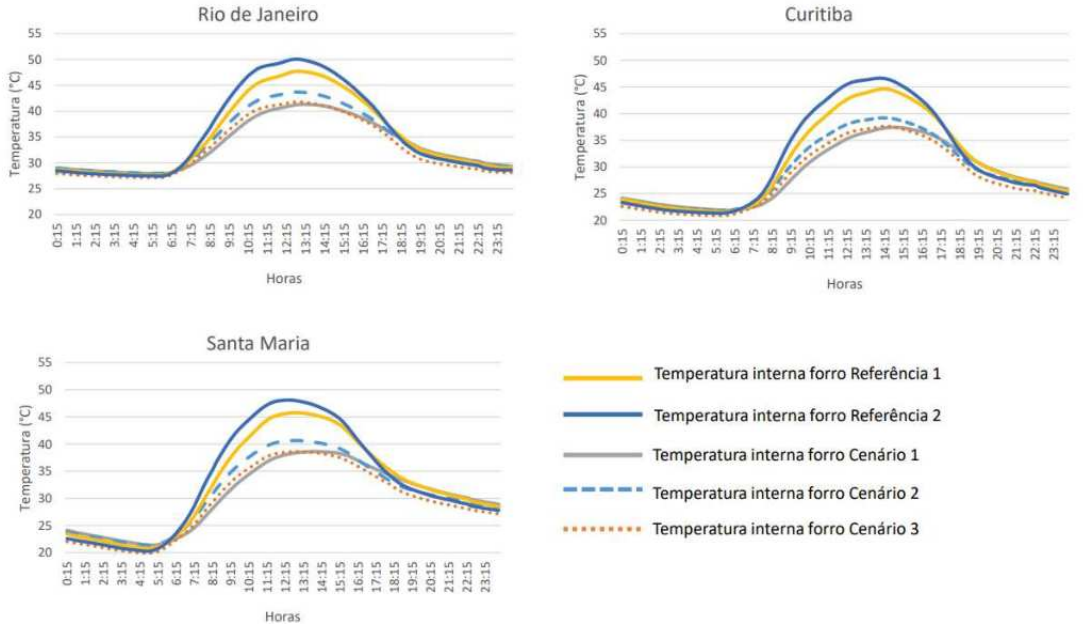


Figura 4 – Temperatura da superfície interna do forro nos diferentes cenários.

Para a cidade do Rio de Janeiro, observa-se uma redução de temperatura nos três cenários estudados, em relação as referências. O cenário 1 apresentou reduções de 6,37 °C em relação a referência 1 e 8,75°C em relação a referência 2. Já o cenário 2, obteve as menores reduções, reduzindo 3,99 °C em relação a referência 1 e 6,37°C para a referência 2. Por fim o cenário 3 apresentou resultados semelhantes ao cenário 1, reduzindo 5,94°C e 8,31°C, em relação as referências 1 e 2, respectivamente.

Os cenários 1 e 3 tiveram diferença no ponto de máxima temperatura de 0,43°C, indicando que os modelos funcionam de maneira semelhante. O cenário 2 apresentou as maiores temperaturas internas, com 2,38°C de diferença para o cenário 1 e 1,95°C de diferença em relação ao cenário 2. Essa diferença ocorre porque no cenário 2 a câmara de ar possui resistência térmica fixa, considerando sempre um valor de 0,61 m²W/K, reduzindo o fluxo de calor na superfície do interior para o exterior da edificação. Por outro lado, no cenário 3, a utilização do EMS permite que a resistência térmica alterne entre 0,61 e 0,27 m²W/K (fluxos descendente e ascendente, respectivamente), permitindo um fluxo de calor do interior da edificação para o exterior, quando a temperatura externa for menor que a interna. O mesmo pode ser observado para as cidades de Santa Maria e Curitiba.

Os cenários 1 e 3 apresentaram as menores temperaturas superficiais internas. Para Curitiba, a redução máxima de temperatura entre o cenário 1 e a referência 1 foi de 7,19°C. Também foi possível identificar o comportamento semelhante dos cenários 1 e 3, com diferença de 0,20°C. Para a cidade de Santa Maria, a redução entre o cenário 1 e a referência 1 foi de 7,14°C, semelhante ao encontrado no cenário 3 e referência 1, de 7,18°C. As diferenças de temperaturas máximas para a cidade de Curitiba foi de 0,20°C entre os cenários 1 e 3. Portanto, assim como ocorreu para a cidade do Rio de Janeiro, os cenários 1 e 3 apresentaram as menores diferenças, indicando que as duas modelagens funcionam de forma semelhante para o caso em estudo.

Assim, na análise de temperatura das superfícies internas é possível identificar que a forma de modelar influencia nos resultados, podendo subestimar o desempenho das estratégias refletivas. Portanto, a utilização do objeto EMS no programa *EnergyPlus* é uma estratégia interessante para aproximar os resultados com um modelo que considera a modelagem do ático como uma zona térmica, como a referência 1 e cenário 1.

4.2 Análise com climatização artificial

Com a segunda etapa do método, foi avaliada a redução no fluxo de calor na superfície interna do forro, conforme Figura 5.

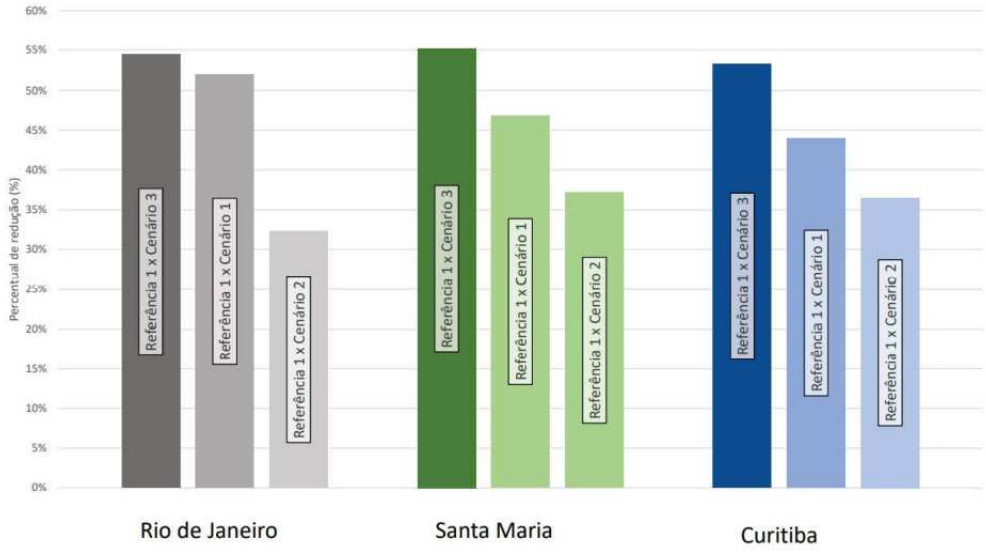


Figura 5 – Redução no fluxo de calor na superfície

Observa-se que para os três climas analisados, o cenário 3 apresenta as maiores reduções no fluxo de calor quando comparado ao modelo de referência 1, reduzindo até 55% o fluxo de calor nas superfícies. O cenário 2 apresenta as menores reduções, não chegando a 40%, e é o mais distante do modelo de referência 1. Essas diferenças ocorrem porque no cenário 2 não há troca da resistência térmica da câmara de ar, fazendo com que a edificação perca menos calor nos períodos noturnos ou em dias com temperaturas amenas para o exterior. Já no cenário 3, o uso do EMS permite que a resistência térmica da câmara de ar seja alterada, adotando em dias com temperaturas amenas uma resistência térmica de fluxo ascendente, permitindo que o calor saia da edificação.

Destaca-se também que para a cidade do Rio de Janeiro a redução de calor observada entre a referência 1 e cenário1, e também o cenário 3, apresentam reduções no fluxo de calor muito próximas, na ordem de 50%, reforçando que a utilização do EMS permite aproximar o modelo simplificado do modelo com um ático.

A redução no fluxo de calor dos modelos avaliados vai ao encontro dos valores médios encontrados por Lee et al (2016), ficando entre 25 e 50%. Assim, os três cenários propostos permitem identificar a redução no fluxo de calor, mostrando a eficiência da estratégia.

Outro ponto avaliado foi a carga térmica dos ambientes, podendo identificar a redução na carga térmica quando comparadas as referências com os diferentes cenários, conforme apresentado na Figura 6.

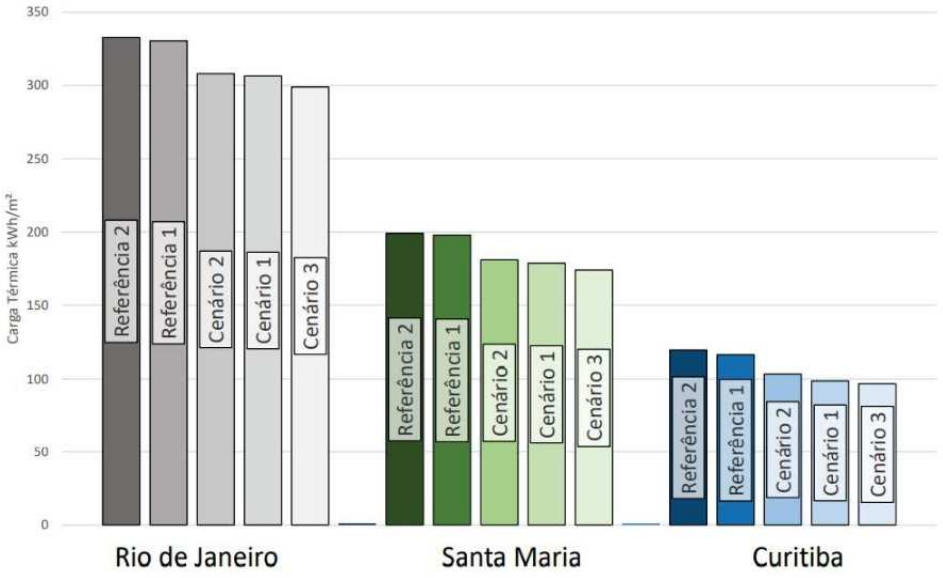


Figura 6– Carga térmica de cada cenário

Para todas as cidades, o cenário 3 apresentou a menor carga térmica, portanto a maior redução em relação as referências 1 e 2. Essa redução está correlacionada com a redução no fluxo de calor na cobertura, que também foi maior no cenário 3.

Para a cidade do Rio de Janeiro, o cenário 1 reduziu em 7,2% (23,9 kWh/m²) a carga térmica ao comparar com a referência 1 (mesma maneira de modelar). Já o cenário 2, apresentou uma redução de 7,4% (24.6 kWh/m²) em comparação com a referência 2. Por fim, o cenário 3 apresentou a maior redução de carga térmica, 10,2% (33.7 kWh/m²). As diferenças na redução da carga térmica entre os modelos não são significativas, porém para o clima do Rio de Janeiro, onde a temperatura tende a ser elevada durante o ano todo, é esperado pouca diferença entre os cenários.

Já em Santa Maria, onde há maior amplitude térmica durante o ano, observa-se que o cenário 1 reduz a carga térmica em 1,2% a mais que o cenário 2. Já para Curitiba, onde a amplitude térmica é ainda maior, o cenário 2 reduz a carga térmica em 13,6% em relação a referência 2, enquanto cenário 1 reduz a carga térmica em 15,6%, reduzindo 2% a mais do que o cenário 2, evidenciando a importância de considerar a diferença entre os fluxos de calor ascendente e descendente ao avaliar o desempenho de edificações com o uso de barreiras radiantes.

Portanto, é importante ressaltar que a modelagem interfere no resultado do dado de saída da simulação computacional. Destaca-se também a importância de comparar as reduções dos resultados das cargas térmicas entre modelos de mesma modelagem, onde fica evidente a eficiência das estratégias refletivas. Contudo, a utilização do *Energy Management System* permite que maiores reduções sejam obtidas, ficando mais próximo dos valores encontrados na literatura. Além disso, o *EnergyPlus* possui limitações nos cálculos dos coeficientes de convecção, como apontado por Fontanini et al. (2018). Assim, ao modelar o ático como uma zona térmica e utilizar barreiras radiantes ou isolantes refletivos, os resultados podem estar subestimados.

5. CONCLUSÕES

Na análise das temperaturas superficiais, observou-se que a modelagem da edificação no programa EnergyPlus influencia as temperaturas internas dos modelos. Portanto, ao adotar um modelo simplificado, é preciso levar em consideração a variação da resistência térmica da câmara de ar de acordo com o fluxo de calor (ascendente ou descendente). Assim, fica evidente a contribuição do uso do objeto *Energy Management System* (EMS) do programa EnergyPlus como parte da modelagem simplificada.

Com relação à avaliação do fluxo de calor, o cenário 2 (modelo simplificado que não considera a variação da resistência térmica) obteve as menores reduções no fluxo de calor, mostrando como o desempenho da edificação com o uso de barreira radiante pode ser subestimado. Além disso, os cenários 1 (modelado com o ático como zona térmica) e o cenário 3 (modelo simplificado mas com variação das resistências térmicas com uso do EMS) apresentaram resultados próximos, evidenciando que os modelos

simplificados utilizados, atualmente, não são suficientes para a análise de edificações com o uso de barreiras radiantes.

O mesmo comportamento foi observado na análise de redução de carga térmica, onde os cenários 1 e 3) obtiveram os resultados semelhantes, mostrando que o modelo com EMS permite aproximar os resultados da simulação de um modelo com ático, que representa um modelo mais próximo da realidade.

Portanto, foi possível observar a influência da modelagem nos resultados das simulações de edificações com a utilização de barreiras radiantes. Apesar de todas as formas de modelagem permitirem identificar reduções nas temperaturas superficiais, fluxo de calor e cargas térmicas, a forma de modelar simplificada apresentou as menores reduções nesses quesitos, subestimando o desempenho das edificações com o uso de barreiras radiantes. Contudo, O modelo com a utilização do objeto Energy Management System (EMS), permitiu atingir reduções mais significativas, aproximando os resultados do modelo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220 Desempenho térmico em edificações.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NROMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575 Edificações Habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro 2021.

DYLEWSKI, R.; ADAMCZYK, J. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls. **Building and Environment**, [s. l.], v. 46, n. 12, p. 2615–2623, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.023>

FERREIRA, M.; CORVACHO, H. The effect of the use of radiant barriers in building roofs on summer comfort conditions – A case study. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 176, p. 163–178, 2018.

FONTANINI, A. D. et al. Predicting the performance of radiant technologies in attics: Reducing the discrepancies between attic specific and whole-building energy models. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 169, p. 69–83, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.054>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Track Buildings 2020.** Disponível em: https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020.

LEE, S. W.; LIM, C. H.; SALLEH, E. @. I. Bin. Reflective thermal insulation systems in building: A review on radiant barrier and reflective insulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 65, p. 643–661, 2016.

MEDINA, M. A. On the performance of radiant barriers in combination with different attic insulation levels. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 31–40, 2000.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Theoretical/experimental comparison of heat flux reduction in roofs achieved through the use of reflective thermal insulators. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 438–444, 2008. a.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 445–451, 2008. b.

M. KOTTEK, J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF, F. RUBEL, World map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorol. Zeitschrift. 15 (2006) 259–263. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130.

PARKER, D. S.; SHERWIN, J. R. Influence of Attic Radiant Barrier Systems on Air Conditioning Demand in an Utility Pilot Project. **Proceedings of the thirteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates**, [s. l.], 2002.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 272–278, 2009. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877880800220X>. Acesso em: 29 maio. 2013.

REFLECTIVE INSULATION MANUFACTURERS ASSOCIATION INTERNATIONAL (RIMA-I). Understanding and using reflective insulation, Radiant Barriers Radiat. Control Coat. (2014)

SABER, H. H.; MAREF, W.; HAJIAH, A. E. Hygrothermal performance of cool roofs subjected to Saudi climates. **Frontiers in Energy Research**, [s. l.], v. 7, n. APR, p. 1–24, 2019.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of Representative Building Typologies for Social Housing Projects in Brazil and its Energy Performance. **Energy Policy,** 87 p 524 - 541, 2015.

US NOAA, Integrated Surface Database, (2018). http://climate.onebuilding.org/.

YAM, K. W. et al. Reflective insulation assemblies for above-ceiling applications. **Journal of Building Physics**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 272–283, 2020.