

## SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA DO USO DE TELHADOS FRIOS EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

**Paim M.P.\*, Marinoski D.L.\*\*, Guths S.\*\*\***

\* Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua João Pio Duarte Silva, Florianópolis, 88040-900, (Santa Catarina) Brasil, [paims.milena@gmail.com](mailto:paims.milena@gmail.com)

\*\* Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua João Pio Duarte Silva, Florianópolis, 88040-900, (Santa Catarina) Brasil, [deivis.marinoski@ufsc.br](mailto:deivis.marinoski@ufsc.br)

\*\*\* Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua João Pio Duarte Silva, Florianópolis, 88040-900, (Santa Catarina) Brasil, [saulo.guths@gmail.com](mailto:saulo.guths@gmail.com)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.2131>

### RESUMO

O uso de telhados frios é uma estratégia passiva para reduzir a carga de resfriamento das edificações e sua utilização tem potencial de mitigar o fenômeno Ilha de Calor. Este trabalho objetiva analisar o desempenho termoenergético e a viabilidade econômica do uso de telhados frios em uma edificação unifamiliar, localizada no Rio de Janeiro – Brasil. Foram selecionados dois tipos de telhas, de fibrocimento e de cerâmica, ambos foram analisados na cor natural e na cor branca. Foi realizada a medição da refletância solar e da emitância térmica, bem como o cálculo do Índice de Refletância Solar. A análise termoenergética foi realizada por meio do software EnergyPlus. A análise econômica foi realizada através dos indicadores financeiros: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e payback. O telhado frio de fibrocimento reduziu em até 60% o ganho de calor na cobertura e o telhado frio de cerâmica reduziu até 55%. A análise econômica mostrou-se viável para o cenário proposto com um payback inferior a 5 anos para as telhas de fibrocimento e inferior a 13 anos para as telhas cerâmicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Telhado Frio, Refletância Solar, Emitância Térmica, Análise Econômica

### ABSTRACT

The use of cool roofs is a passive strategy to reduce the cooling load on buildings and its use has the potential to mitigate the Heat Island phenomenon. This work aims to analyze the thermoenergetic performance and economic viability of using cool roofs in a single family building, located in Rio de Janeiro - Brazil. Two types of tiles, fiber cement and ceramic, were selected, both were analyzed in color natural and white. The measurement of solar reflectance and thermal emittance was performed, as well as the calculation of the Solar Reflectance Index. Thermoenergetic analysis was performed using the EnergyPlus software. The economic analysis was carried out using the financial indicators: Net Present Value, Internal Rate of Return and payback. The cool fiber cement roof reduced the heat gain in the roof by up to 60% and the cold ceramic roof reduced up to 55%. The economic analysis proved to be viable for the proposed scenario with a payback of less than 5 years for fiber cement tiles and less than 13 years for ceramic tiles.

**KEYWORDS:** Cool Roof, Solar Reflectance, Thermal Emittance, Economic Analysis

## INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica nas edificações tem aumentado na última década devido ao crescimento da população, ao maior tempo gasto em ambientes fechados, ao aumento da demanda por funções de construção e qualidade ambiental interna e às mudanças climáticas globais (Cao et al., 2016).

O consumo de energia elétrica para resfriar ambientes internos mostra uma tendência de crescimento, sendo uma preocupação primordial não apenas para países que são caracterizados por condições climáticas quentes, mas também para as cidades que sofrem com o fenômeno ilha de calor, devido ao aumento das temperaturas urbanas associadas a esse fenômeno (Synnefa et al., 2017).

De acordo com o Balanço Energético Nacional do Brasil de 2017 (BEN), o consumo final de energia elétrica para os setores residencial, comercial e público correspondem a 51% do total e são identificados como a principal demanda de eletricidade do país (EPE, 2017a). Esse consumo continuará crescendo principalmente para atender a demanda por condicionador de ar, que por conta da ampliação do seu acesso pelas famílias, será o principal responsável pelo consumo de energia elétrica nos domicílios na projeção até 2026 no Brasil (EPE, 2017b).

Nesse cenário entram os telhados frios, que são compostos por materiais caracterizados por apresentarem alta refletância solar e alta emitância térmica (Santamouris, 2014). Devido a essas características, esses materiais têm a capacidade de reduzir a necessidade de energia de resfriamento em edifícios condicionados e melhorar as condições de conforto térmico em edifícios não condicionados (Akbari et al., 2005). Além disso, os telhados frios contribuem para a melhoria do microclima urbano, diminuindo a intensidade do fenômeno ilha de calor (Pisello, 2016).

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma avaliação termoenergética e econômica do uso de telhados frios em uma residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro – Brasil.

O tema de telhados frios, tratado no presente estudo, é de grande relevância para o tema de eficiência energética em edificações. Ressalta-se que para se chegar a edifícios com energia líquida zero (NZEB) a eficiência energética nas edificações precisa ser muito bem trabalhada conjuntamente com a geração distribuída através de energias renováveis para um desenvolvimento sustentável das comunidades.

## DESCRIÇÃO DO MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas principais: seleção das telhas; medição da emitância térmica e refletância solar; cálculo do Índice de Refletância Solar (SRI); simulação termoenergética das telhas em uma edificação unifamiliar e análise econômica do uso dos telhados frios.

### Seleção das telhas

Foram analisados dois diferentes materiais de telhas: telha de cerâmica e telha de fibrocimento. Os dois tipos de telhas foram analisados nas cores naturais de cada telha, representando os telhados convencionais, e as telhas na cor branca, representando os telhados frios.

A escolha dos tipos de telhas foi baseada no estudo da SBK Business citado por Silva e Etulain (2010). Segundo o estudo as telhas de fibrocimento representam 54% das coberturas residenciais do mercado brasileiro e as telhas cerâmicas representam 43%. A seleção desses dois tipos de telhas representam então 97% das coberturas residenciais no Brasil.

### Medição da emitância térmica e da refletância solar

Foram realizadas medições da emitância térmica e da refletância solar nos quatro tipos de telhas analisadas (telha de cerâmica cor natural e cor branca, telha de fibrocimento cor natural e cor branca). A medição da emitância foi realizada com o uso de um emissômetro, fabricado pela empresa Devices and Services Company – D&S, modelo AE1. O procedimento de medição foi executado segundo as recomendações da Norma ASTM C1371-15 (ASTM, 2015). Para obter a refletância solar das telhas, foi realizada a medição da refletância espectral utilizando um espectrofotômetro fabricado pela empresa PerkinElmer, modelo Lambda 1050, segundo as recomendações da norma ASTM E903-12 (ASTM, 2012), cobrindo uma faixa espectral de 300 nm a 2500 nm.

### Índice de Refletância Solar (SRI)

Com a emitância térmica e a refletância solar obtidas através das medições, foi calculado o Índice de Refletância Solar (SRI) de cada telha através da Norma ASTM E1980-11 (ASTM, 2011). Esse índice indica a capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar e de dissipar o calor, tomando como base a temperatura de um padrão negro e um padrão branco. O SRI pode variar de 0 a 100, sendo que 0 representa o padrão negro e 100 o padrão branco.

### Simulação termoenergética

Para estimar o efeito da utilização de telhados frios, a simulação termoenergética das telhas foi avaliada por meio de simulação computacional através do software EnergyPlus, versão 9.0.1, onde modelou-se o efeito da cobertura em uma residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro - Brasil. A simulação foi executada para um período anual, considerando o arquivo climático Typical Meteorological Year (TMY).

O modelo da construção simulado foi baseado em um projeto padrão de habitação popular unifamiliar desenvolvido pela CAIXA Econômica Federal (Caixa, 2007). A edificação é composta por uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada (APPs): uma sala e dois dormitórios, totalizando 42 m<sup>2</sup>. Cada ambiente da edificação foi considerado como uma zona térmica no EnergyPlus. A cobertura é constituída por um ático não ventilado, que também foi simulado como uma zona térmica, trocando calor com o interior da edificação através do forro. As cargas internas de iluminação, ocupação e equipamentos estão descritas no estudo de Silva (2019).

As propriedades dos materiais construtivos da edificação foram baseadas no Anexo B da ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Com base no projeto padrão de habitação popular unifamiliar da CAIXA (2007), foram adotados como parâmetros construtivos:

- Um pavimento em contato direto com o solo, possui forma retangular e pé-direito de 2,60 m;
- Paredes com espessura de 14 cm, compostas por bloco de concreto furado de 9x19x39 cm, com revestimento interno e externo: transmitância de 2,78 W/m<sup>2</sup>.K, capacidade térmica de 209,0 kJ/m<sup>2</sup>.K e absorptância solar das paredes externas de 0,34, referente à tinta acrílica semibrilho na cor marfim (Dornelles, 2008);
- Cobertura com duas águas e beiral de 50 cm. Foram consideradas as quatro telhas selecionadas e o forro foi considerado de policloreto de vinila (PVC). A cobertura em duas águas possui uma face voltada para o leste, cobertura dos dormitórios, e uma face voltada para oeste, cobertura da sala, cozinha e banheiro;
- Janelas de correr com duas folhas (sem proteção) na sala, cozinha e dormitórios, com área de 1,2 m<sup>2</sup>; janela de 0,48 m<sup>2</sup> no banheiro;
- Vidro comum e incolor, de 3 mm de espessura.

Os parâmetros considerados na avaliação do desempenho térmico da cobertura da edificação foram: temperatura interna da edificação, temperatura externa na superfície da cobertura, taxa de transferência de calor por radiação solar, taxa de transferência de calor por radiação térmica, taxa de transferência de calor por convecção natural e taxa de transferência de calor por condução.

Foi avaliado quanto custaria para o telhado convencional proporcionar a mesma condição térmica interna que o telhado frio, com o auxílio de um sistema de ar-condicionado. Para isso foram realizadas três simulações computacionais para cada tipo de telha. Na primeira simulação foi considerada a edificação com a telha na sua cor natural, e na segunda simulação, a mesma edificação diferenciando somente a cor da telha, nesse caso considerou-se a telha na cor branca. Espera-se que a temperatura interna, quando se utiliza o telhado frio (telhas brancas), seja inferior à temperatura interna de quando se utiliza o telhado convencional (telhas nas cores naturais), gerando com isso uma diferença de temperatura ( $\Delta T$ ). A terceira simulação consiste em analisar o consumo de energia se o telhado com as telhas na cor natural proporcionasse as mesmas temperaturas internas de quando se utiliza o telhado frio. Ou seja, a terceira simulação tem o objetivo de obter a carga térmica necessária para suprir a diferença de temperatura interna ( $\Delta T$ ) causada pela utilização das diferentes absorptâncias do telhado. Para isso, foi simulado o telhado com as telhas na cor natural colocando ar-condicionado nos ambientes de permanência prolongada com um ajuste de temperatura de hora em hora ao longo de um ano, a fim de que o perfil de temperatura neste caso fosse igual à curva de temperatura interna utilizando o telhado frio (resultante da simulação com o telhado frio, simulação 2). Logo, a terceira simulação representa o consumo de energia elétrica para uma edificação com telhas naturais apresentar as mesmas temperaturas internas de uma edificação com telhado frio, e os resultados dessa terceira simulação foram analisados na análise econômica.

As duas primeiras simulações consideraram a edificação como sendo ventilada naturalmente a fim de simular uma edificação o mais realista possível. A consideração do sistema de condicionamento artificial na modelagem foi feita a partir da adoção do grupo de objetos Ideal Loads Air System no EnergyPlus. Como resultado da simulação, foram obtidas as cargas térmicas. Para transformar as cargas térmicas em consumo de energia elétrica foi utilizado um COP de 3.

### Análise Econômica

A análise econômica torna-se necessária, uma vez que as telhas na cor branca possuem preço superior às telhas naturais. Foram utilizados três indicadores financeiros para realizar a viabilidade econômica, sendo eles: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (payback descontado). Para calcular os três indicadores financeiros, foi utilizado um fluxo de caixa utilizando os seguintes dados:

- Investimento inicial: o levantamento de preço foi baseado na planilha do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) de maio de 2019 para o Rio de Janeiro (Caixa, 2019). No entanto, a planilha considera os valores das telhas nas cores naturais. O custo das telhas de fibrocimento branco foi considerado 30% superior à telha de fibrocimento natural, de acordo com o fornecedor. E em relação ao custo das telhas cerâmicas brancas, foi adicionado um valor de US\$ 0.40 (equivalente a dois reais, considerando o dólar a cinco reais), por telha, em relação ao preço da telha cerâmica natural, baseado na pesquisa de mercado realizada;

- Economia de energia elétrica: a economia considerada foi os valores da transformação das cargas térmicas, resultantes da terceira simulação, para consumo de energia elétrica. Tem o objetivo de analisar quanto o consumidor, com um telhado convencional, pagaria para obter as mesmas temperaturas internas se utilizasse o telhado frio;
- Custo de energia elétrica: a tarifa de energia foi considerada a vigente da distribuidora do Rio de Janeiro para o ano de 2019 (Light, 2019a);
- Taxa de juros (TMA): foi considerada em base à Taxa SELIC de julho de 2019, com um valor de 6,5% ao ano (Banco Central do Brasil, 2019);
- Taxa de reajuste anual da tarifa de energia elétrica: média das revisões e reajustes tarifários, de 2012 a 2019, resultando em 9,02% (Light, 2019b);
- Vida útil da cobertura: foram considerados 20 anos segundo as recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2005);
- Manutenção (limpeza) da cobertura: Como o telhado frio precisa de manutenção periódica para manter suas principais características, considerou-se um custo anual de manutenção (limpeza dos telhados frios) e foi aplicada uma taxa de juros para corrigir esse valor no tempo. Esta taxa foi considerada a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) (IBGE, 2019). Buscou-se a série histórica do INPC de 2012 a 2018, e o valor utilizado para a análise econômica foi a média desses 7 anos, resultando em 5,91% ao ano (IBGE, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados provenientes das medições, dos cálculos realizados, das simulações computacionais para cada tipo telha e a análise econômica da utilização dos telhados frios.

### Emitância Térmica e Refletância Solar

A Figura 1 apresenta os índices obtidos para a emitância térmica das telhas analisadas. A pouca variação dos índices de emitância térmica das telhas por tipo e a maior variação das emitâncias térmicas entre as telhas de fibrocimento e as telhas cerâmicas, confirma que a emitância térmica não está relacionada com a cor das telhas, mas sim com as propriedades térmicas de cada tipo de telha.

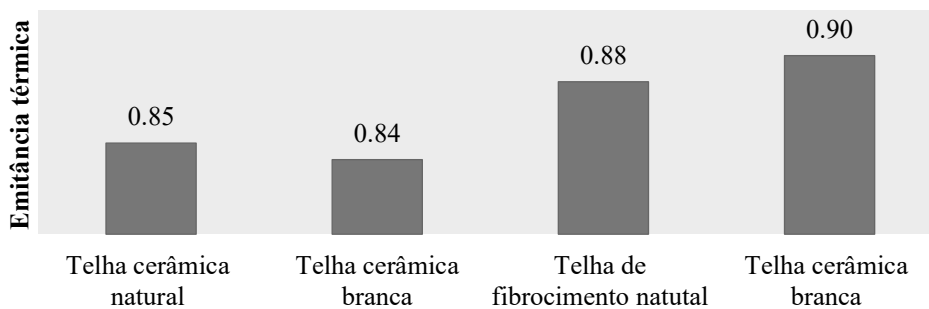


Fig. 1. Emitância térmica das telhas

A Figura 2 apresenta a variação da refletância espectral em função do comprimento de onda. A refletância solar é a integral da curva da refletância espectral, resultante de todo o espectro, e ajustada ao espectro solar padrão. A telha de fibrocimento branca apresenta uma refletância espectral superior a da telha de fibrocimento natural em todo o espectro. Já a telha cerâmica branca apresenta uma refletância espectral superior a da telha cerâmica natural em todo o espectro, com uma diferença maior na parcela do visível e uma diferença menor no infravermelho próximo. Integrando as curvas de refletância espectral obtêm-se os índices de refletância solar. A telha de fibrocimento branca apresentou refletância solar de 0,75, ou seja, 50,7% superior à telha de fibrocimento natural que apresentou um valor de refletância 0,37. Em relação às telhas cerâmicas, a telha branca resultou em uma refletância solar de 0,78, ou seja, 37,2% superior à telha natural que apresentou um valor de refletância 0,49.

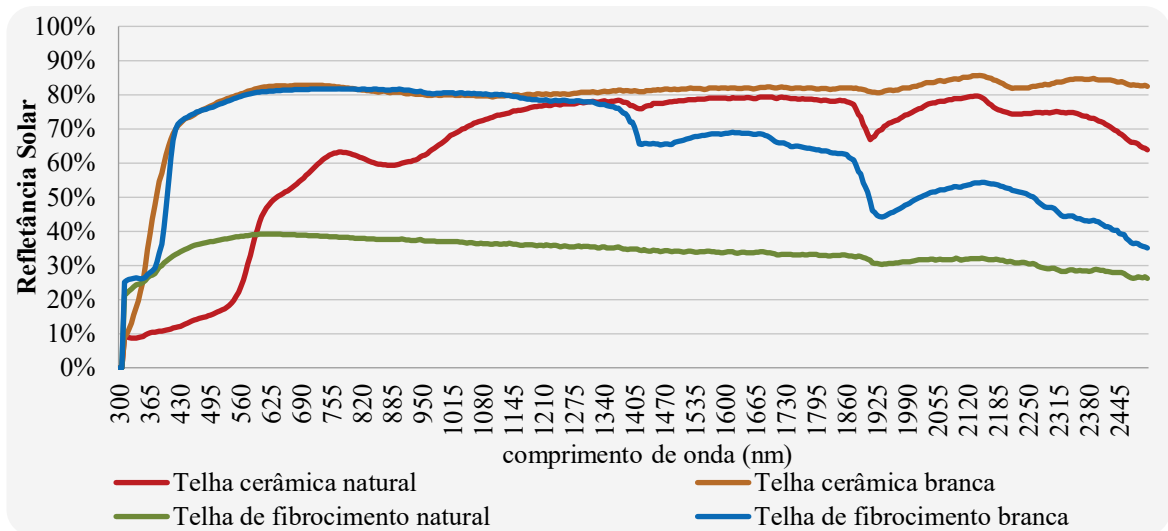


Fig. 2. Refletância espectral das telhas

### Índice de Refletância Solar (SRI)

A determinação do SRI é uma forma de quantificar o comportamento da superfície do material perante a incidência da radiação solar. Sua determinação para os revestimentos é critério fundamental na avaliação do desempenho térmico para diferentes tipologias, e o quanto cada uma contribui para mitigar o fenômeno ilha de calor. O índice de Refletância Solar, que pondera a emitância térmica e refletância solar, resultou em um SRI de 40 para a telha de fibrocimento natural e de 93 para a telha de fibrocimento branca. Para as telhas cerâmicas, o SRI resultou em 56 para a telha natural e 96 para a telha branca. Esses valores de SRI são referentes ao coeficiente de confecção médio. Analisando os resultados do SRI das telhas, conclui-se que as telhas brancas, tanto de fibrocimento quanto de cerâmica, tem uma contribuição significativa para mitigar o fenômeno ilha de calor, por resultarem em valores de SRI próximos a 100.

### Simulação Termoenergética

Nesta subseção são apresentados os resultados provenientes da simulação computacional utilizando o software EnergyPlus. As temperaturas internas quando se considera o telhado frio resulta em temperaturas menores em relação ao telhado convencional, para os dois tipos de telhas. Isso é devido ao fato de que o SRI, e conseqüentemente o índice de refletância solar, das telhas brancas serem superiores ao das telhas naturais. Por essa razão, quando se compara as máximas temperaturas internas utilizando as duas refletâncias solar das telhas, os telhados frios resultam em temperaturas de 3,4°C e 2,6°C, menores quando comparados aos telhados convencionais, analisando as telhas de fibrocimento e as telhas cerâmicas respectivamente (Tabela 1).

O telhado de fibrocimento convencional com um SRI de 40 resultou em uma temperatura da superfície da cobertura de 71,2°C, enquanto que o telhado frio com um SRI de 93 resultou em uma temperatura da superfície de 49,2°C, uma diferença de 22°C, quando se analisa os valores máximos. Em relação à cobertura com telhas cerâmicas, o telhado cerâmico convencional com um SRI de 56 resultou em uma temperatura da superfície da cobertura de 64,7°C, enquanto que o telhado frio com um SRI de 96 resultou em uma temperatura da superfície de 47,7°C, uma diferença de 17°C, quando se analisa os valores máximos. Isso porque as refletâncias solar dos telhados frios são superiores aos dos telhados convencionais. Então, como os telhados frios refletem mais radiação solar (ondas curtas) do que os telhados convencionais, os telhados frios resultam em temperatura da superfície menores. Conseqüentemente, a taxa de transferência de calor por condução da cobertura para o interior da edificação é menor quando se considera o telhado frio.

Como as refletâncias solar dos telhados frios são superiores aos telhados convencionais, a taxa de transferência de calor por condução da cobertura para o interior da edificação é menor utilizando o telhado frio, resultando em menores temperaturas internas, como pode ser observado na Tabela 1. Considerando as telhas de fibrocimento, o telhado frio reduz em até 60% a transferência de calor, para a edificação, por condução através da cobertura, e para as telhas cerâmicas o telhado frio reduz em até 55%.

Baseado nos valores das simulações computacionais (Tabela 1) e no estudo de transferência de calor de coberturas pode-se dizer que: quando a radiação solar incidente atinge a superfície de um revestimento refletivo (telhado frio), grande parte da radiação solar (ondas curtas) é refletida para o ambiente (céu e entorno), reduzindo assim o aquecimento da cobertura e resultando em temperaturas menores da superfície em relação ao telhado convencional. A parte do calor que é absorvido pela superfície da cobertura tem uma parcela devolvida para o céu, na forma de

radiação térmica (infravermelha), aumentando ainda mais o resfriamento da cobertura. Como o telhado frio tem uma temperatura menor, as trocas de calor por convecção e radiação foram menos intensas, quando comparado com o telhado convencional. Assim, este fato contribui para diminuir a temperatura do ar ambiente, ou seja, gera uma contribuição para mitigar o fenômeno ilha de calor, e conseqüentemente, uma quantidade menor de calor adentra na edificação, melhorando o desempenho térmico e energético das edificações. Toda essa discussão é comprovada com os valores de cada parâmetro analisado na Tabela 1.

As temperaturas internas apresentadas na Tabela 1 são referentes a um dormitório. Optou-se por apresentar a temperatura interna de somente um dos ambientes de permanência prolongada tendo em vista que os resultados obtidos nos outros cômodos avaliados foram muito próximos deste valor. Outro ponto a ser esclarecido é a face da cobertura escolhida para apresentar os resultados, a Tabela 1 apresentou os valores da cobertura leste, essa orientação foi escolhida em virtude de ser a cobertura dos dormitórios. Todos os valores apresentados referem-se aos máximos anuais, e as análises foram realizadas durante 24 horas, não somente nos horários de ocupação.

Tabela 1. Desempenho térmico das telhas (valores máximos anuais)

Parâmetros	Telhas de fibrocimento		Telhas cerâmicas	
	Telhado convencional	Telhado frio	Telhado convencional	Telhado frio
Temperatura interna (°C)	38.2	34.8	37.2	34.6
Temperatura da cobertura - leste (°C)	71.2	49.2	64.7	47.7
Ganho de calor da cobertura por radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	675	264	538	232
Perda de calor da cobertura por radiação térmica (W/m <sup>2</sup> )	311	139	245	118
Taxa de transferência de calor por convecção natural da superfície da cobertura para o ambiente externo (W/m <sup>2</sup> )	283	99	233	92
Taxa de transferência de calor por condução que adentra a edificação através da cobertura (W/m <sup>2</sup> )	149	60	128	58

### Análise Econômica

O custo total da cobertura de 60 m<sup>2</sup> com o telhado convencional de fibrocimento resultou em US\$ 1572.83 (R\$ 7.864,16), enquanto o telhado frio resultou em US\$ 1686.20 (R\$ 8.431,01). Uma diferença de US\$ 113.37 (R\$ 566,85). O telhado cerâmico convencional resultou em US\$ 2132.29 (R\$ 10.661,45), enquanto o telhado frio resultou em US\$ 2570.00 (R\$ 12.850,01). Uma diferença de US\$ 437.73 (R\$ 2.188,65). Além do preço de todos os materiais e mão de obra, levou-se em conta o valor de manutenção anual do telhado.

Com o passar do tempo de exposição do telhado branco ao meio, este vai envelhecendo e perdendo parte da sua refletância solar. No entanto, autores como Bretz e Akbari (1997) e Pereira (2014) afirmam que, quando o telhado frio é submetido a processos de limpeza, sua refletância pode ser restaurada em quase 100% da sua refletância original. Em vista disso, buscou-se o levantamento de preço da manutenção (limpeza) do telhado frio. O valor adotado para a manutenção foi de US\$ 2.00 (R\$ 10,00) para cada m<sup>2</sup> de telhado.

A Tabela 2 apresenta os indicadores financeiros calculados para o cenário considerado. Baseado nesses indicadores o investimento nos telhados frios de fibrocimento e de cerâmica mostraram-se viáveis por resultar em um valor positivo de VPL; a TIR resultante foi maior do que a TMA considerada e o payback foi considerado aceitável uma vez que a vida útil da cobertura foi considerada 20 anos.

Tabela 2. Indicadores financeiros

	VPL	TIR (a.a.)	Payback
<b>Telhas de fibrocimento</b>	US\$ 1712.43 R\$ 8.562,17	42%	4 anos e 3 meses
<b>Telhas cerâmicas</b>	US\$ 803.87 R\$ 4.019,33	15%	12 anos e 5 meses

Nota: Dados para uma residência unifamiliar de 42m<sup>2</sup>, localizada na cidade do Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Foi considerado R\$ 5,00 o dólar, para todos os cálculos.

## COMENTÁRIOS FINAIS

A pesquisa foi desenvolvida com o intuito de verificar a influência de telhados frios (alta refletância solar e alta emitância térmica) no desempenho termoenergético de uma edificação unifamiliar térrea, de 42m<sup>2</sup>, localizada na cidade do Rio de Janeiro - Brasil, bem como verificar sua viabilidade econômica.

Os valores da emitância térmica foram muito semelhantes para as duas cores das telhas de fibrocimento e para as duas telhas de cerâmica. A refletância solar da telha de fibrocimento branca resultou em um valor 50,7% superior à telha de fibrocimento natural, enquanto a refletância solar da telha branca resultou em um valor 37,2% superior à telha cerâmica natural. O SRI das telhas brancas, de fibrocimento e cerâmica, tem maior contribuição para mitigar o fenômeno ilha de calor, tendo em vista seu elevado valor. Em relação ao desempenho térmico, destaca-se o fato de que o telhado frio diminui em até 60% o ganho de calor por condução da cobertura para o interior da edificação quando se considera as telhas de fibrocimento e em 55% no caso de telhas cerâmicas.

A decisão de implementar medidas que sejam diferentes das comumente utilizadas por projetistas está baseada em aspectos econômicos. Por este motivo, o presente estudo incorporou uma análise econômica, para verificar se a implementação de um telhado frio seria viável economicamente. A implementação do telhado frio mostrou-se viável para as telhas de fibrocimento e para as telhas cerâmicas no cenário proposto, uma vez que a vida útil dos telhados é de 20 anos. O payback das telhas de fibrocimento foi de menos de 5 anos e para as telhas cerâmicas menos de 13 anos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros concedidos.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2 (2005) – Desempenho térmico de edificações. Parte 2. Rio de Janeiro.

Akbari, H., Levinson, R., Miller, W., BERDAHL, P. (2005) Cool colored roofs to save energy and improve air quality. *In: International Conference on Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment*, Santorini, Grécia. p. 89-100.

ASTM – American Society for Testing And Materials. (2015) C1371-15: Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers. ASTM International, 2015.

ASTM – American Society for Testing And Materials. (2012) E903-12: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International.

ASTM – American Society for Testing And Materials. (2011) E1980-01: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa Selic. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 07 de jun. 2019.

BRETZ, S.E.; AKBARI, H. (1997) Long-term performance of high-albedo roof coatings. *Energy and Buildings*, v. 25, p. 159-167.

CAIXA. (2007) Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares| 42m<sup>2</sup>.

CAIXA. (2019) SINAPI\_ref\_Insumos\_Composicoes\_RJ\_052019\_ Nao Desonerado. 2019. Disponível em: [http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_656](http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_656). Acesso em: 20 mai. 2019.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. (2016) Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, v. 128, p. 198-213.

DORNELLES, K. A. (2008) Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e 96 PVA. *Tese* (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). (2017a) Balanço Energético Nacional, Ano Base 2016. Brasília: EPE.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). (2017b) Plano Decenal de Expansão de Energia 2026/ Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2019) Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) – Série Histórica 2012 a 2020. Rio de Janeiro.
- LIGHT. (2019a) Composição da Tarifa. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: [http://www.light.com.br/ para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx](http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx). Acesso em: 02 jun. 2019.
- LIGHT. (2019b) Histórico do Efeito Médio Percebido. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/historico.aspx>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- PEREIRA, C. D. (2014) Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis.*
- Pisello, A.L., Castaldo, V.L., Pignatta, G., Cotana, F., Santamouris, M. (2016) Experimental in-lab and in-field analysis of waterproof membranes for cool roof application and urban heat island Mitigation. *Energy and Buildings*, v. 114: p. 180 - 190.
- Santamouris, M. (2014) Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, v. 103: p. 682 - 703.
- SILVA, M. P. (2019) Simulação termoenergética e análise econômica do uso de telhados de alta refletância solar em uma residência unifamiliar. *Dissertação – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.*
- SILVA, A.L.G.; ETULAIN, C. (2010) Avaliação do Impacto Econômico da Proibição do Uso do Amianto na Construção Civil no Brasil - Convênio de Cooperação Técnica 4416 – ABIFibro/Unicamp – Relatório Final de Pesquisa.
- Synnefa, A., Santamouris, M., Akbari, H. (2017) Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, v. 39: p. 1167-1174.