DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO PET

Ivan Julio Apolonio Callejas (1); Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (2); Luciane Cleonice Durante (3); Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (4)

(1) Doutor, Engenheiro Civil, ivancallejas1973@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá-MT, 78060-900, (65) 3615-8774

(2) Doutoranda, Arquiteta e Urbanista, emeliguarda@gmail.com, Universidade de Santa Catarina, R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, s/n, Trindade, Florianópolis-SC, 88040-900, (48) 3721-7080

(3) Doutora, Engenheira Civil, luciane.durante@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá-MT, 78060-900, (65) 3615-8774

(4) Doutora, Arquiteta e Urbanista, karyna.rosseti@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando da Costa, nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá-MT, 78060-900, (65) 3615-8774

RESUMO

As embalagens e garrafas são responsáveis pela geração de uma grande quantidade de resíduos na cadeia produtiva do Polietileno Tereftalato (PET). A Indústria da Construção Civil, preocupada com a sustentabilidade urbana, tem indicado a viabilidade de reciclagem desse polímero como insumo para a produção de artefatos de concreto. O objetivo deste trabalho é investigar o desempenho térmico de telhas de concreto fabricadas por extrusão, com substituição parcial de agregado miúdo (areia natural) por resíduos de PET, comparando-as com telhas de referência (sem a substituição). Foram realizadas as seguintes etapas metodológicas para amostras de telhas de referência (sem PET) e com PET: definição do traço para fabricação de telhas, avaliação das propriedades físicas de absortância, emissividade e condutividade térmica, e medição do comportamento térmico das telhas em condição *in situ*. O PET apresentou pouca interferência nas propriedades físicas de absortância e emissividade das telhas, mantendo-as dentro dos limites normativos. As telhas com PET, devido ao maior calor específico, resultaram em um maior isolamento e armazenamento de energia, ou seja, uma maior retenção do calor dentro dos ambientes, gerando maior consumo energético para refrigeração durante o período noturno. Portanto, a sua instalação deve ocorrer preferencialmente em edificações com uso diurno.

Palavras-chave: Sistema de cobertura, resíduos sólidos, sustentabilidade urbana.

ABSTRACT

Packaging and bottles are responsible for generating a large amount of waste in the Polyethylene Terephthalate (PET) production chain. The Civil Construction Industry, concerned with urban sustainability, has indicated the recycling viability of this polymer, as an input for production of concrete artifacts. This work aims to investigate the thermal performance of concrete tiles manufactured by extrusion with partial replacement of fine aggregate (natural sand) by polyethylene terephthalate (PET) residues, comparing them with reference tiles (without replacement). The following methodological steps were taken for Sample of reference tiles (without PET) and ecological with PET: definition of the mix for manufacturing tiles, evaluation of the physical properties of absorptance, emissivity and thermal conductivity; and, measurement of the thermal behavior of the tiles in in situ condition. The insertion of PET had little effect on the physical properties of absorbance and emissivity of the tiles, keeping them within the normative limits. The tiles with PET, due to the higher specific heat, result in greater insulation and energy storage, that is, greater retention of heat within environments, generating greater energy consumption for driving during the night. Therefore, its installation should preferably take place in buildings with daytime use.

Keywords: Roofing system, solid waste, urban sustainability.

1. INTRODUÇÃO

As telhas são componentes construtivos usados externamente nos sistemas de cobertura (SC) das edificações com intuito de assegurar estanqueidade às fontes de umidades externas. Em decorrência da sua posição, realizam trocas térmicas com o ambiente externo, influenciando no desempenho termoenergético do edifício. Assim, devem apresentar adequadas propriedades físicas e térmicas, com vistas a proporcionar adequada vida útil, bem como, condições de habitabilidade e de higiene ao ambiente construído (ABNT, 2021).

Entre as várias tipologias de telhas para o SC, a telha de concreto (TC) é amplamente utilizada, em virtude de sua capacidade de atendimento aos requisitos acima descritos. Caracteriza-se por ser um componente com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adições, fornecido na cor natural ou colorido pela adição de pigmento (ABNT, 2009). Devido as características físicas das telhas e reológicas do concreto usado em sua fabricação, esse componente se apresenta com potencial para receber insumos de processos de reciclagem. A reciclagem proporciona vários benefícios, com reflexo na redução no consumo de recursos naturais não renováveis (BRASIL, 2002), corroborandopara assegurar padrões de produção e de consumo mais sustentáveis, alinhados com a Agenda 2030 (ONU, 2015), em especial com a ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), a ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e a ODS 13 (Combate às Alterações Climáticas) (ONU, 2015).

Algumas pesquisas têm voltado o seu enfoque para a incorporação de resíduos nas misturas destinadas a confecção das TC, visando não só aperfeiçoar a suas propriedades físicas e mecânicas, mas, também, produzir materiais mais sustentáveis, que reduzam a quantidade de resíduos sólidos gerados. No Brasil, entre os considerados para a produção das TCs, tem-se os provenientes de resíduos de borracha moída de pneus (CINTRA, 2008), de resíduo de construção civil (RCC) (CINTRA, 2008; MENDONÇA et al., 2010), de materiais com características isolantes (vermiculita, poliestireno e aditivo incorporador de ar) (DAMASCENO et al., 2015), de poliestireno expandido - EPS (MULLER et al., 2016; CARVALHO, 2019), de fibra obtida do bagaço de cana-de-açúcar (VILPERT, 2016), de mármore proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais (FERNANDES et al., 2017), de gesso (LIMA et al., 2019) e de rejeitos de minério de ferro (EUGÊNIO et al., 2021). Usualmente, o enfoque destas pesquisas se volta para a análise do desempenho físico e mecânico, com poucas investigando o comportamento térmico das TCs (EUGÊNIO et al., 2021; MENDONÇA et al., 2010; DAMASCENO et al., 2015), especialmente em condição de uso.

Entre os resíduos sólidos gerados em abundância nas cidades, o polímero termoplástico PET (Polietileno Tereftalato) apresenta elevado potencial para ser reciclado, uma vez que possui alta transparência, baixa densidade, estabilidade dimensional ao manuseio, excelente resistência mecânica e química, capacidade de suportar a ação de agentes agressores, além de apresentar baixa permeabilidade à passagem de gases e odores (NAVARRO et al., 2008). Apesar da possibilidade de o PET se degradar dentro das matrizes cimentícias devido ao seu contato com o meio alcalino (BETIOLI, 2003), isso não impede a sua utilização, desde que as características físicas e mecânicas sejam mantidas. Na prática, os vazios deixados dentro da matriz podem ser benéficos, aperfeiçoando as características térmicas, pois reduzem o transporte de calor. Assim, esta pesquisa analisa o comportamento térmico de TCs com incorporação de PET, visando demonstrar a viabilidade técnica de reutilização desse resíduo sólido na cadeia produtiva da construção civil.

2. OBJETIVO

Este trabalho objetiva investigar o desempenho térmico de telhas de concreto fabricadas por extrusão com substituição parcial de agregado miúdo (areia natural) por resíduos de polietileno tereftalato (PET).

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Definição dos traços para a produção das Telhas de Concreto (TCs)

A proporção de cimento e areia do material para a produção das TCs de referência, se baseou em Fernandes (2012), selecionando-se o traço de 1:3 (cimento:areia) em massa, com fator água/ cimento=0,3. Para as TCs de PET, optou-se por investigar as propriedades físicas e térmicas daquelas produzidas com 15% de teor de substituição de areia por PET, uma vez que este traço proporcionou adequado desempenho físico e mecânico, além de maior incorporação de PET na matriz cimentícia, conforme Callejas e Butinhoni (2022). Doravante, as telhas de concreto sem substituição de PET são denominadas REF e as com substituição, PET15. A Tabela 1 apresenta o quantitativo dos insumos nos traços para a produção das TCs.

Tabela 1 – Proporção em massa dos agregados na produção dos traços (em gramas).

Materiais	Resíduo de PET (%)	Cimento	Areia	Água	Cimento: Agregado Miúdo: Resíduo
REF	0	250	750	75	1:3:0, a/c=0,3
PET15	112 (15%)	250	638	75	1:2,55:0,45, a/c=0,3

Para auxiliar a análise do comportamento térmico das TCs implantadas em campo, determinaram-se as propriedades físicas de absortância, emissividade e as propriedades térmicas conforme a seguir descrito.

3.2. Avaliação da Absortância das TCs

A absortância (α), definida como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005), foi determinada com auxílio do equipamento Alta Reflectance Spectrometer fabricado pela empresa Venier Software Tecnology (Figura 1). Realizou-se medição de refletâncias (ρ) da TC em onze diferentes comprimentos de onda, entre 470 e 940nm (nanômetros), dos quais sete são na região do visível (470nm a 700nm) e quatro na região do infravermelho (735nm a 940nm). Na sequência, a absortância foi determinada a partir da refletância, subtraindo-se a unidade (α=1-ρ). Maiores detalhes sobre a metodologia de avaliação da Refletância e derivação da absortância podem ser consultadas em Cordeiro et al. (2020). Foram usados seis exemplares extraídos aleatoriamente no lote de telhas produzido para as TCs com (PET15) e sem adição de PET (REF).



Figura 1 - Detalhe da mediação da refletância com o aparelho Alta Reflectance Spectrometer

3.3. Avaliação das Propriedades Térmicas e de Desempenho das TCs instaladas *in situ*

3.3.1. Propriedade Térmicas: Emissividade e Condutividade Térmica

A emissividade (ε), definida como o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (ABNT, 2005), foi estimada por meio da técnica de termográfica passiva, conforme a metodologia aplicada por Tavares et al. (2011). Foi inserido na superfície das amostras um pedaço de fita isolante (cor preta) e de folha de papel alumínio de aproximadamente 6x3cm, de modo a receber diretamente a radiação oriunda dos raios solares (Figura 2a). Para a determinação da emissividade, seguiu-se o procedimento estabelecido no manual do fabricante da câmara termográfica, calculando-se o valor da temperatura refletida e temperatura de corpo negro a partir do imageamento termográfico (Figura 2b). Durante o procedimento, é necessário ajustar a temperatura e umidade relativa do ar do ambiente no momento da obtenção da imagem. Utilizou-se um exemplar extraído aleatoriamente de cada lote de telhas produzido para as TCs com PET (PET15) e sem adição de PET (REF).

(A) (B)

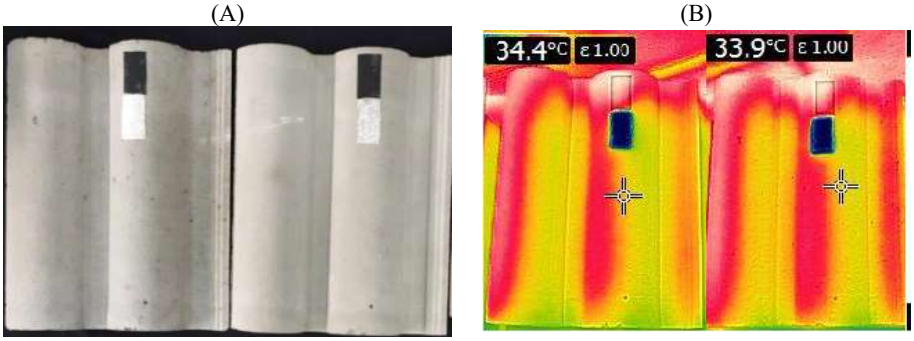


Figura 2 – (A) Imagem da TC PET15 (à esquerda) e da TC REF (à direita), e (B) Imagem na faixa do infravermelho da TC PET15 (à esquerda) e TC REF (à direita)

Foram determinadas a condutividade térmica (λ, em W/m.k), a capacidade térmica volumétrica (Cp, em J/m^3k) (transformado para calor específico), a efusividade (a, m^2/s), a temperatura média (Tmédio, °C) e o gradiente térmico (ΔT, °C), por meio de placas de dimensões 0,45x0,45x0,025m, moldadas no momento da confecção das telhas. Para tanto, utilizou-se o equipamento ISOMET 2114, marca Applied Precision (Figura 3). O princípio de medição é baseado na análise da resposta de temperatura do material sob pulsos de fluxo de calor induzidos pelo aquecimento elétrico de um aquecedor resistivo inserido na sonda que está em contato térmico com a amostra em teste. As propriedades foram auferidas em três posições distintas nas placas produzidas para cada traço, representadas por meio dos seus valores médios e desvio padrão.



Figura 3 - Medição das propriedades térmicas na placa com incorporação de PET em 15%.

3.3.2. Desempenho Térmico das TCs In Situ

Esta avaliação foi conduzida com as TCs instaladas em campo, para o qual se instalou as telhas em protótipos de telhados (Figura 4). As TCs monitoradas receberam um sensor de temperatura superficial na face interna e externa (Marca OnsetComp modelo TMC-HD). O sensor externo foi devidamente protegido por uma placa de poliestireno expandido com a finalidade de reduzir a incidência de radiação solar e minimizar as trocas térmicas convectivas/ latentes com o meio.

Os dados produzidos pelos sinais e pulsos elétricos dos sensores foram processados e armazenados em registradores automático da Marca OnsetComp Modelo U12-13, com médias a cada cinco minutos, sendo posteriormente reprocessados para intervalos de 30 minutos para a avaliação da média horária da temperatura superficial na face interna e externa, bem como da temperatura do ar. A medição foi conduzida por duas semanas, na condição de dias sem precipitação. Nessa análise, apresenta-se o dia médio horário das variáveis medidas em campo.



Figura 3 - Área do experimento com as TCs instaladas nos protótipos: TC REF (à esquerda) e PET15 (à direita)

3.1.3. Análise Estatística

Os resultados dos ensaios previamente descritos foram representados por meio da média e do desvio padrão, considerando a quantidade de determinações nas TCs produzidas. Com vistas a examinar se as diferenças encontradas entre as propriedades físicas e térmicas (amostras) das TCs são significativas, aplicou-se a técnica de análise de variância (Anova), adotando-se o nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS

4.1. Análise da absortância, emissividade e condutividade térmica

O aspecto visual das telhas produzidas sem e com incorporação consta na Figura 5A e 5B. Em virtude de suas colorações, nota-se que as absortâncias da TCs PET15 (α=0,57±0,01) apresentaram valores inferiores ao longo de toda a faixa espectral, com reduzidas diferenças em relação às observadas nas TCs REF (α=0,58±0,01) conforme pode ser visualizado na Figura 5C. Em razão disso, não se verificou diferença estatística entre as absortâncias das telhas (p>0,05). Os valores encontrados são inferiores aos indicados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005) (entre 0,65 a 0,80) e por Ferreira e Prado (2003), para cores de concreto claro (0,67). O menor valor de absortância da TC PET15 é benéfico e melhora o desempenho em relação ao produto original, uma vez que menor absortância reduz os ganhos térmicos através do sistema de cobertura.

Quanto à emissividade, os valores médios encontrados para as TCs PET15 e REF foram de ε=0,944±0,01 e ε=0,936±0,01, respetivamente, não diferindo entre si estatisticamente (p>0,05). Os valores se

inserem dentro da faixa indicada na NBR 15220 (ABNT, 2005) de 0,85 a 0,95, porém é superior ao valor de 0,9 considerado por Ferreira e Prado (2003). Quanto maior a emissividade, maior é a capacidade de dissipação do calor recebido por irradiação. Essa propriedade associada à condutividade térmica do material pode ajudar a reduzir a transferência de calor para dentro do sistema de cobertura.

As grandezas térmicas avaliadas durante os ensaios com o equipamento ISOMET 2114 constam da Tabela 1. O valor da condutividade encontrada para a TC REF é superior ao encontrado para a telha PET15, diferindo-se estatisticamente entre si ($p<0,05$). Os valores encontrados são inferiores a aquele indicado pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005) para concreto normal (1,75 W/m K), porém superior ao especificado para argamassa comum (1,15 W/m K). Para ambos os casos, o calor específico indicado na norma é superior aos auferidos nos ensaios. A introdução do PET na matriz cimentícia proporcionou redução de 10% na condutividade térmica e elevação de 30% no calor específico da mistura.

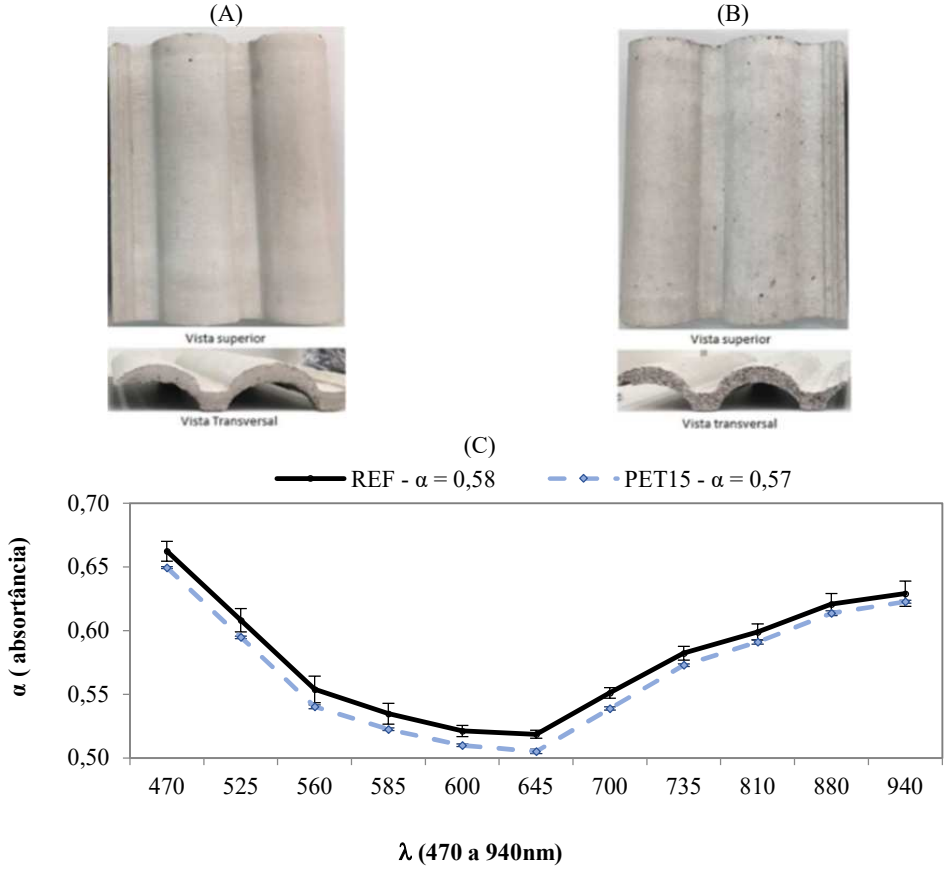


Figura 4 – Aspecto visual (A) da TC REF, (B) da TC PET15 e (C) absortância das TCs ao longo dos comprimentos de onda

Tabela 1 - Valores e propriedades térmicas obtidas no ensaio térmico para a amostra TC REF e TC PET15

Placa sem PET			**Placa com PET**	
Propriedades	**Média**	**s.d.**	**Média**	**s.d.**
Massa específica (g/cm^3)	2,379	0,027	2,114	0,059
λ (W/m K)	1,556	0,006	1,401	0,012
Calor específico (J/kgK)	627	42	818	69
a (m^2/s)x10^{-6}	1,045	0,004	0,810	0,006
T_{medio} (°C)	31,974	0,264	34,457	0,418
ΔT (°C)	9,982	0,074	9,803	0,303

s.d. – desvio padrão

O valor da condutividade térmica da TC REF foi superior ao encontrado para a telha de referência pesquisada por Eugenio et al. (2021), cujo valor foi 0,52 W/mK. O transporte de calor através dos compósitos depende de vários fatores como o arranjo estrutural, das proporções e da massa específica dos insumos, da porosidade, entre outros. Uma vez que o índice de vazios é similar nas misturas de ambas as pesquisas, conforme apontado por Callejas e Butinhoni (2022), atribui-se a redução dessa propriedade térmica principalmente ao efeito isolante das partículas de PET, que tem menor massa específica (1,33g/cm^3) e condutividade térmica mais baixa (0,13W/mK) se comparada aos demais elementos da matriz cimentícia (BENOSMAN et al., 2013). Esse comportamento é benéfico, pois reduz a transferência de calor para os

ambientes internos da edificação por condução pela TC durante o período diurno devido a incidência de radiação solar. Porém, a transferência de calor para o exterior pode ficar comprometida no período noturno. Além disso, o maior calor específico implica em maior quantidade de energia para variar a temperatura na telha de PET, o que pode fazer com que esta se aqueça menos do que a de referencia. Por sua vez, o maior calor específico proporciona maior estoque de energia nessas telhas, retardando o seu resfriamento no período noturno.

4.2. Desempenho térmico das TCs – Medição In Situ

A Figura 5A ilustra a variação do ciclo diário médio das temperaturas superficiais medidas durante a campanha na face superior e inferior das TCs. A superior na TC PET15 permaneceu em média 0,60°C mais quente que a TC REF durante o período diurno, enquanto no período noturno 0,30°C menos quente. Já a temperatura inferior apresentou comportamento inverso, ou seja, menos quente durante o dia (0,30°C) e mais quente à noite (0,20°C). Durante o horário de pico (12h), a temperatura superficial na face superior na TC PET15 chega a ser 1,0°C maior do que na de TC REF e a inferior 0,3°C menor.

O padrão observado indica que a TC PET15 tende a perder mais calor através dos processos de transferência por irradiação e convecção com o ar atmosférico se comparado a da TC REF, reduzindo as trocas por condução. Esse fato associado a menor condutividade térmica identificada justifica o maior gradiente positivo de temperatura (fluxo de calor descendente) observado entre as faces da TC PET15 durante o dia (diferença no horário de pico de +3,7°C contra +2,4°C na TC REF) (Figura 5B). Por sua vez, o maior isolamento térmico e maior calor específico dessa TC explica o maior gradiente térmico negativo (fluxo de calor ascendente) observado durante o período noturno na TC PET15 (diferença média de -1,6°C contra -1,1°C na de referência).

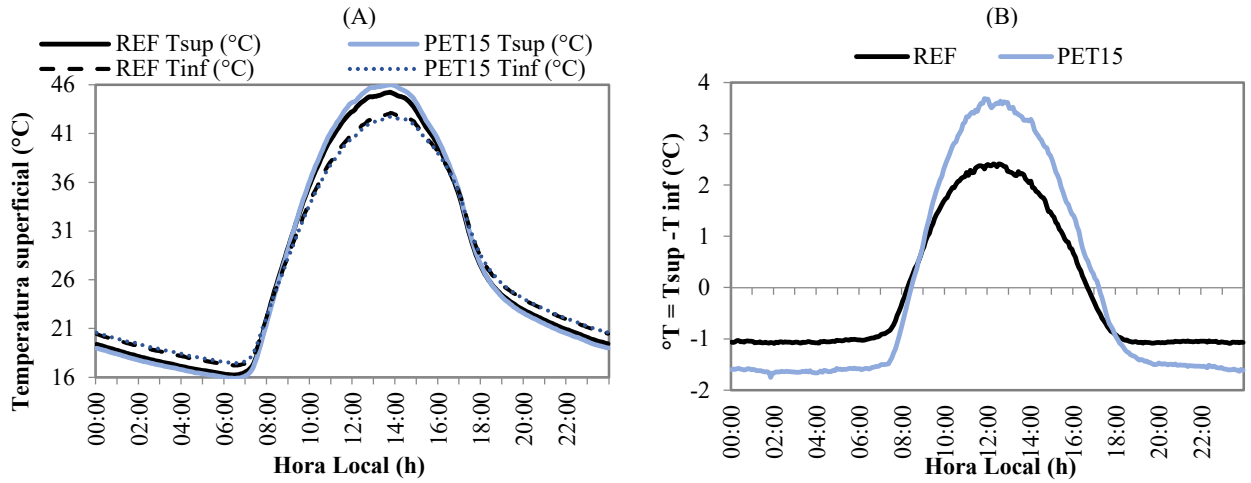


Figura 5 - (A) Temp. superficial inferior e superior nas TCs REF e PET15 e (B) gradiente de temperatura entre as fases.

No estudo conduzido por Damasceno et al. (2016), a TC fabricada com resíduo polimérico de poliestireno apresentou maior gradiente de temperatura entre as faces do que aquelas fabricadas com vermiculita e incorporadores de ar, com menores diferenças (pior desempenho) sendo observadas nas de referência. Os autores atribuem esse comportamento a térmica das matrizes cimentícias pesquisadas, uma vez que as espessuras das TCs foram admitidas iguais. O maior isolamento térmico proporcionado pelas TC com PET é favorável durante o período diurno, reduzindo os ganhos térmicos, por exemplo, no ático ou do ambiente logo abaixo desta, o que pode corroborar com o desempenho térmico da edificação, permitindo maior conforto para os ocupantes, além de auxiliar na redução do consumo energética da edificação (CALLEJAS, et al., 2018 e MICHELS et al., 2021). Porém, durante a noite, a menor condutividade e o maior calor específico reduzem a dissipação do calor do ambiente onde se encontram instaladas, o que pode fazer com que o ambiente permaneça mais quente do que aquele com telha convencional.

5. CONCLUSÕES

A introdução do PET em pouco alterou as propriedades de absortância e emissividade da TC. Por outro lado, a sua incorporação diminuiu a condutividade térmica da matriz cimentícia, o que reduz a transferência de calor por condução pela TC durante período diurno. Esse desempenho foi comprovado durante o ensaio térmico de campo onde a TC com PET proporcionou um melhor isolamento em virtude da maior diferença de temperatura entre sua face externa e interna nesse período. Assim, a melhoria dessa propriedade é benéfica para o

desempenho térmico do sistema de cobertura da edificação uma vez que pode ajudar melhorar o conforto térmico dos ambientes internos e reduzir o consumo energético para refrigeração durante o dia. Porém, devido ao maior isolamento e armazenamento de energia, as telhas com PET podem gerar maior consumo energético para refrigeração durante a noite devido a menor transferência de calor para o exterior, ocasionando maior retenção do calor dentro dos ambientes. Portanto, a sua instalação deve se dar preferencialmente em edificações com uso durante período diurno.

Conclui-se, portanto, que a TC com adição de PET (PET15), sob a perspectiva de desempenho térmico, é um produto tecnicamente viável com vistas a promover a sustentabilidade urbana, ajudando a evitar o lançamento desse material em áreas ilegais e/ou aterros sanitários, podendo corroborar com plano de desenvolvimento sustentável estabelecido na Agenda 2030. Em razão da possibilidade do PET se degradar devido a existência de meio alcalino dentro das matrizes cimentícias, recomenda-se refazer os ensaios após 150 dias de idade com vistas a garantir as características físicas e mecânicas das telhas com adição de PET.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15575-5: Edificações habitacionais –Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13858-2: Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220 – 1: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades, Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações-Parte 2: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, Rio de Janeiro, 2005.

ALBANO, C., CAMACHO, N., HERNANDEZ, M., MATHEUS, A., GUTIERREZ, A., Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios", Waste management, v. 29, n. 10, pp.2707–2716, 2009.

BENOSMAN, A.S., MOULI, M., TAI BI, H., BELBACHIR, M., SENHADJI, Y., BAHLOULI, I., HOUIVET, D. , "Effect of Addition of PET in the Thermal Properties of Polymer-Mortar Composite Materials, Chemistry and Materials Research, v. 5, p.21-26, 2013.

BETIOLI, A. M. Degradação de fibras de PET em materiais à base de cimento Portland. 124f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2003.

CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C., DUARTE, M. C. M., ROSSETI, K. de A. C., SOUZA, B. G., Incorporação de resíduos em telhas: potencialidades para melhoria da ambiência térmica em habitações. In: Jeane Ap. R. de Godoy Rosin; Sandra Medina Benini. (Org.). Cidade sustentável: Um conceito em construção. 1ed.Tupã-SP: ANAP, v. 1, pp. 257-281, 2018.

CALLEJAS, I. J. A., BUTINHONI, G.F., Desempenho físico e mecânico de telhas cimentícias produzidas com incorporação de resíduo de polietileno tereftalato, Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 6, p.1145–1153, 2022. https://doi.org/10.1590/S1413-415220220095

CINTRA, A.D. Utilização de Pneu Moído e Resíduos da Construção na Fabricação de Telhas de Concreto. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso–Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

CORDEIRO, C. C. M., BRANDÃO, D. Q., DURANTE, L. C., CALLEJAS, I. J. A., de CAMPOS, C. A. B., Caracterização termofísica de solo laterítico para produção de taipa, Matéria (Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, e-12564, 2020.

DAMASCENO, F. A., MACEDO, O. A. P., de OLIVEIRA, J. L., OLIVEIRA, C. E. A., BRANDÃO, L. F., "Propriedades Físicas, Mecânicas e Térmicas de Telhas de Concreto Fabricadas com Adição de Diferentes Materiais Isolantes", Revista Engenharia na Agricultura, v.23, n. 5, 2015, p.406–417.

CARVALHO, Marcelle A. de. Aplicação de resíduos de poliestireno expandido (EPS) no desenvolvimento de blocos e telhas de concreto na construção civil visando aplicação em obras de interesse social. Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2019.

EUGÊNIO, T. M. C., FAGUNDES, J. F., , VIANA, Q. S., VILELA, A. P., MENDES, R. F., Study on the feasibility of using iron ore tailing (IOT) on technological properties of concrete roof tiles, Construction and Building Materials, v.279, 122484, 2021.

FERNANDES, D.G. Desenvolvimento de Telha de Concreto Eco-Eficiente Utilizando Resíduo de Mármore do Tear de Fio Diamantado. 74f. Tese- entro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2017.

FERREIRA, F. L., PRADO, R. T. A., Medição do albedo e análise da sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 351, Serie BT-PCC, São Paulo, 2003. 12p.

LIMA, V.A.; NUNES, A.A.; MACIEL, R.T.; PAULINO, V.E.N. Incorporação de Resíduo de Gesso na Fabricação de Telhas de Concreto. In: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2019. Disponível em: https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/406-Brasil-oral.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

LUCOLANO, F.; LIGUORI, B.; CAPUTO, D.; COLANGELO.F; CIOFFI.R - Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties. Materials and Design, v 52, n 1, p 916-922 – Nápoles, 2013.

MICHELS, C., GÜTHS, S., MARINOSKI, D. L., LAMBERTS, R., Thermal performance and thermal resistance of fibre cement roof tiles: Experimental study, Energy and Buildings, v. 231, 110569, 2021. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110569.

MENDONÇA, R.M.; BARCA, O.G.; ANDREASI, W.A. Análise do desempenho térmico de telhas produzidas de resíduo de construção e demolição. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (XIII ENTAC), Anais...Canela, Rio Grande do Sul, 2010.

MULLER, H.M.B.; STRAUB, K.W.; VERA, A.V.K.; MOURA, C. D. Telhas de concreto leve com substituição parcial e gradual do agregado miúdo por EPS. In: 4o Encontro de Engenharia de Edificações e Ambiental, Anais...Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 2016.

NAVARRO, R.; FERRANDIZ, S.; LOPEZ J.; SEGUÌ, V. J. The influence of polyethylene in the mechanical recycling of polyethylene terephthalate. J Mater Process Technol, v. 195, 2008, p.110–116. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.126

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/. Acesso em: 06 out. 2021.

TAVARES, S. G., WALTER, M. E., CASTRO, V. D., MELO, R. A., RODRIGUES, C. G., JR BARROS, M.C., CARDOSO, C. R., FRANCO, S. P. M., MENDES, G. F., CARNEIRO, M. O. D., SILVEIRA, F. C., Utilização da termografia infravermelha na determinação de propriedades térmicas de materiais produzidos a partir de fibra de bananeira. Exata, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, pp.67-80, 2011.

VILPERT, G.C. Telha de Concreto: Adição de fibra derivada de bagaço de cana-de-açúcar. 19f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 2016.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Universidade Federal de Mato Grosso/Brasil por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso, Brasil (FAPEMAT N.0534180/2016). Os autores também agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT (processo FAPEMAT-PRO-2022/01047) pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.