



## EMBALAGENS TETRA PAK® NO ISOLAMENTO TÉRMICOS DE COBERTURA EM EDIFICAÇÕES

DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019388-404

**Adir Silverio Cembranel, Jairo Afonso Henkes<sup>2</sup>  
Wagner de Aguiar<sup>3</sup>, Tayoná Cristina Gomes<sup>4</sup>  
Marcos Vinícius Pagliarini<sup>5</sup>**

### RESUMO

As embalagens Tetra Brik Aseptic® (TBA), principal produto da Tetra Pak®, é um dos resíduos mais comuns nos centros de reciclagem e aterros. Composta por celulose, polietileno e alumínio, dificultando a reciclagem. Em muitos países falta infraestrutura na gestão destes resíduos, além disso, o alto custo e consumo de energia na reciclagem a torna inviável em muitas situações. Outra alternativa é a reutilização das embalagens TBA como subcoberturas em telhados, atuando como isolante térmico. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência das embalagens TBA como isolante térmico, na cobertura de edificações. A avaliação ocorreu utilizando um protótipo de madeira com forro de PVC e cobertura de telha de fibrocimento, simulando edificação residencial. O protótipo foi dividido em três compartimentos, objetivando avaliar as variações da temperatura nos compartimentos. Foram aplicados três tratamentos: no primeiro utilizou-se isolante térmico confeccionado a partir de embalagens TBA sobre o forro; no segundo, foi utilizado isolante térmico comercial sobre o forro; no terceiro, não foi utilizado isolamento térmico. As variações da temperatura foram monitoradas por sensores de temperatura, em cinco repetições. As aferições da temperatura ocorreram a cada cinco minutos no período de 60 minutos, totalizando 13 medições por compartimento. Os dados foram submetidos à análise estatística, Análise de Variância e Teste Tukey. As análises demonstraram que o isolante térmico, desenvolvido com embalagens Tetra Pak®, possui, estatisticamente, a mesma condição de isolamento térmico que o isolante comercial.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Reutilização. Temperatura. Reciclagem.

<sup>1</sup> Engenheiro Ambiental, Tecnólogo em Construção Civil, mestrado em Geografia, doutorado em Engenharia Agrícola. Atualmente é professor adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. E-mail:

[adircembranel@utfpr.edu.br](mailto:adircembranel@utfpr.edu.br)

<sup>2</sup> Doutorando em Geografia (UMinho-Pt). Mestre em Agroecossistemas (UFSC). Especialista em Administração Rural (UNOESC). Engenheiro Agrônomo (UDESC). Professor do Curso de Administração, do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental e do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental da Unisul. E-mail: [jairohenkes333@gmail.com](mailto:jairohenkes333@gmail.com)

<sup>3</sup> Engenheiro Ambiental pela UNISEP/PR (2010), Mestre em Geografia pela UNIOESTE (2012) e Doutorado em Engenharia Agrícola (2017). É Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da UTFPR Campus Francisco Beltrão. E-mail: [wagneraguiar@utfpr.edu.br](mailto:wagneraguiar@utfpr.edu.br)

<sup>4</sup> Engenheira Ambiental pela UTFPR - Campus Francisco Beltrão, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - Campus Erechim, Discente da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), Doutoranda em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - Francisco Beltrão. Docente na Faculdade Mater Dei em Pato Branco nas disciplinas de Topografia e Saneamento Ambiental. E-mail: [tayonagomes@hotmail.com](mailto:tayonagomes@hotmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das cidades vem acompanhado do aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). A produção de RSU no Brasil vem aumentando a cada ano, reflexo do crescimento da economia, que permite à população acesso a novos bens e produtos, além da grande quantidade de materiais descartáveis, como as embalagens nos produtos consumidos (ABRELPE, 2015).

No entanto, as embalagens descartáveis tornaram-se elemento essencial nas indústrias de alimentos e bebidas. A Tetra Pak<sup>®</sup> é uma das principais indústrias, a nível mundial, na produção de embalagens de papel. A embalagem Tetra Brik Aseptic<sup>®</sup> (TBA), um dos produtos da Tetra Pak<sup>®</sup>, é amplamente utilizado em todo mundo, na comercialização de alimentos líquidos, revertendo-se em um dos resíduos mais comuns nos centros de reciclagem e aterros. Esta embalagem é composta principalmente de celulose (63%), polietileno de baixa densidade (30%) e alumínio (7%), o que dificulta a reciclagem, dado à necessidade de separação dos diferentes compostos (RODRÍGUEZ-GÓMEZ et al., 2015; LOKAHITA et al., 2017; ANDRÉS-VALERI et al., 2018)

Grande parte dos resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários podem ser reciclados, no entanto, fatores técnicos e econômicos inviabilizam alguns processos, restando como alternativa o descarte (MERSONI e REICHERT, 2017). No caso das embalagens Tetra Pak<sup>®</sup>, a reciclagem é uma alternativa de recuperação. Contudo, em muitos países falta infraestrutura na gestão destas embalagens (RODRÍGUEZ-GÓMEZ et al., 2015). Além disso, o alto custo e consumo de energia do processo de reciclagem o torna inviável em muitas situações (XIE et al., 2016).

Uma das alternativas viáveis de reutilização das embalagens Tetra Pak<sup>®</sup> é a aplicação como subcoberturas ou forros em telhados, atuando como isolante térmico, contribuindo na redução do fluxo de calor para o interior das edificações. O material comumente utilizado neste isolamento é o alumínio, o qual forma camada de alta refletividade e baixa emissividade, que reduz a emissão da radiação. Além disso, atua

como barreira física, que permite a formação de camada de ar entre o telhado e o forro, contribuindo na redução da transferência de calor para o interior da edificação. A camada de ar possui baixa condutividade térmica e baixo coeficiente de absorção da radiação, tornando-o um elemento muito resistente à passagem de calor (SILVA et al., 2015; SARTOR et al., 2015).

O isolamento térmico de edificações tem impacto significativo na melhoria da qualidade em termos ambientais, sociais e econômicos. O uso de isolantes térmicos proporciona a redução no consumo de energia necessária na climatização dos ambientes (ADAMCZYKA e DYLEWSKIB, 2017).

Em coberturas constituídas de telhado e forro, as trocas de calor entre o ambiente externo e interno ocorrem na forma de incidência direta, onde parte do calor é refletido, parte é conduzida e uma outra parte é considerada calor convectivo. Ao se projetar uma edificação, deve se reduzir estas trocas térmicas atuando sobre os elementos e componentes das estruturas de vedação. Sua possibilidade de ação sobre as parcelas convectivas, em geral, é limitada pois ela está ligada à incidência de ventos, sendo pois interessante agir sobre os componentes de condução e de irradiação (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

A ideia de “isolar termicamente” as coberturas estão associadas as alternativas de utilização de materiais conhecidos como isolantes “resistivos”, que reduzem a transferência de calor por condução. Este conceito de isolamento resistivo está presente na Norma Francesa NF P 75-01 (AFNOR, 1983), que define como isolante térmico o produto com resistência térmica maior que 0,5 (m<sup>2</sup> .K)/W, composto por material com condutividade térmica menor que 0,065 W/(m.K) (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

Entre os isolantes resistivos tradicionais encontram-se as mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, as espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido, a vermiculita expandida ou perlita em grânulos e os flocos de lãs minerais. Ainda há que se considerar que a resistência térmica destes materiais é proporcionada pela grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado em pequenos espaços originados no processo de expansão das espumas e de isolantes granulares. De outro modo pode se reduzir os efeitos do calor nas coberturas com a diminuição da absorção da energia solar, utilizando-se materiais de alta refletância na face externa dos telhados ou reduzindo a quantidade

de energia térmica irradiada para o interior das edificações, utilizando-se materiais de menor emissividade. (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

No Brasil, muitas famílias utilizam na cobertura de casas, telhas de fibrocimento, devido ao custo inferior deste produto em comparações a outras coberturas. Entretanto, quando expostas à radiação solar o fibrocimento aquece e transfere calor para o interior das edificações. A utilização de embalagens Tetra Pak® como isolante térmico em coberturas pode reduzir a transferência de calor, ademais a instalação e fabricação destes isolantes é simples, barata e não necessita de mão de obra especializada (SCHMUTZLER e ARRUDA, 2000).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência das embalagens Tetra Pak®, como isolante térmico aplicado na cobertura de edificações, utilizando como subsídio de pesquisa um protótipo simulando uma edificação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Entre as metodologias para reduzir o calor nas edificações, a instalação de barreiras radiantes é das mais utilizadas, sendo que estas normalmente consistem de materiais de baixa emissividade, posicionados nas instalações voltado aos recintos habitáveis. O desempenho dos produtos pode ser mensurado em cada caso, pela interação da barreira com as outras superfícies, não especificando-se a resistência térmica e as características superficiais dos materiais utilizado como barreira radiante. Os materiais mais empregados como barreiras radiantes é o alumínio polido, em forma de lâminas finas. Os produtos disponíveis no mercado brasileiro como barreiras radiantes são folha de alumínio aderida a uma ou ambas as faces de um substrato que pode ser de diversos materiais como, malha polimérica, papel kraft. Outras possibilidades são a utilização da folha de alumínio com uma ou duas faces revestidas com “plástico bolha”, camada metálica disposta entre filmes de polietileno colados com uma espuma plástica de polietileno, ou mesmo um filme plástico com camada metálica aderida por deposição a vácuo (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

Neste trabalho se experimentou a utilização de embalagens Tetra Pak®, que utilizadas como isolantes, após sua desestruturação ou desmembramento, higienização e ajustes finais pode servir como uma estratégia ambiental para

reutilização ou reuso de resíduos sólidos disponíveis em grandes quantidades nos resíduos sólidos urbanos.

### **Construção do isolante térmico**

A pesquisa foi desenvolvida nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus de Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. As embalagens Tetra Pak® utilizadas na pesquisa foram disponibilizadas pela Associação de Catadores de Papel de Francisco Beltrão-PR.

Inicialmente foi realizado o desarme da estrutura paralelepípedica das embalagens, com volume de um litro. Na sequência ocorreu a abertura dos recipientes com o auxílio de tesoura, cortando as extremidades superior e inferior, além de corte e abertura lateral.

Após abertas, as embalagens foram lavadas utilizando água, detergente e esponja para retirada de resíduo aderido à superfície. A secagem ocorreu com a exposição ao sol. Em seguida foi realizada a montagem da “manta” de isolamento térmico, para composição de 1,00 m<sup>2</sup> de isolante foram utilizadas 20 embalagens, unidas por meio de grampos metálicos.

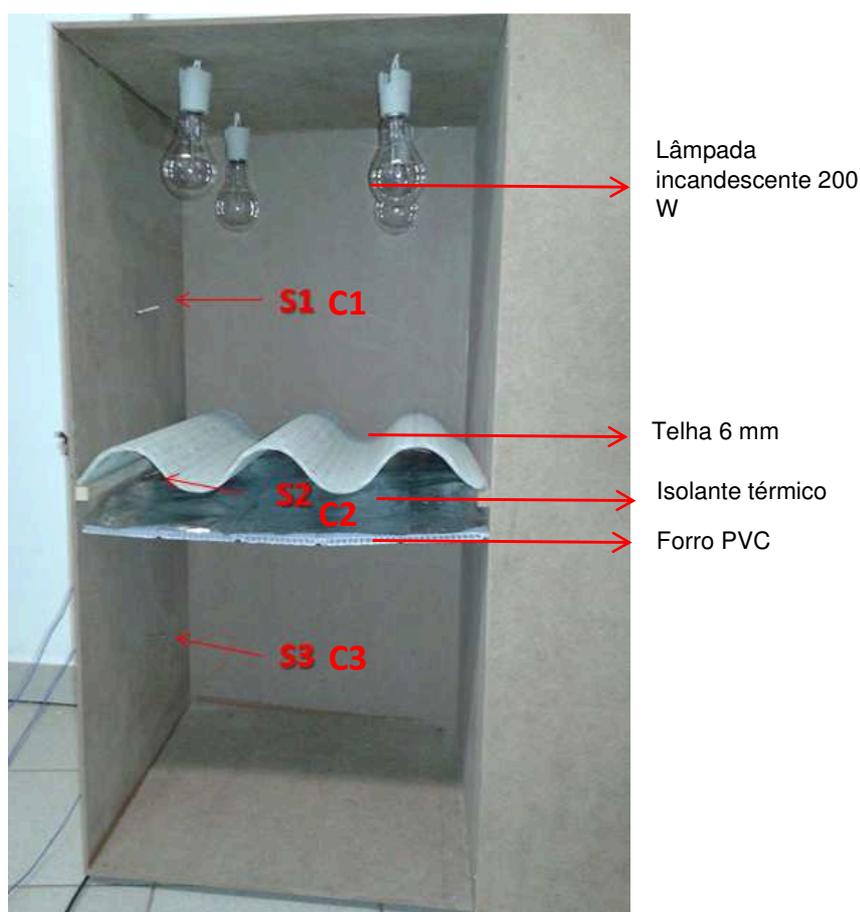


#### **2.1 Análise de eficiência**

A avaliação da eficiência das embalagens Tetra Pak® como isolante térmico teve como base a metodologia utilizada por SCHUMUTZLER e ARRUDA (2000). O método utilizou como base um protótipo de teste, que buscou reproduzir características de uma edificação convencional. O modelo foi construído em madeira, com dimensões de 50 cm de largura, 50 cm de comprimento e um metro de altura, na cobertura foi utilizado telha de fibrocimento 6 mm, além da instalação de forro de PVC 7 mm (Figura 01).

O protótipo foi dividido em três compartimentos (C1, C2 e C3), com objetivo de avaliar as variações da temperatura ao longo do tempo em cada compartimento. As temperaturas foram monitoradas por meio de termômetro digital multi-sensores, marca Full Gauge Controls, modelo Penta III.

Figura 1. Protótipo utilizado nos testes de eficiência



Fonte: Autores (2018)

O compartimento C1 (acima da cobertura) retrata a incidência da fonte de calor e possibilita a identificação da energia (calor), por meio da temperatura, refletida em cada tratamento. Neste experimento foram utilizadas quatro lâmpadas incandescentes de 200 W/127V, reproduzindo a radiação solar sobre a telha. O compartimento C2 representa o espaço entre a telha e o forro de PVC (sótão). No espaço C2 ocorreram as variações dos tratamentos, com a implantação de isolante térmico comercial, isolante térmico desenvolvido a partir das embalagens Tetra Pak®, além da variação sem qualquer tipo de isolamento térmico. O compartimento C3, reproduz o espaço de uso da edificação, a variação de temperatura neste espaço indica a capacidade de isolamento dos materiais térmicos.

Na avaliação da eficiência do isolante térmico confeccionado a partir de embalagens Tetra Pak® (ITTP) foram realizadas análises estatísticas comparando a variação das temperaturas entre os três tratamentos. No primeiro tratamento (T1) utilizou-se o ITTP sobre o forro de PVC (Figura 1). No segundo tratamento (T2) foi

utilizado isolante térmico comercial sobre o forro. No terceiro tratamento (T3) não foi utilizado qualquer isolante térmico sobre o forro.

As variações das temperaturas nos compartimentos foram monitoradas por meio de sensores de temperatura (S1, S2 e S3), instalados em cada compartimento, nos três tratamentos, com cinco repetições (Figura 01). O sensor S1 foi implantado acima da telha, o sensor S2, entre o forro de PVC e a telha (sótão) e o sensor S3 abaixo do forro. Além disso, um quarto sensor de temperatura (S4) monitorou a temperatura fora do protótipo.

Os ensaios foram realizados em local coberto, isolado da incidência direta de vento e do sol. O ambiente foi mantido em temperatura de aproximadamente 24 °C, utilizando equipamento de ar condicionado, monitorado por meio do sensor (S4).

Inicialmente, os isolantes térmicos (T1 e T2) foram instalados com a face refletiva (alumínio) voltada para baixo, em contato com o forro. De acordo com Vittorino et al. (2003), com objetivo de evitar o acúmulo de resíduos a face refletiva do isolante, que provoca diminuição da eficiência. Contudo, testes preliminares indicaram menor eficiência nesta posição, quando comparada com a face refletiva voltada para a fonte geradora de calor. Desta forma, utilizou-se a face de alumínio voltada para cima

Em todas as repetições foram realizadas aferições da temperatura inicial, no tempo zero. Após o acionamento da fonte de calor a temperatura foi registrada a cada cinco minutos, até completar 60 minutos de teste, totalizando 13 aferições em cada compartimento.

A análise estatística ocorreu comparando as temperaturas médias ao longo do tempo nos três tratamentos, por meio da Análise de Variância e o teste de comparação de médias pelo Teste de Tukey a 5% de significância. Os softwares utilizados na realização das análises estatísticas e criação dos gráficos foram o RStudio e Minitab.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Análise da eficiência**

O alumínio é o principal componente radiante nos isolantes térmicos comerciais e constitui aproximadamente 7% das embalagens Tetra Pak® (ANDRÉS-VALERI et al., 2018; RODRÍGUEZ-GÓMEZ et al., 2015; LOKAHITA et al., 2017). Os isolantes reflexivos ou de barreiras radiantes são formados por material de baixa emissividade

e alta refletividade. O material comumente aplicado como barreira radiante é o alumínio (MORAIS, 2011; VITTORINO et al., 2003). As características isolantes destes materiais podem ser identificadas na Tabela 1, que apresenta as temperaturas médias dos sensores S1, S2 e S3 nos três tratamentos com cinco repetições.

Tabela 01 - Temperatura média em cada tratamento

Tempo (min)	T1			T2			T3		
	ITTP (° C)			Isolante Comercial (° C)			Sem Isolante (° C)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
0	24,24	23,98	23,44	24,50	23,98	23,54	24,38	24,02	23,66
5	44,12	24,50	23,48	45,96	24,94	23,66	45,12	25,04	23,84
10	53,40	26,26	23,68	55,82	26,38	23,82	54,36	27,34	24,12
15	59,40	28,10	23,86	62,30	27,62	23,74	60,22	28,96	24,12
20	63,26	29,28	23,72	67,46	29,14	23,88	64,66	31,02	24,32
25	66,48	30,60	23,86	71,22	30,20	23,88	68,02	33,04	24,60
30	68,60	31,54	23,92	74,16	31,32	23,96	70,40	34,30	24,74
35	70,26	32,42	23,98	76,58	32,26	23,84	72,06	35,48	24,86
40	71,56	33,24	24,02	78,58	33,22	24,00	74,04	36,70	25,12
45	72,56	33,88	24,14	79,94	33,70	23,96	75,14	37,42	25,30
50	74,30	34,46	24,18	81,54	34,48	23,98	76,20	38,10	25,32
55	75,38	35,04	24,28	82,70	35,00	24,02	77,42	38,88	25,58
60	76,26	35,34	24,26	83,80	35,56	24,10	77,98	39,12	25,72

T1 – tratamento estatístico com isolante térmico confeccionado a partir de embalagens Tetra Pak® (ITTP). T2 – tratamento estatístico com isolante térmico comercial. T3 – tratamento estatístico sem isolante térmico.

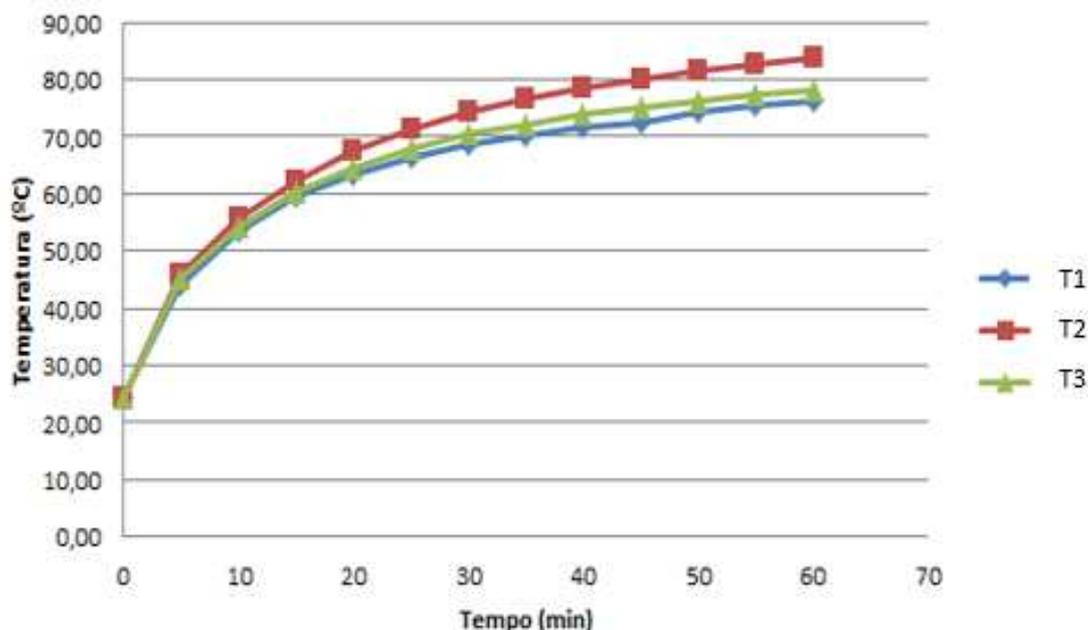
Fonte: Autores (2018).

Analisando a Tabela 1 é possível identificar que o ITTP (T1) não possui a mesma capacidade refletiva de ondas caloríficas que o isolante comercial (T2) e as temperaturas em S1 (acima do telhado) são superiores no tratamento T2. A Tabela 1 demonstra que as temperaturas médias ao longo do tempo em S1, no tratamento T3 (Sem isolante) são superiores as temperaturas médias no T1. Diferente do que ocorreu no T2, no qual, o calor foi refletido de maneira mais intensa e as temperaturas médias em S1 foram superiores ao longo do tempo que nos demais tratamentos.

O Figura 2 demonstra as variações da temperatura nos três tratamentos detectadas no sensor S1, compartimento C1, acima do telhado. Analisando o gráfico é possível observar que a variação da temperatura em S1 é semelhante em todos os

tratamentos. No entanto, a temperatura média no tratamento T2 é superior em todas as variações de tempo.

Figura 2. Variação das temperaturas no sensor S1



Fonte: Autores (2018)

A emissividade dos materiais é devida às suas características superficiais, uma vez que, na maioria dos sólidos, a radiação emitida pelas moléculas do seu interior é absorvida pelas moléculas a ela adjacentes. Sendo que, apenas a energia emitida pelas moléculas localizadas a até 1  $\mu\text{m}$  da superfície do material é que deixa efetivamente o corpo (INCROPERA, 1998). Entre os materiais utilizados no isolamento térmico, existem os isolantes resistivos, que dificultam a transferência do calor por condução e os isolantes reflexivos, que limitam a passagem do calor por radiação (VITTORINO et al., 2003). Estes conceitos justificam a menor eficiência do ITTP na refletância do calor para o compartimento C1, visto que a camada de alumínio existente nas embalagens Tetra Pak<sup>®</sup> é sobreposta por duas camadas de polietileno na aderência e proteção do produto (LOKAHITA et al., 2017; ANDRÉS-VALERI et al., 2018).

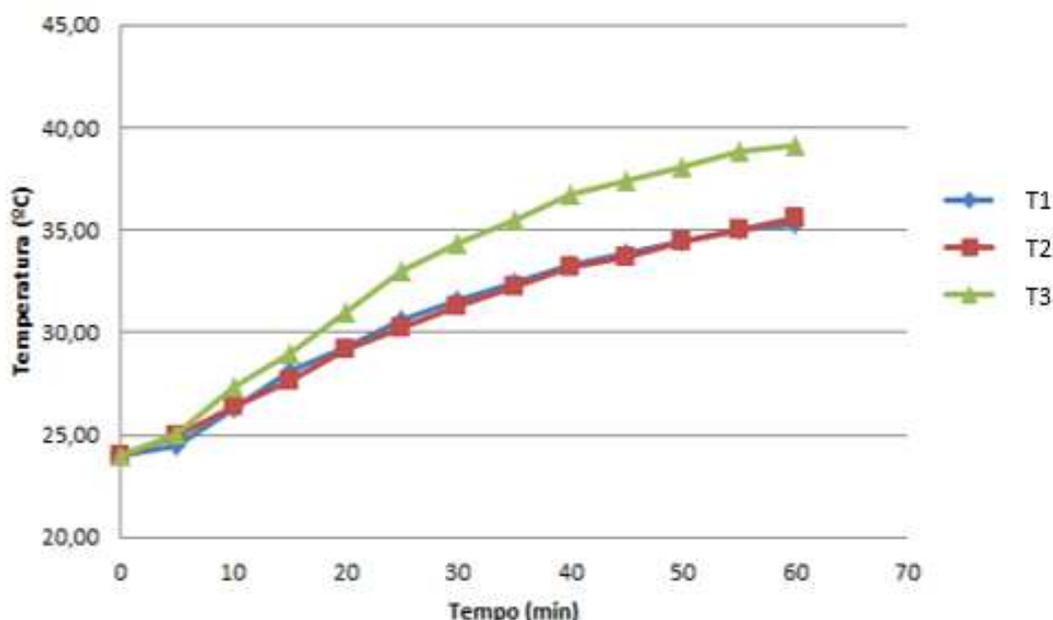
Diferente do que ocorre com o isolante térmico comercial, uma vez que, a absorção da radiação térmica na superfície dos materiais é em função da quantidade de elétrons livres presentes. Nos materiais condutores de eletricidade, como os metais, há grande quantidade de elétrons livres, que fazem com que seja refletida

grande parte da energia térmica incidente, resultando em pequena absorção e pequena emissão de energia térmica (MODEST, 1993).

Nas residências horizontais, a maior parte exposta a radiação solar é o telhado, que absorve grande parte da energia radiante incidente e a transfere para o interior das edificações, aumentando a temperatura interna. A radiação solar é composta por radiação infravermelha de onda curta, que ao incidir sobre a superfície das telhas, transforma-se em calor e as aquece. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo e a outra parcela é absorvida e transmitida ao espaço correspondente ao sótão, que por sua vez, transmite o calor por radiação e convecção. Já a radiação incidente na superfície da laje ou forro é absorvida sendo aquecida, transferindo o calor para os ambientes internos da residência (FAREY, 1994; MICHELS et al., 2007). Desta forma, a finalidade de isolar termicamente é dificultar a transferência de calor entre dois sistemas que se encontram em níveis diferentes de temperatura (MICHELS et al., 2007).

A variação da temperatura média do sensor S2, compartimento C2, entre a telha e o forro (sótão), pode ser observado na Figura 3. No tratamento T3 (sem isolante), as temperaturas médias em S2 foram superiores aos demais tratamentos, possivelmente, a ausência de material isolante não possibilitou que as ondas caloríficas fossem refletidas. Desta forma, o calor gerado pelas lâmpadas não foi refletido para o compartimento C1, mantendo-se entre a telha de fibrocimento e o forro.

Figura 3 - Variação das temperaturas no sensor S2



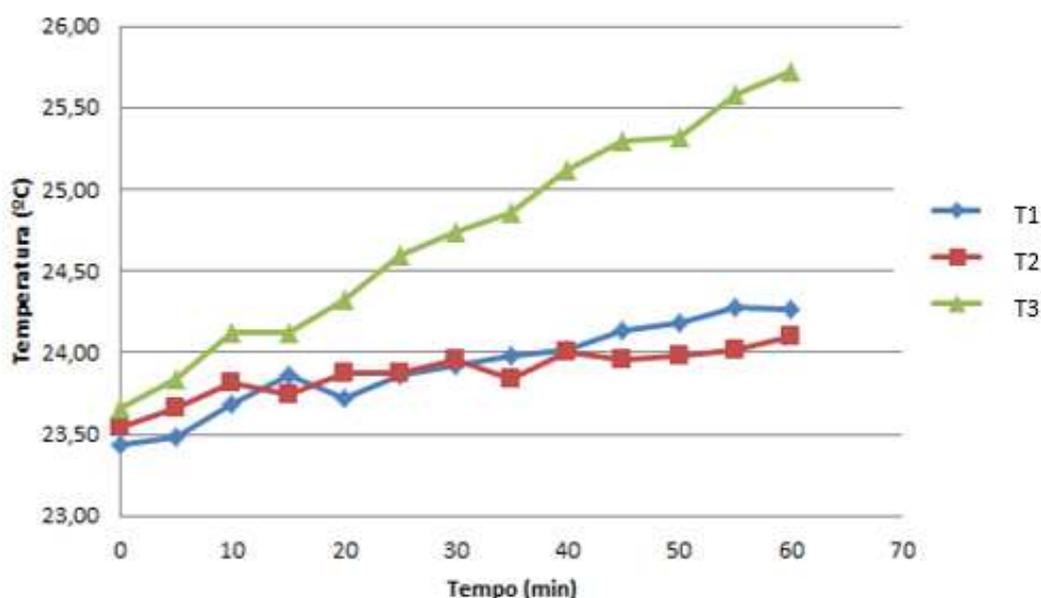
Fonte: Autores (2018)

Na análise da Figura 04 é possível identificar as variações médias das temperaturas no sensor S3, localizado no compartimento C3, espaço interno do protótipo. Nos tratamentos T1 e T2 as temperaturas médias em S3 foram inferiores as temperaturas médias no tratamento T3. A temperatura média ao fim do tratamento T3 foi 25,72 °C. Porém, nos tratamentos T1 e T2 as temperaturas médias após uma hora foram 24,26° C e 24,10° C, respectivamente. A diferença da temperatura média entre T1 e T2 e o tratamento T3 foi superior a 1° C.

Na análise dos dados foi possível identificar que, inicialmente, o ITTP (T1) não foi eficiente na refletância das ondas caloríficas. A Tabela 1 demonstra que as variações médias das temperaturas em S1 (C1, acima do telhado), foram superiores ao tratamento T3, no qual nenhum isolante térmico foi utilizado. No entanto, as temperaturas médias em S2 e S3, demonstraram a capacidade de isolamento térmico do ITTP e as temperaturas médias em foram inferiores ao T3.

Na pesquisa realizada por Morais et al. (2011), a redução da temperatura no espaço do protótipo que reproduziu a área interna da edificação foi maior utilizando ITTP, que utilizando isolante térmico comercial.

Figura 04 - Variação das temperaturas no sensor S3



Fonte: Autores (2018)

O estudo realizado por Martini e Trindade (2011), indicou temperatura interna do protótipo, significativamente inferior utilizando ITTP, quando comparadas ao

protótipo no qual nenhum isolamento térmico foi utilizado. A utilização das embalagens Tetra Pak® como subcobertura apresentou temperatura 17,5% inferior e uma taxa de transferência de calor 8,15% menor, comparado ao protótipo sem subcobertura (MARTINI e TRINDADE, 2011).

Na pesquisa realizada por Michels et al. (2007), avaliando a eficiência no isolamento do fluxo de calor de quinze diferentes isolantes térmicos comerciais e dois isolantes desenvolvidos a partir de embalagens Tetra Pak®, em protótipo simulando o telhado de uma edificação. Identificou-se que os ITTP obtiveram eficiência maior que a maioria dos isolantes comerciais analisados.

As temperaturas identificadas no sensor S4, fora do protótipo, indicaram variações entre 23 e 25° C, uma vez que o aparelho de ar condicionado não é preciso na manutenção da temperatura.

A interpretação dos dados apresentados acima, indica que os isolantes térmicos utilizados nos tratamentos T1 e T2 reduziram a temperatura no compartimento C3. No entanto, foram realizadas análises na identificação de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

### 3.2 Análise estatística



A Análise de Variância e o Teste múltiplos de médias de Tukey aplicados na identificação de diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, considerou as temperaturas médias no sensor S3 (compartimento C3) nos minutos 40, 50 e 60 (Tabela 2). A opção de análise nos tempos indicados ocorreu devido a considerável estabilidade na variação da temperatura e a proximidade do limite máximo da temperatura.

Tabela 02 Temperaturas no sensor S3 em três diferentes tempos tratamentos.

Tratamento	Repetições	Tempo		
		40 min.	50 min.	60 min.
T1 ITTP (° C)	1	24,0	24,2	24,3
	2	24,1	24,1	24,1
	3	24,1	24,1	24,1
	4	23,8	24,1	24,1
	5	24,1	24,4	24,7

<b>T2</b> <b>Isolante Comercial (° C)</b>	1	25,1	25,1	25,4
	2	23,5	23,7	23,9
	3	24,4	24,4	24,4
	4	24,0	24,0	23,9
	5	24,1	24,1	24,2
<b>T3</b> <b>Sem isolante (° C)</b>	1	25,1	25,1	25,4
	2	25,7	25,4	26,1
	3	25,0	25,4	25,7
	4	24,5	25,0	25,4
	5	25,3	25,7	26,0

T1 – tratamento estatístico com isolante térmico confeccionado a partir de embalagens Tetra Pak® (ITTP). T2 – tratamento estatístico com isolante térmico comercial. T3 – tratamento estatístico sem isolante térmico.

Fonte: Autores (2018)

A Análise de Variância (ANOVA) indicou a existência de distribuição normal de probabilidade, além disso, o teste de Shapiro Wilk a 5% de significância, indicou que os dados apresentam distribuição normal. Atendidos os requisitos de normalidade as temperaturas médias foram submetidas ao teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

As análises ocorreram considerando duas hipóteses. A primeira hipótese,  $H_0$ , supõe que as temperaturas médias nos diferentes tratamentos são iguais. A segunda,  $H_1$ , supõe que ao menos uma das temperaturas médias é diferente. Para que se aceite  $H_0$ , o p-valor deve ser maior que o nível de significância de 0,05.

A análise de variância indicou p-valor inferior a 0,05 (Tabela 3), logo, rejeitou-se  $H_0$ , ou seja, ao menos uma das temperaturas média é diferente. O teste Tukey indicou que os tratamentos T1 e T2 são estatisticamente iguais entre si, e o tratamento T3 é estaticamente diferente de T1 e de T2 (Tabela 2).

Tabela 03 - Resultado do teste de Tukey

<b>40 minutos p-valor = 0,0002</b>		
<b>Tratamentos</b>	<b>Temp. média (° C)</b>	<b>Resultados</b>
T1 - ITTP	24,020	A
T2 - Isolante Comercial	24,000	A
T3 - Sem isolante	25,120	B
<b>50 minutos p-valor =0,0000</b>		
<b>Tratamentos</b>	<b>Temp. média (° C)</b>	<b>Resultados</b>
T1 – ITTP	24,180	A
T2 - Isolante Comercial	23,980	A

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.388-404, jan/mar. 2019.

T3 - Sem isolante	25,320	B
<b>60 minutos p-valor = 0,0000</b>		
<b>Tratamentos</b>	<b>Temp. média (° C)</b>	<b>Resultados</b>
T1 - ITTP	24,140	A
T2 - Isolante Comercial	24,100	A
T3 - Sem isolante	25,720	B

Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais no teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). T1 – tratamento estatístico com isolante térmico confeccionado a partir de embalagens Tetra Pak® (ITTP). T2 – tratamento estatístico com isolante térmico comercial. T3 – tratamento estatístico sem isolante térmico. Fonte: Autores (2018)

Desta forma, pode-se afirmar que ITTP (T1) e o isolante comercial (T2) apresentam, estatisticamente, a mesma condição de isolamento térmico e que as temperaturas médias nos tratamentos T1 e T2 são estatisticamente inferiores às temperaturas do tratamento T3.

#### 4 CONCLUSÃO

Os ensaios e as análises estatísticas demonstraram que o isolante térmico desenvolvido com embalagens usadas de Tetra Pak® possui, estatisticamente, a mesma condição de isolamento térmico que o isolante comercial. Além disso, apresentam-se como alternativa ambientalmente correta de destinação deste resíduo de difícil reciclagem.

Muitos produtos com as propriedades de barreiras radiantes existem no mercado a custos distintos, entretanto, existem características e diferenças significativas de custos entre estes produtos, de modo que o uso das embalagens, objeto deste estudo, reduz significativamente os custos de instalação de dispositivos desta natureza.

No entanto, o desempenho destes produtos está associado às suas propriedades e aos processos de instalação que tem forte influência no desempenho em diferentes ambientes. Contudo, o acúmulo de poeira, que penetra pelas frestas entre as telhas, na superfície superior deste elemento resultará na elevação da sua emissividade reduzindo a sua eficiência.

Assim é de se esperar que em telhados com telhas cerâmicas o aumento da emissividade se dê mais rapidamente do que nos telhados com menor permeabilidade

ao ar como os de telhas metálicas ou as de fibrocimento, por isso para se preservar o desempenho ao longo do tempo é importante que a instalação seja feita de maneira correta para de fato melhorar o ambiente.

## **TETRA PAK® PACKAGING IN CONSTRUCTION COVERAGE THERMAL INSULATION**

### **ABSTRACT**

Tetra Brik Aseptic® (TBA), the main product of Tetra Pak®, is one of the most common waste in recycling centers and landfills. Composed of cellulose, polyethylene and aluminum, making recycling difficult. In many countries there is a lack of infrastructure in the management of this waste, and the high cost and energy consumption of recycling makes it unfeasible in many situations. Another alternative is the reuse of TBA packages as thermal insulation in roofs. In this context, the objective of this research was to evaluate the efficiency of the TBA packages as thermal insulation in the covering of buildings. The evaluation was carried out using a prototype of wood with PVC lining and fiber cement roof covering, simulating residential building. The prototype was divided in three compartments, aiming to evaluate the temperature variations in the compartments. Three treatments were applied: the first one used thermal insulation made from TBA packages on the liner; in the second, commercial thermal insulation was used on the liner; in the third, thermal insulation was not used. Temperature variations were monitored by temperature sensors in five replicates. Temperature measurements occurred every five minutes in the 60 minute period, totaling 13 measurements per compartment. The data were submitted to statistical analysis, Analysis of Variance and Tukey Test. The analyzes demonstrated that the thermal insulation, developed with Tetra Pak® packages, has, statistically, the same thermal insulation condition as the commercial insulation.

**Keywords:** Solid waste. Reuse. Temperature. Recycling.

### **REFERÊNCIAS**

- ABRELPE - Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais. **Panorama De Resíduos Sólidos No Brasil 2015**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em 28 março. 2018.
- ADAMCZYKA, J.; DYLEWSKI, R. The impact of thermal insulation investments on sustainability in the construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 421–429, 2017.

ANDRÉS-VALERI, V. C.; RODRIGUEZ-TORRES, J.; CALZADA-PEREZ, M. A.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J. Exploratory study of porous asphalt mixtures with additions of reclaimed tetra pak material. **Construction and Building Materials**, v. 160, p. 233–239, 2018.

FAREY, P. **Designing and Installing Radiant Barrier Systems**, Florida Solar Energy Center, Publication DN – 7, 1994.

INCROPERA, F. P.; DeWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**, 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

LOKAHITA, B.; AZIZ, M.; YOSHIKAWA, K.; TAKAHASHI, F. Energy and resource recovery from Tetra Pak waste using hydrothermal treatment. **Applied Energy**, v. 207, p. 107–113, 2017.

MARTINI, D.; TRINDADE, T. Q. da. Modelagem matemática da reflexão da radiação solar utilizando embalagens Tetra Pak® como isolante térmico. **Revista Científica da Ajes**, v. 2, n. 3, 2011.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Eng. Sanit. Ambient.** vol. 22, n. 5, p. 863-875, 2017.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Avaliação Do Desempenho Térmico De Barreiras Radiantes Formadas Através Da União Das Embalagens De Leite Longa Vida. **IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. 2007.

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

MODEST, M. F. **Radiative heat transfer**. Singapore: McGraw Hill Int. Editions, Singapore, p. 832, 1993.

MORAIS, D. M. de. Análise Do Conforto Térmico Em Protótipos De Habitações Para Usuários De Baixa Renda, Com Isolamento Térmico Reutilizando Embalagens Tetra Pak: Etapa 1. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Belo Horizonte. 2011.

RODRÍGUEZ-GÓMEZ J. E.; SILVA-REYNOSO, Y. Q.; VARELA-GUERRERO, V.; NÚÑEZ-PINEDA, A.; BARRERA-DÍAZ, C. E. Development of a process using waste vegetable oil for separation of aluminum and polyethylene from Tetra Pak. **Fuel**, v. 149, p. 90–94, 2015.

SARTOR, K.; SARUBBI, J.; LAZZARI, R.; SOUZA, S.; PAIM, R. W.; MEDEIROS, B. B. L. Utilização de embalagens Tetra Pak® como isolante térmico no revestimento de escamoteadores para leitões. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 67, n. 5, p.1449-1456, 2015.

SCHMUTZLER, L. O. F.; ARRUDA, A. C. F. de. **Projeto Forro Vida Longa – UNICAMP**. 2000. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~vidalong/>>. Acesso em: 14 jun. 2014.

SILVA, K. C. P. da; CAMPOS, A. T.; YANAGI JUNIOR, T.; CECCHIN, D.; LOURENÇONI, D.; FERREIRA, J. C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.388-404, jan/mar. 2019.

Tetra Pak® em coberturas. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 19, n. 1, p. 58–63, 2015.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. **Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído**, v. 7, p. 1277-1284, 2003.

XIE, M.; BAI, W.; BAI, L.; SUN, X.; LU, Q.; YAN, D.; QIAO, Q. Life cycle assessment of the recycling of Al-PE (a laminated foil made from polyethylene and aluminum foil) composite packaging waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4430-4434, 2016.

