

## **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL, DE PNEUMÁTICOS E DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES**

## **SUPPLY OF WASTE FROM THE PULP AND PAPER INDUSTRY, TIRES AND CIVIL CONSTRUCTION FOR THERMAL INSULATION IN BUILDINGS**

**Carolina A. B. Oliveira** <sup>(1)</sup>, **Maristela Gava** <sup>(2)</sup> (A), **Juliana C. Barbosa** <sup>(2)</sup>,  
**Elen A. M. Morales** <sup>(2)</sup>, **Karina A. Oliveira** <sup>(3)</sup>

(1) Graduanda em Engenharia Industrial Madeireira, UNESP Campus de Itapeva, Itapeva/SP, Brasil

(2) Profa.Assistente Dra., UNESP Campus de Itapeva, Itapeva/SP, Brasil

(3) Mestranda em Engenharia Mecânica, UNESP Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá/SP, Brasil

Endereço de contato: mgava@itapeva.unesp.br; (A) Apresentador

### **Código de identificação: T4-10**

#### **Resumo**

Em tempos de crescimento populacional e industrial, os resíduos descartados sem tratamento e de forma inadequada por residências e empresas é uma das principais causas de contaminação do solo e das águas. Tais resíduos acumulados em locais abertos permanecem por longos períodos de tempo, os quais podem ou não se degradar totalmente, contaminando o meio ambiente e atraindo diversos animais, além de promover a proliferação de fungos e bactérias. A reutilização desses resíduos como, por exemplo, para a obtenção de energia ou como matéria-prima para um novo produto, recuperando assim parte do seu valor econômico, seria uma destinação mais nobre e ecologicamente correta. À vista disso, o presente trabalho teve como objetivo a transformação dos resíduos industriais e da construção civil em um novo compósito com propriedades isolantes, apresentando uma alternativa para minimizar os impactos ambientais gerados pelo mau descarte desses resíduos, além de agregar valor a tais. Os resíduos utilizados na produção dos compósitos foram: lascas de borracha oriundas da recauchutagem de pneus, pedaços de gesso oriundo da construção civil e a polpa celulósica residual. Foram executados os ensaios de isolamento térmico. Os resultados obtidos nos testes sinalizam aplicações substancialmente propícias deste compósito como placas para isolamento térmico em edificações.

**Palavras chave:** reciclagem; polpa celulósica; borracha; gesso

#### **Abstract**

*In times of population and industrial growth, the discarded residues without treatment and in an inadequate way by the residences and companies is one of the main causes of the ground and waters contamination. These accumulated residues in open places remain for long periods, which are able or not to totally degrade, contaminating the environment, and attracting diverse animals, beyond promoting the proliferation of fungi and bacteria. The reuse of these wastes, for example, to obtain energy or as a raw material for a new product, thus recovering part of its economic value would be a nobler and ecologically correct destination. In front of this, the present research aimed the transformation of the industrial and civil construction residues in a new composite with isolating properties, presenting an alternative to minimize the environmental impacts generated by the bad disposal of these wastes besides adding value to them. The residues used in the production of the composite were: rubber chips from the retreading of tires, plaster pieces from construction and the residual cellulosic pulp. The thermal isolation test were executed. The results obtained in the tests indicate substantially propitious applications of this composite as board for thermal isolation in buildings.*

**Keywords:** recycling; cellulosic pulp; eraser; plaster

## 1. INTRODUÇÃO

A excessiva produção de lixo urbano e industrial, combinada com a insuficiência de locais adequados para a sua disposição final, tornou-se um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade atual. Os resíduos depositados no meio ambiente aumentam a poluição do ar, do solo e das águas além de agravar as condições de saúde da população [1].

Em consequência da alta geração de resíduos, iniciou-se a busca de alternativas para sua destinação e reaproveitamento. Novas tecnologias e métodos de redução, reutilização e reciclagem estão sendo desenvolvidas a fim de recuperar o valor econômico do resíduo e diminuir a quantidade que necessitam de uma disposição final adequada.

Toda e qualquer atividade humana, independente de sua natureza, gera diversos tipos de materiais residuais e promove alterações ao meio ambiente em seu entorno. O setor da construção civil é responsável por cerca de 61% dos resíduos sólidos urbanos [2]. Dentre os materiais que mais geram resíduos neste setor, está o gesso que, segundo a pesquisa do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE, as obras de acabamento envolvendo esse material vêm crescendo 76% ao ano, ficando entre as atividades que mais crescem no ramo da construção civil [3]. O volume de resíduo gerado durante a produção dos componentes de gesso depende muito do processo de produção (mecanizado ou manual), podendo ocorrer também perdas no processo de desforma, ao longo do transporte e da aplicação do componente no canteiro de obra [4].

Os resíduos de gesso oriundos de atividade de construção e demolição tiveram sua disposição estabelecida pela Resolução CONAMA 307/2002, onde foram classificados como resíduos de classe “C”, resíduos sem reciclagem e que necessitam de tratamentos especiais, por causa do seu potencial tóxico, liberação de gases inflamáveis, contaminação do lençol freático e do solo quando dispostos irregularmente no ambiente. Essa classificação foi revista pela Resolução CONAMA 431/2011, onde os resíduos de gesso foram reclassificados na classe “B”, recicláveis para outras destinações [5]. A mudança se deu após a iniciativa da Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall - DRYWALL, os quais realizaram estudos para a comprovação da sua possível reciclagem [6].

Visando o reaproveitamento do gesso, pode-se utilizá-lo como material aglutinante na produção de novos compósitos, agregando a essa base, cerâmica outros tipos de materiais que são dispostos no meio ambiente, reduzindo assim a quantidade de materiais descartados de maneira inadequada.

Outro material que pode vir a ser utilizado na produção de novos compósitos é a borracha de pneumáticos. Os pneus são facilmente encontrados nos lixões, ruas, terrenos abandonados e rios, pela diversidade de produtos utilizados para a sua composição. O destino incorreto do pneu transformou-se em um grande risco ao meio ambiente.

Vários programas de reutilização de pneus estão sendo desenvolvidos com a intenção de recuperar esse material, aumentando assim o seu ciclo de vida e diminuindo os impactos ambientais causados por eles. Um desses programas é a recauchutagem. No Brasil, a recauchutagem atinge aproximadamente 70% de toda a frota de transporte de passageiros e carga. Durante esse processo, as bandas dos pneus tornam-se resíduos de borracha vulcanizada em formato de cavacos, grânulos e pó, que têm sido descartados sem nenhuma forma de controle. Esse tipo de resíduo apresenta elevado risco de incêndio cuja extinção é dificultada pelo fato de apresentarem grandes quantidades de derivados de petróleo em sua composição [7].

Outro setor que também gera uma grande quantidade de resíduos é o de papel e celulose. Cerca de 2% da produção total de uma indústria de celulose, corresponde à polpa residual que será descartada e que pode ser incorporada a outros materiais para a produção de compósitos de modo a melhorar suas propriedades mecânicas, acústicas e térmicas, pois apresenta alta capacidade de absorver energia [8].

## 2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi analisar a possibilidade da aplicação de um compósito formado por resíduos industriais e da construção civil, como isolante térmico em edificações.

## 3. MATERIAIS E MÉTODO

Para a produção do novo compósito foram utilizados os resíduos de gesso, lacas de borracha proveniente de recauchutagem de pneus e polpa celulósica residual úmida.

### 3.1 Estudo preliminar

Como estudos sobre o compósito gesso reciclado-borracha-polpa celulósica (GRBP) ainda não foram realizados e as suas propriedades e proporções ideais não são conhecidas, verificou-se a necessidade da realização de um estudo preliminar para analisar o comportamento em conjunto desses três materiais e identificar as proporções ideais de gesso reciclado, água, borracha e polpa celulósica para que o compósito desenvolvido apresentasse boa aparência física, resultante da boa interação entre os componentes.

Primeiramente foram realizados testes para analisar o processo a ser empregado na reciclagem do gesso. Foram produzidos 2 corpos de prova (Figura 1), um utilizando gesso comercial (G) e outro utilizando gesso reciclado (GR) através do processo descrito no item 3.2 deste artigo. A proporção utilizada de água e gesso foi 1:1.

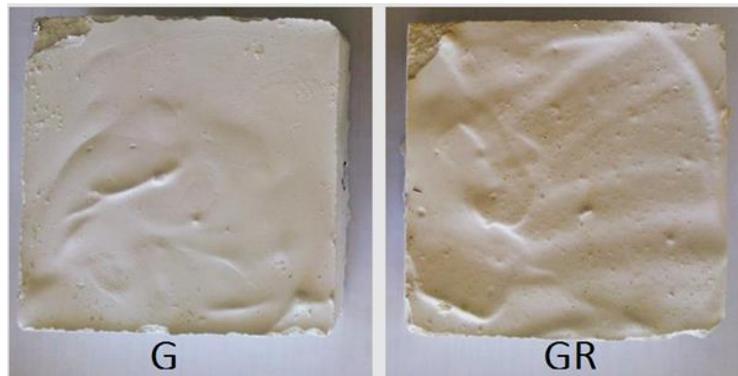


Figura 1: Corpos de prova produzidos com gesso comercial (G) e com gesso reciclado (GR) para avaliação da viabilidade do processo de reciclagem

Verificou-se de forma empírica que tal processo é satisfatório para a reciclagem do gesso, produzindo um corpo de prova resistente ao manuseio e de aparência semelhante ao produzido com gesso comercial.

A segunda etapa foi produzir mais 5 corpos de prova com dimensões 10x10x3cm, do compósito GRBP (Figura 2). Os corpos de prova foram produzidos utilizando água, gesso reciclado, borracha e polpa nas respectivas proporções apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Proporções, em massa, dos componentes do compósito gesso reciclado, borracha, com adição de polpa celulósica (GBP)

Amostra	Proporção	Gesso (g)	Água (g)	Borracha (g)	Polpa (g)
GRBP1	1:0,5:0,125:0,125	400	200	50	50
GRBP2	1:1:0,25:0,25	200	200	50	50
GRBP3	1:1:0,5:0,5	150	150	75	75
GRBP4	1:0,5:0,5:0,5	400	200	200	200
GRBP5	1:0,5:0,25:0,25	400	200	100	100

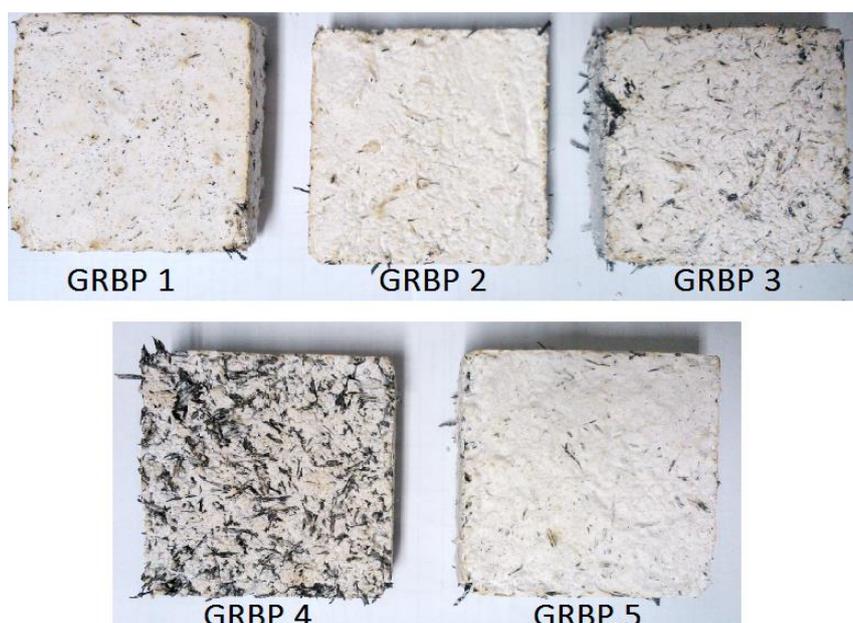


Figura 2: Corpos de prova produzidos com as misturas de gesso reciclado, resíduo de borracha e polpa celulósica, segundo os traços 1:0,5:0,125:0,125 (GRBP1), 1:1:0,25:0,25 (GRBP2), 1:1:0,5:0,5 (GRBP3), 1:0,5:0,5:0,5 (GRBP4), 1:0,5:0,25:0,25 (GRBP5)

Devido à maior quantidade de água em relação aos demais materiais o GRBP1 foi o traço mais leve, no entanto a quantidade de resíduos utilizados foi muito pequena. Analisando as proporções e as características das peças, foram escolhidos os traços GRBP4 e GRBP5 para dar continuidade ao trabalho. Esses traços foram escolhidos por apresentarem leveza e maior quantidade de resíduos de borracha e polpa em sua composição.

### 3.2 Reciclagem do gesso

Teve-se como objetivo ao longo desse processo a realização da reciclagem dos resíduos de gesso empregando-se o procedimento definido por [9]. O processo foi realizado através das seguintes etapas:

- Secagem dos resíduos de gesso em estufa: Os resíduos maiores foram fragmentados com o auxílio de um martelo para que ocorresse uma secagem mais eficiente e uniforme. Os pedaços de gesso foram distribuídos em fôrmas de alumínio de modo mais uniforme possível e a secagem se realizou em temperatura de  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  pelo período de 24 horas.

- Moagem: O processo de moagem melhora a calcinação do gesso e produz, em grande parte, um resíduo em pó e um pouco de resíduo com granulometria semelhante a grãos de areia fina. A moagem foi realizada com o auxílio de um moinho.

- Peneiramento: Com o auxílio de uma peneira foram obtidas três granulometrias do gesso: material retido em peneira de abertura 1mm, material passante em peneira de abertura 1mm e material passante em peneira de abertura 0,425mm. Neste trabalho convencionou-se utilizar a mistura dos materiais passantes em peneira de abertura 1mm e 0,425mm.

- Calcinação: O processo de calcinação foi realizado em estufa. O material foi dividido em formas contendo 1 kg cada, formando uma camada fina, de modo a assegurar a queima uniforme. A calcinação foi realizada em temperatura de  $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pelo período de 24 horas.

### 3.3 Preparo dos corpos de prova

Para a realização do ensaio de isolamento térmico foi necessário produzir corpos de provas com dimensões de 30cm x 30cm x 5cm, sendo três para cada uma das duas diferentes proporções escolhidas anteriormente pelo teste preliminar: GRBP4 e GRBP5.

O processo de mistura dos componentes foi o mesmo para os dois tratamentos, sendo realizado manualmente e dividido em duas etapas: primeiro a homogeneização do gesso reciclado com a água, posteriormente a adição da borracha e, em seguida, da polpa celulósica (Figura 3).



Figura 3: Mistura dos componentes para produção dos corpos de prova para ensaio térmico

As misturas foram transferidas para os moldes envoltos em papel alumínio para facilitar a posterior desmoldagem, ficando armazenadas no laboratório em ambiente aberto por 24 horas para perderem o excesso de água. Após esse tempo, os corpos de prova foram desmoldados e levados para estufa à temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  pelo período de 24 horas para que ocorresse a secagem completa.

### 3.4 Ensaio de isolamento térmico

Para o ensaio de isolamento térmico foi utilizada uma mufla, termômetro equipado com dois sensores de temperatura e duas placas com dimensões nominais de 30x30x2,5cm, sendo uma de aço e uma de Oriented Strand Board (OSB).

Os sensores foram instalados nas interfaces aço/amostra e amostra/OSB, conforme mostrado no esquema da Figura 4.

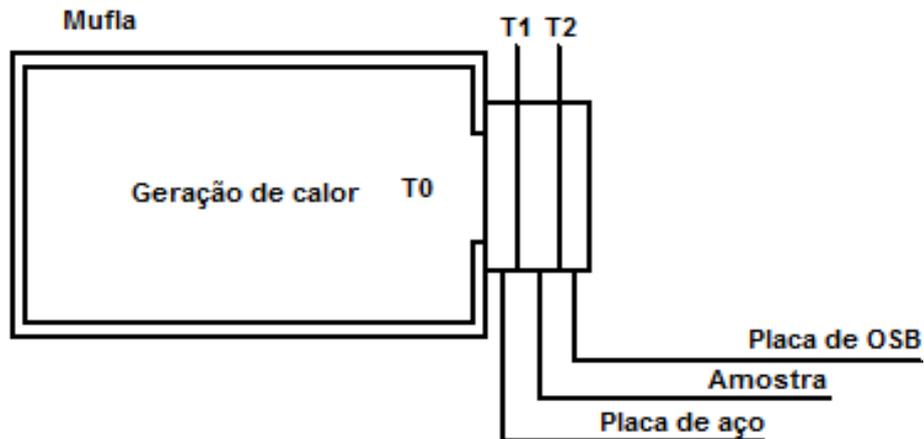


Figura 4: Esquema do aparato montado para o teste de isolamento térmico.

O teste consistiu em medir as temperaturas na interface aço/amostra (T1) para verificar a quantidade de calor que chegou na face 1 do corpo de prova e na interface amostra/OSB (T2) para verificar a temperatura na face 2 do corpo de prova. Desse modo foi possível determinar a quantidade de calor recebida e transmitida pelo compósito (Figura 5). A mufla foi regulada para fornecer 80°C.



Figura 5: Ensaio de isolamento térmico

As medições das temperaturas tiveram duração de 100 minutos e os valores foram anotados em intervalos de 5 minutos.

Para a análise dos resultados e para efeito de comparação foram ensaiados 3 corpos de prova de cada material, sendo eles: GRBP4, GRBP5, lã de vidro e poliestireno expandido, comercialmente conhecido no Brasil como Isopor.

### 3.5 Análise

Os resultados obtidos foram avaliados com base em Análise de Variância (ANOVA). Foi utilizado o teste de Tukey sempre que observadas diferenças significativas entre as médias, ao nível de 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa SISVAR versão 5.3 para a análise estatística e os dados foram tratados no *Excel* 2013.

## 4. RESULTADOS

O ensaio de isolamento térmico realizado neste trabalho possibilitou a avaliação do comportamento térmico dos compósitos, mediante a análise da variação das temperaturas ( $\Delta T$ ) nas faces dos materiais.

Os gráficos das figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os dados coletados de temperatura para T0, T1 e T2, durante a realização dos ensaios nos corpos de prova GRBP4, GRBP5, Isopor e Lã de vidro respectivamente.

As temperaturas registradas pelo termômetro localizado no interior da mufla (T0) indicam um rápido aquecimento inicial do equipamento, seguido de quedas e aumentos na temperatura, a fim de se manter no valor de 80°C, para a qual foi regulada inicialmente. Contudo, pode-se observar nos gráficos que apesar de ocorrer variações na temperatura T0, o que se tornou um fator limitante para o estudo do coeficiente de condutividade térmica (K) dos compósitos, as temperaturas obtidas nas interfaces aço/amostra (T1) e amostra/OSB (T2) aumentaram gradativamente até se estabilizarem.

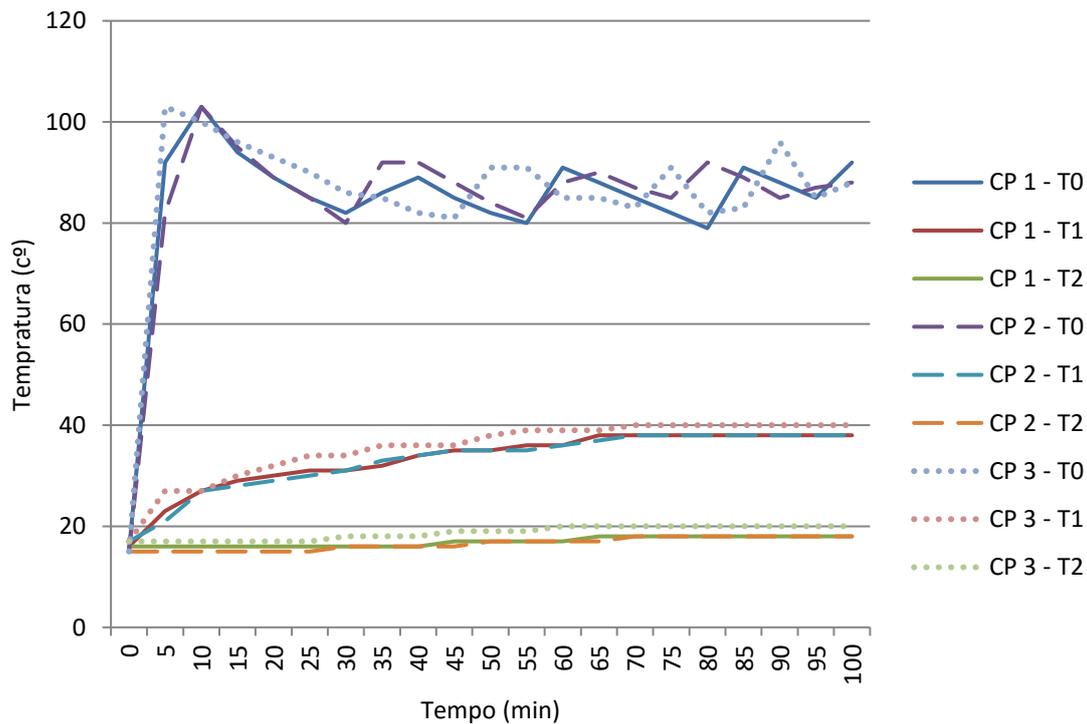


Figura 6: Variação das temperaturas T0, T1 e T2 referentes à amostra de GRBP4

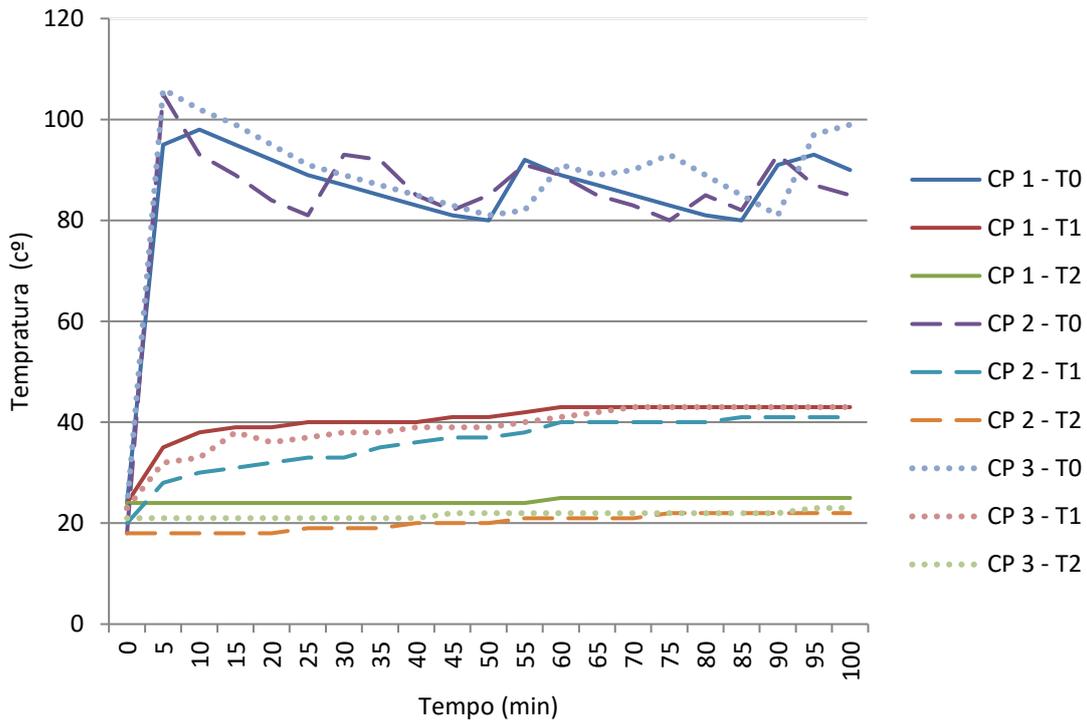


Figura 7: Variação das temperaturas T0, T1 e T2 referentes à amostra de GRBP5

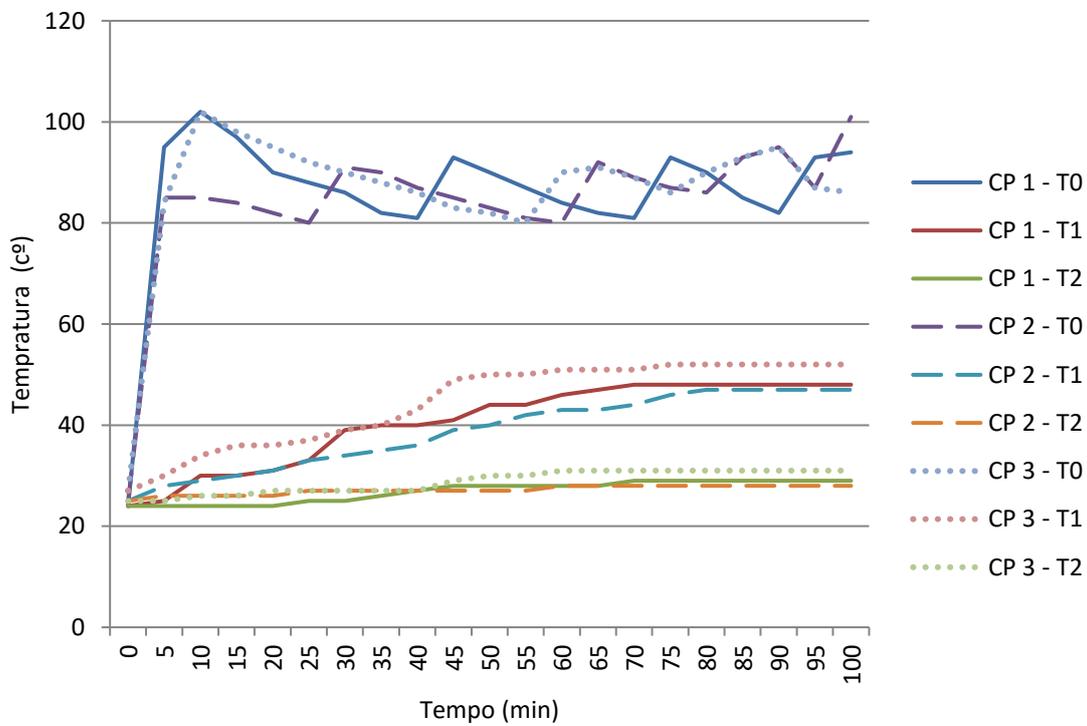


Figura 8: Variação das temperaturas T0, T1 e T2 referentes à amostra de isopor

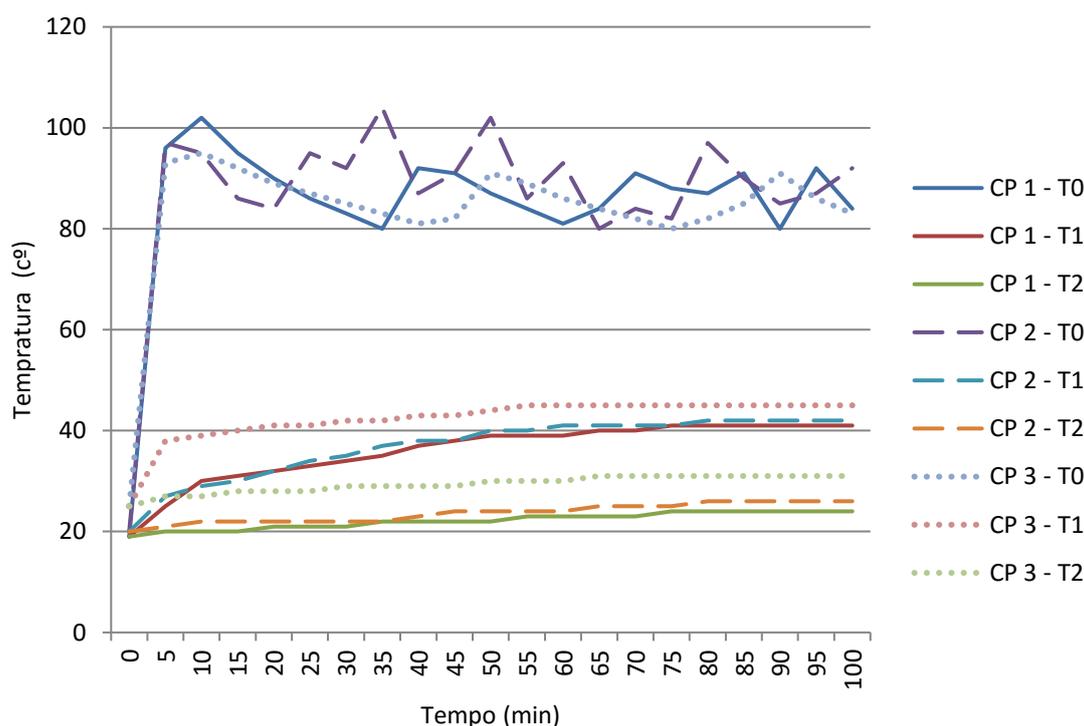


Figura 9: Variação das temperaturas T0, T1 e T2 referentes à amostra de lã de vidro

Para maior confiabilidade dos resultados optou-se por considerar os valores registrados após 60 minutos do início das medições, desconsiderando assim, a inércia térmica do conjunto mufla-amostra-OSB para a realização do estudo da variação e do gradiente de temperatura.

Analisando os dados apresentados na Tabela 2, foi possível observar que as maiores diferenças de temperatura na face de entrada e saída dos corpos de prova foram registradas para as amostras dos traços estudados, GRBP4 e GRBP5, com a média de 19,85°C e 19,07°C respectivamente. Ao se analisar o gradiente de temperatura (grandeza expressa em unidade de temperatura por unidade de comprimento) os valores variaram entre 3,61°C/cm e 4,10°C/cm ficando acima dos demais materiais testados.

Tabela 2: Variação e gradiente de temperatura

Amostra	Repetição	$\Delta T$ (T1-T2) (°C)	Espessura (cm)	Grad. Temp. (°C/cm)
GRBP4	1	19,89	5,2	3,82
GRBP4	2	19,89	5,21	3,82
GRBP4	3	19,78	5,18	3,82
GRBP5	1	18,0	4,99	3,61
GRBP5	2	18,78	4,99	3,76
GRBP5	3	20,44	4,99	4,10
Isopor	1	18,89	4,97	3,8
Isopor	2	17,67	4,96	3,56
Isopor	3	20,67	4,97	4,16
Lã de vidro	1	16,89	5	3,38
Lã de vidro	2	16,11	5	3,22
Lã de vidro	3	14,11	5	2,82

Os resultados experimentais demonstrados no gráfico da Figura 10 permitem verificar que houve efeito significativo dos tratamentos sobre a resistência a transmissão térmica. A resistência à transmissão térmica produzida pelos tratamentos GRBP4, GRBP5 e o isopor não se diferiram estatisticamente e a lã de vidro foi considerada estatisticamente inferior aos demais materiais em resistência a transmissão térmica, pelo teste Tukey ao nível nominal de 5% de significância.

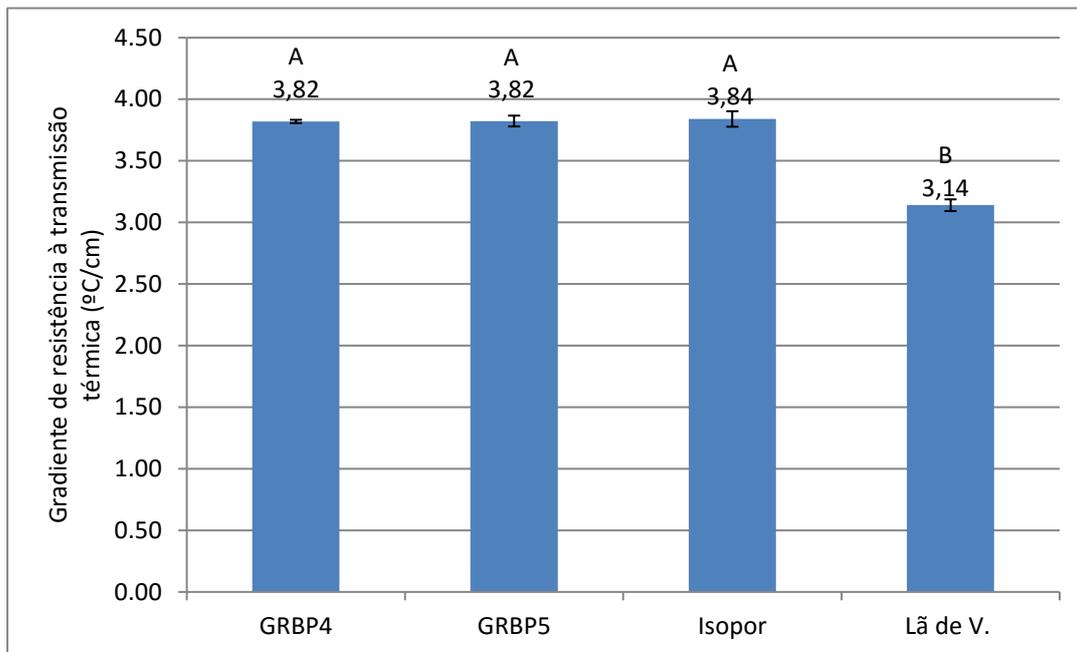


Figura 10: Média do gradiente de resistência à transmissão térmica (°C/cm) para os tratamentos GRBP4, GRBP5, isopor e lã de vidro

Os compósitos GRBP4 e GRBP5 apresentaram, estatisticamente, a mesma capacidade de resistência à transmissão térmica do isopor. Apesar de serem mais pesados, os compósitos produzidos neste trabalho apresentam a vantagem de utilizar em sua composição materiais já descartados, retirando-os de uma possível disposição final inadequada no meio ambiente. O isopor, por sua vez, é obtido a partir do petróleo e, além disso, apresenta um tempo de decomposição elevado quando disposto no ambiente.

Observando-se ainda o gráfico da Figura 10 verifica-se também que a proporção de resíduos utilizada não interferiu na resistência à transmissão térmica do compósito, visto que ambos apresentaram o mesmo valor em relação ao gradiente de redução térmica. Isso significa que é possível utilizar uma maior quantidade de resíduos de polpa celulósica e de borracha, sem prejuízo da eficiência térmica do compósito. Significa também que pode ser utilizada uma menor quantidade de gesso reciclado, tornando o compósito ainda mais amigável ambientalmente, pois, a reciclagem do gesso é um processo que consome energia elétrica em algumas de suas etapas.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que é tecnicamente viável a produção de um compósito utilizando resíduos da indústria de papel e celulose, de pneumáticos e da construção civil para utilização como isolante térmico em edificações.

Os compósitos GRBP (gesso reciclado-borracha-polpa celulósica) apresentaram resultados positivos quanto a seu uso como isolante, com valores superiores que a lã de vidro e equivalentes ao isopor, materiais frequentemente utilizados para isolamento térmico e acústico em edificações.

Considerando os benefícios que a utilização desses resíduos pode trazer, tanto econômico como ecológico, é necessário que reformadores, recauchutadores e empresas fabricantes de gesso e polpa celulósica trabalhem em parceria com universidades, para que juntos realizem pesquisas e encontrem possíveis soluções ambientalmente corretas que venham a auxiliar na solução do grave problema que é a disposição final desses resíduos no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Almeida Júnior, A. R. ‘Reaproveitamento de pneus inservíveis: determinação em laboratório das características do asfalto modificado SBS comparadas às do asfalto com pó de borracha.’ Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru (2012).
- [2] Pinto, T. P.; González, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil, v. 1; p. 181, 2005.
- [3] SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. ‘Os negócios promissores em 2015, 2014.’ Disponível em: <[http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Menu%20Institucional/SebraeNA\\_EMP\\_Negocios\\_Promissores\\_2015.pdf](http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Menu%20Institucional/SebraeNA_EMP_Negocios_Promissores_2015.pdf)> Acesso em 5 abr. 2016.
- [4] Aguiar, L. R. ‘Avaliação da ecoeficiência de programas e projetos ambientais voltados às micro e pequenas empresas do pólo gesseiro do Araripe, Estado de Pernambuco.’ Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife (2007).
- [5] CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. – In: Resoluções, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> em: 20 abr. 20016.
- [6] DRYWALL – Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall. Resíduos de gesso na construção civil: Coleta, armazenagem e destinação para reciclagem, 2009. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/18018FE8/Cartilha\\_Residuosgesso.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/18018FE8/Cartilha_Residuosgesso.pdf)>. Acesso em 5 abr. 2016.
- [7] Rodrigues, M. R. P. ‘Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil.’ Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP(2008).
- [8] Oliveira, M. P. ‘Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e Vermiculita: Otimização de misturas e propriedades termomecânicas.’ Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (2009).
- [9] Bardella, P. S. ‘Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado.’ Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas (2011).