

# **AMBIENTAÇÃO TÉRMICA DE CASAS DE MADEIRA UTILIZANDO ARGAMASSA CONTENDO REJEITOS DE CASCA DE ARROZ, BORRACHA (PNEU) OU GARRAFA PET TRITURADA.**

## **WOOD HOUSES THERMAL ISOLATION USING MORTAR CONTAINING PEELS OF RICE REJECTS, RUBBER (TYRE) OR REJECT BOTTLE'S TYPE PET.**

**Leonardo E. Guimarães<sup>(1)</sup>; Rejane Maria Candiota Tubino<sup>(2)</sup>; Ricardo Ferreira<sup>(3)</sup>**

(1) *Engenheiro Civil, M.Sc., Diretor Técnico da Padrão Engenharia e Consultoria Ltda.*  
E-mail: [leg@brturbo.com](mailto:leg@brturbo.com)

(2) *Professora Doutora do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG)*

(3) *Eng. Civil, M.Sc. Centro Tecnológico de Engenharia Civil – FURNAS Centrais Elétricas S.A.*

*Departamento de Apoio e Controle Técnico de Furnas Centrais Elétricas S.A.;*  
*Caixa Postal 457, Goiânia - GO, Brasil – CEP 74001-970*

### **Resumo**

O objetivo deste trabalho é buscar alternativas para reaproveitamento de rejeitos de garrafa PET, pneu e casca de arroz. A alternativa proposta é sua reutilização como adição em argamassa de enchimento de painéis tipo sanduíche para paredes externas de casas de madeira, visando obter melhor desempenho térmico. Verificou-se que os protótipos avaliados apresentam, considerando isolamento térmico, melhor desempenho que os projetos oferecidos regularmente pelos fabricantes de casas de madeira. Considerando o enfoque principal do trabalho, conclui-se que é possível ambientar melhor as edificações de madeira inserindo novos materiais em seus sistemas construtivos. No grupo de amostras onde foi adotado gesso como aglomerante, quando se analisa o desempenho destas camadas, verifica-se variabilidade muito pequena entre elas, já que todas propiciaram reduções de temperatura, entre as interfaces internas e externas do sanduíche, muito próximas de setenta por cento.

*Palavras-Chave: resíduo, casa de madeira, isolamento térmico, parede sanduíche.*

### **Abstract**

The objective of this work is to look for alternatives for reuse of the bottle's reject type PET, tire and peel of rice. The alternative proposal is reuse of this reject as addition in stuffing's mortar of panels type sandwich for external walls of wood houses, seeking to obtain better thermal acting. It was verified that the appraised prototypes present, considering thermal isolation, better acting than the projects offered regularly by the manufacturers of wood houses. Considering the main focus of the work concluded that is possible to adapt the wood constructions better inserting new materials in their constructive systems. In the group of samples where plaster was adopted as binder, when the acting of these layers is analyzed, very small variability is verified among them, since all propitiated temperature reductions, among the internal and external layers of the sandwich, very close of seventy percent.

*Keywords: residue, wood house, thermal isolation, sandwich wall.*

# 1 Introdução

O desenvolvimento tecnológico crescente associado a profundas mudanças no modo de vida contemporâneo, tem gerado volumes de rejeitos cada vez maiores, os quais poderão se tornar um pesadelo para a humanidade se não forem tomadas medidas para reduzir as quantidades encaminhadas diariamente para os lixões ou aterros sanitários. Como consequência destes eventos surgiram as leis ambientais e a sociedade como um todo passou por um processo de conscientização, levando as empresas e a própria sociedade a se preocuparem com a transformação de seus rejeitos em resíduos (OLIVEIRA; CASTRO, 2002).

A reciclagem tem sido adotada como alternativa nesta transformação já que, neste caso, estes rejeitos são encaminhados para reaproveitamento em substituição à matéria-prima virgem e, ainda, contribuem para gerar novos empregos e economizar energia no processo industrial (ZANIN, 2001).

Em Goiás, estado voltado eminentemente para o agro-negócio e a prestação de serviços, entre os rejeitos mais produzidos pela sociedade listam-se a casca de arroz, os pneus e os lixos plásticos. Entre os rejeitos plásticos, o PET é considerado um dos maiores poluentes gerados pelos processos de produção.

Assim, o objetivo deste trabalho é buscar alternativas para reaproveitamento destes materiais, evitando lançá-los no meio-ambiente, encaminhando-os para um processo de reciclagem. A alternativa proposta para este aproveitamento foi sua reutilização como compósito em argamassa de enchimento de painéis tipo sanduíche para paredes externas de casas de madeira. Pretende-se, ao avaliar o comportamento destes painéis, fornecer elementos para que os engenheiros, tecnologistas, industriais, arquitetos e todos aqueles que venham utilizar estes dados possam projetar e especificar adequadamente os materiais a serem empregados em construções de madeira, considerando na medida de sua importância, os fatores relacionados ao conforto térmico e às condições de habitabilidade.

Diversos estudos já foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o comportamento de materiais com potencial para serem empregados como recheio em paredes externas de edificações de madeira. O que diferencia este dos demais é que aqui se objetivou verificar o comportamento de alguns rejeitos gerados em larga escala pela sociedade de consumo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Os materiais auxiliares adotados neste trabalho foram: a madeira como referência para mercado fornecedor de casas produzidas com este material, gesso como aglomerante e vermiculita.

Entre os fornecedores de sistemas construtivos em madeira de lei consultados, para decidir que tipo de amostras adotar para a confecção dos protótipos destinados à elaboração dos ensaios necessários à execução do trabalho, constatou-se que, em sua grande maioria, empregam-se sistemas constituídos de tábuas horizontais, com espessuras variando entre 35 mm e 45 mm.

Entre as propriedades do gesso que contribuíram para sua escolha como aglomerante citam-se as propriedades termo-acústicas, as baixas massa específica e combustibilidade. Contribuiu também sua habilidade para ser empregado sob forma de pasta para enchimento, argamassa ou chapas e o fato de ser um material fácil de cortar (AGOPYAN, 1988). A intenção ao se empregar vermiculita foi reduzir a comburência e a massa específica do compósito produzido e melhorar o desempenho térmico e acústico dos painéis (ALVES, 1986; CASTRO, 2001).

Os materiais adotados como objeto específico da pesquisa foram os resíduos de pneus, a garrafa PET triturada e a casca de arroz *in natura*.

Enfocando os pneus, os resíduos empregados são as fibras provenientes do seu processo de reparo, para reconstituição de suas reentrâncias, através de processos como a recauchutagem ou a “*perucagem*” (Figura 1). Propositadamente, não foi feito nenhum processo de seleção ou classificação, ou seja, as fibras foram empregadas como produzidas.

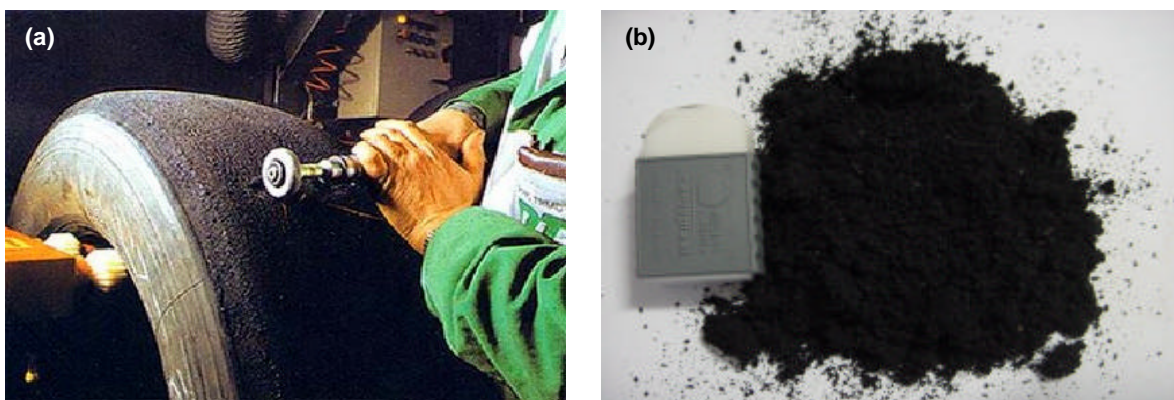


Figura 1 - (a) Processo de preparação do pneu para a recauchutagem e (b) resíduo proveniente do processo de preparação do pneu para recauchutagem.

As garrafas do tipo PET adotadas no experimento foram as trituradas em forma de flocos, como são fornecidas pelas empresas recicladoras (Figura 2a), e a casca de arroz foi empregada *in natura*, sem nenhum processo de tratamento (Figura 2b). A intenção, ao se proceder desta forma, foi não interferir nas características destes rejeitos, evitando agregar custos que poderiam não agregar valor e perder competitividade.

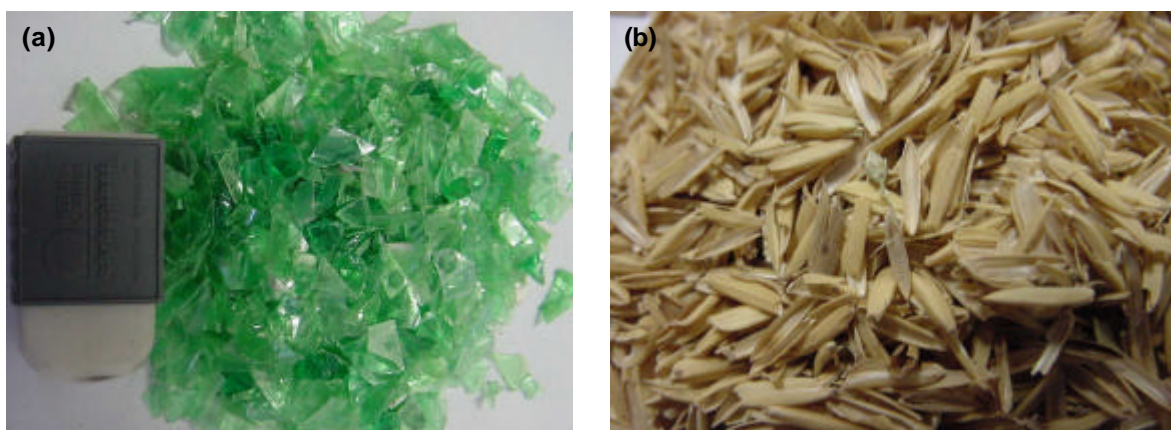


Figura 2 - (a) Garrafa PET triturada na forma de flocos e (b) casca de arroz *in natura*.

Para cada um dos materiais objeto da pesquisa foram preparadas amostras (unidades de ensaio) em argamassa, com as dimensões de 300 mm x 300 mm x 50 mm. Adotou-se, como referência, uma amostra com argamassa de gesso e vermiculita e outra em puro

gesso nas mesmas dimensões. Desta forma foram preparadas quinze peças em argamassa de gesso, distribuídas em cinco grupos, com três peças para cada material, a saber: gesso, vermiculita e resíduo de pneu (GVB); gesso, vermiculita e casca de arroz (GVCA); gesso, vermiculita e flocos de PET (GVP); gesso e vermiculita (GV); gesso (G).

Como a proposta específica é comparar o desempenho térmico de painéis usados em paredes externas de casas de madeira, produzidas pelo diversos fabricantes, com os estudados neste trabalho, tornou-se necessário, para ter elementos para comparação, executar também três tipos de amostras de referência em madeira. Estas amostras estão detalhadas na Tabela 1, que se segue, e são iguais àquelas mais usadas no mercado, a saber: peça maciça em madeira de lei (angelim) com espessura de 35 mm (Protótipo 1) e de 45 mm (Protótipo 2); painel composto de compensado de 15 mm e madeira de lei com espessura de 35 mm, com caixão vazio (ar) de 50 mm entre os mesmos (Protótipo 3), perfazendo uma espessura total de 100 mm. Verifica-se, desta forma, que os Protótipos 1 e 2 são compostos apenas pela camada 3, de madeira maciça.

Tabela 1 - Detalhamento dos protótipos ensaiados.

Protótipo	1	2	3	4	5	6	7	8
Camada 1	---	---	Compensado de 15 mm					
Camada 2 (50 mm)	---	---	Vazio	GVB	GVCA	GVP	GV	G
Camada 3	35	45	Madeira maciça de 35 mm					
Espessura total (mm)	35	45	100	100	100	100	100	100

Na composição final dos painéis foram então avaliadas oito alternativas para paredes externas, sendo três em madeira, conforme detalhado acima e cinco com espessura total de 100 mm, compostas como se mostra também na Tabela 1 (Protótipos 4, 5, 6, 7 e 8). As Figura 3 ilustra esta montagem.



Figura 3 - Seqüência de montagem das amostras sobre a caixa quente. (a) disposição das peças em madeira maciça (Camada 3); (b) disposição do componente central do sanduíche (Camada 2) e (c) disposição das peças de compensado (Camada 1).

A seguir discrimina-se, exemplificativamente, para maior clareza, um caso de parede contendo gesso e resíduo de pneu (Protótipo 4 - GVB), ou seja, este sanduíche é composto de compensado de 15 mm (Camada 1), acrescida de peça de gesso, vermiculita e borracha (GVB - Camada 2), e peça maciça em madeira de lei com espessura de 35 mm (Camada 3). Os Protótipos 5 (GVCA), 6 (GVP), 7 (GV) e 8 (G) seguem o mesmo critério e estão também detalhados na Tabela 1.

## 2.2 MÉTODOS

Com base na revisão da literatura e na recomendação do fabricante de gesso, adotou-se inicialmente uma dosagem de traço 0,7:1,0 (água: gesso), em massa, para moldar os protótipos de referência de puro gesso. O gesso usado foi do tipo usado para revestimento, por se tratar de produto com menos impurezas, ficando assim mais fácil de controlar seu tempo em aberto.

Posteriormente acrescentou-se a vermiculita expandida, como adição, ao traço anterior, em uma dosagem experimental, em massa, nas proporções 0,7:1:0,14 (água: gesso: vermiculita), a qual foi corrigida para 0,7:1:0,12, que melhor se adequou às necessidades do trabalho.

Na seqüência do experimento, ao se proceder a dosagem dos demais traços, a parcela correspondente a vermiculita foi sendo substituída pelos materiais objeto da pesquisa específica, ou seja, casca de arroz, resíduo de pneu e garrafa PET triturada, sempre retirando metade da vermiculita e substituindo pelo material a ser usado, na mesma quantidade, em massa. Assim os traços finais do objeto da pesquisa foram 0,7:1:0,06:0,06 (água: gesso: vermiculita: casca de arroz ou resíduo de pneu ou PET), em massa.

Para expor os materiais às condições de ensaio, foi executada uma caixa em madeira, nas dimensões 600 mm x 1200 mm x 200 mm, revestida internamente em papel alumínio, visando reduzir as perdas de calor e assegurar a todos eles as mesmas condições de exposição.

A caixa destina-se à colocação das oito alternativas de protótipos simultaneamente sob efeito de uma fonte de calor radiante proporcionado por oito lâmpadas de 60 W, distribuídas uniformemente em seu interior. A intenção com este procedimento foi levar os protótipos em exposição a alcançar temperaturas acima daquelas encontradas em ensaios de mesma natureza e das recomendadas pela UEAtc (80°C) (apud LOBATO PAES, 2000).

Segundo Lobato Paes (2000), em levantamentos reais medidos com termômetro de superfície, em horários críticos (10 h, 12 h e 16 h), em seis prédios da cidade de Goiânia, no mês de abril, para fachadas revestidas com cerâmica de alto coeficiente de absorção (cores escuras) as temperaturas variaram entre 59°C e 67°C.

Para assegurar a igualdade das condições de exposição, as amostras foram colocadas na caixa em posições alternadas, nos dias de ensaio. Estes ensaios foram feitos em três dias diferentes. Na Figura 3 mostra-se a seqüência de montagem do aparato para a realização do experimento.

Para leitura das temperaturas dos protótipos foram monitoradas as temperaturas superficiais no eixo da face mais interna (interface 4) e da face mais externa (interface 1) dos oito conjuntos de materiais. Estas medições foram feitas em três dias distintos, em horários diferentes, de hora em hora, ou seja, após uma, duas, três e quatro horas de exposição à fonte de calor radiante. Para ter uma leitura de referência foram feitas leituras destas mesmas faces antes de acionar a fonte de calor. Procedeu-se também, no final de cada dia de experimento, leitura direta de todas as faces do conjunto, no eixo das interfaces. Na Fotografia 4 mostram-se as interfaces mencionadas.

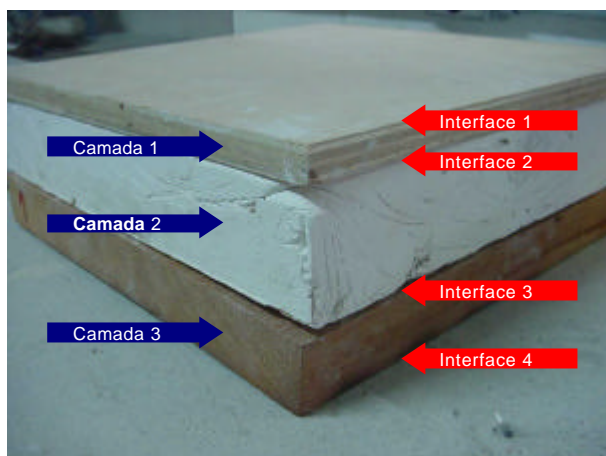


Figura 4 - Definição e designação das três camadas e quatro interfaces que compõem o sanduíche a ser ensaiado.

As temperaturas das amostras foram acompanhadas e medidas em condições diferentes, considerando a umidade dos corpos-de-prova, visto que no primeiro ensaio as medições foram feitas à umidade ambiente.

Para o segundo ensaio as amostras foram levadas à estufa, à temperatura de 105°C, por um período de 48 h. Ao serem retiradas da estufa, foram pesadas e passaram por um processo de resfriamento por ventiladores, até atingirem temperatura necessária para retornarem aos ensaios na câmara de calor.

No terceiro ensaio os corpos-de-prova foram colocados novamente na estufa, por 120 h, quando apresentaram variação de massa desprezível. Ao serem retirados da estufa, foram pesados e passaram 24 h em um ambiente com temperatura e umidade controladas, visando padronizar a temperatura de seus interiores, procurando manter a umidade dos mesmos.

Enfocando os equipamentos utilizados nos ensaios, para acompanhamento das variações de temperatura superficial dos materiais adotou-se um termômetro digital de superfície (pirômetro) com mira a laser.

As temperaturas ambientes e umidade relativa do ar foram acompanhadas com o uso de um termo-higrômetro analógico e sistemas termopares acoplados a leitoras de dados. Termopares também foram utilizados para monitorar as temperaturas dos locais onde havia dificuldade de acesso às faces objeto de leitura, o interior da caixa de calor e a sala ambiente de ensaio.

Para leitura das informações fornecidas por estes termopares foram usados controladores lógicos programáveis. Os termopares usados foram do tipo T e K. A estufa usada para secagem dos protótipos ensaiados foi um modelo para temperaturas de até 200°C.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do trabalho serão apresentados e analisados os resultados encontrados nos ensaios. Pelo gráfico da Figura 5, que mostra as médias das temperaturas das quatro interfaces, nos três dias de ensaio, é possível verificar que, enfatizando o desempenho térmico, as temperaturas dos protótipos objeto de avaliação podem ser divididos em três grupos.

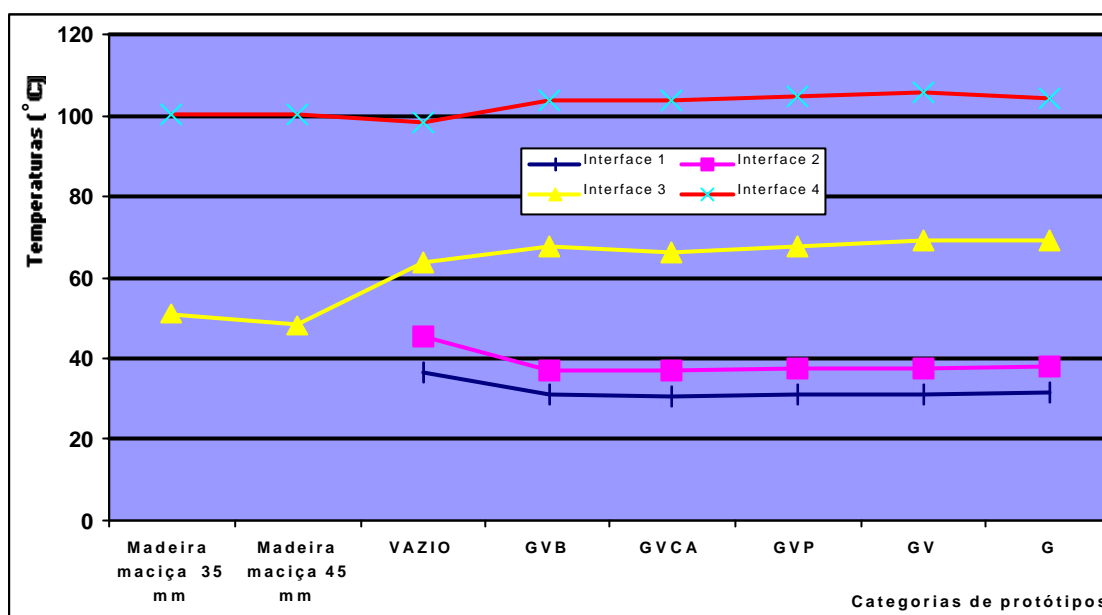


Figura 5 - Médias das temperaturas das quatro interfaces, nos três dias de ensaio (Tabela 2).

Tabela 2 – Média das medições finais de todas as interfaces, feitas por leitura direta, no eixo.

Camada/amostra	3,5	4,5	VAZIO	GVB	GVCA	GVP	GV	G
Interface 1	----	----	36,3	31,2	30,6	30,9	31,1	31,6
Interface 2	----	----	45,2	36,8	36,9	37,3	37,5	37,7
Interface 3	51,1	48,1	64,1	67,8	66,4	67,7	69,1	69,1
Interface 4	100,1	100,2	98,6	103,9	103,7	104,6	105,6	104,1

O primeiro grupo (Protótipos 1 e 2), que apresentou os piores resultados, são aqueles mais adotados pelos fornecedores de casas pré-fabricadas de madeira, ou seja, casas montadas com sistemas de parede simples de 3,5 cm ou 4,5 cm de espessura, em madeira maciça. As paredes de 3,5 cm foram as que mostraram desempenho pior entre os protótipos avaliados, visto que reduziram as temperaturas verificadas sobre a interface quatro das amostras em apenas 49%. Por este mesmo gráfico é possível verificar também que estas paredes, por não possuírem as interfaces 1 e 2, apresentam dissipação de calor, de sua face interna, para o interior das edificações, o que contribui para piorar o conforto térmico desses ambientes.

O segundo grupo de amostras é aquele das paredes duplas (Protótipo 3 - Vazio), com um vazio de cinco centímetros entre elas, sem enchimento de nenhuma natureza, que propiciou reduções da ordem de 63% entre as temperaturas das interfaces quatro e um, mostrando, no entanto, desempenho térmico que ainda compromete o conforto destas edificações.

No terceiro grupo encontram-se todos os protótipos onde foi adotado o gesso como aglomerante (GVB, GVCA, GVP, GV e G). Quando se analisa apenas a segunda camada dos protótipos verifica-se variabilidade muito pequena de desempenho entre os mesmos, já que todos propiciaram reduções de temperatura muito próximas de setenta por cento, quando se compara a interface 1 em relação à interface 4.

O gráfico da Figura 6 mostra a evolução média das temperaturas da interface um desde o início dos ensaios até o final.

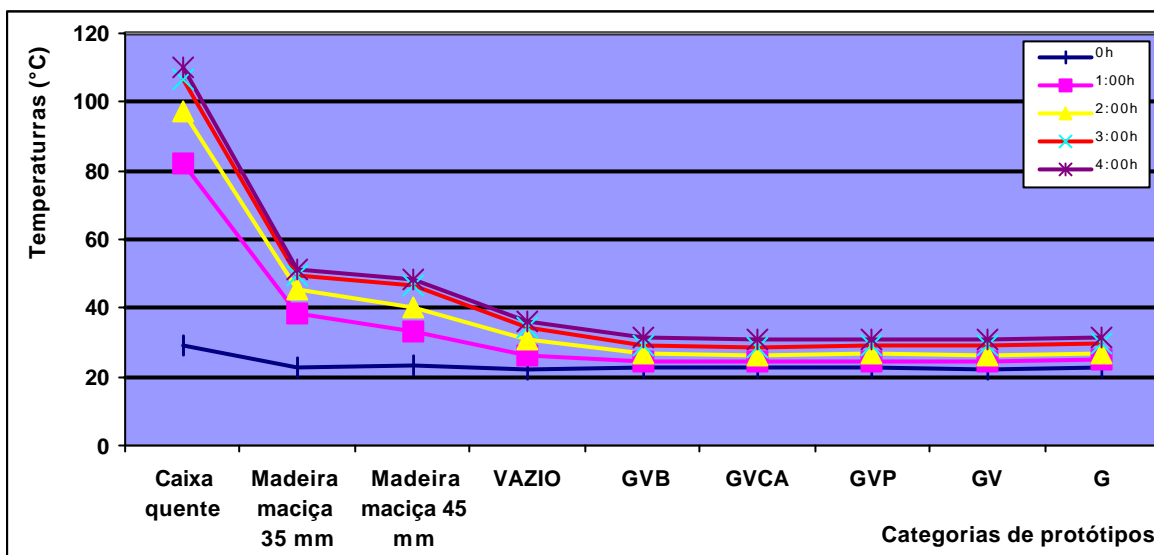


Figura 6 - Evolução média das temperaturas da interface 1 e da caixa-quente desde o início dos ensaios até o final (Tabela 3).

Tabela 3 – Média das temperaturas medidas nas interfaces 1 (por leitura direta) e na caixa-quente (por termopares), nos diversos prazos de exposição, feitas por leitura direta, no eixo do protótipo.

Horários/Locais	Caixa quente	3,5	4,5	VAZIO	GVB	GVCA	GVP	GV	G
0h	29,3	22,5	23,3	22,2	22,6	22,6	22,7	22,3	22,8
1:00h	82	38,3	33,1	26,4	24,7	24,6	24,6	24,5	24,8
2:00h	97	45,5	40,3	30,9	26,7	26,3	26,6	26,5	27
3:00h	106,33	49,3	46,8	34,1	29,2	28,7	29	29	29,7
4:00h	110	51,1	48,1	36,3	31,2	30,6	30,9	31,1	31,6

Verifica-se na Figura 2, mais uma vez, a caracterização dos três grupos de amostras conforme já destacado. Neste gráfico pode-se acompanhar também a evolução das médias das temperaturas à qual esteve exposta a interface quatro, que foi registrada por termopares e é referente ao ambiente interno da caixa quente.

Na Tabela 4 é possível verificar o desempenho das camadas 2 e 3 e sua contribuição para a redução de temperatura na interface um de todos os protótipos. Por este quadro é possível confirmar a uniformidade de desempenho dos corpos-de-prova que adotaram o gesso como aglomerante.

Tabela 4 – Reduções médias percentuais de temperatura nas camadas 2 e 3, de todas as amostras.

Camadas/Amostras	3,5	4,5	Vazio	GVB	GVCA	GVP	GV	G
Camada 2	----	----	29,5	45,7	44,4	44,9	45,7	45,4
Camada 3	48,9	52	35	34,7	36	35,3	34,6	33,6

## 4 CONCLUSÃO

Enfocando o objetivo específico do trabalho é possível afirmar que os protótipos avaliados para serem propostos como alternativas de recheio para paredes externas de casa de madeira, apresentam, considerando o requisito isolamento térmico, desempenho satisfatório e comportamento bastante homogêneo. Assim a decisão sobre qual alternativa adotar vai depender de outros fatores que serão avaliados a seguir.

Pelos resultados obtidos neste experimento, os projetos oferecidos regularmente pelos fabricantes de casas de madeira não atendem as necessidades dos consumidores, considerando o quesito desempenho térmico. Assim, para o caso das paredes externas



em madeira maciça de espessura 3,5 cm é possível constatar que, quando a temperatura externa destas atingir 80°C, a face interna adjacente poderá atingir 45°C e a dissipação deste calor, para o interior da habitação, por radiação, certamente irá provocar desconforto para o usuário.

Neste momento duas questões se colocam, ou seja, agir preventivamente dando ao imóvel condições de habitabilidade, durante as fases de projeto e construção, adotando painéis do tipo sanduíche, como propostos neste trabalho, ou agregar custos ao longo da vida útil do mesmo, para propiciar ambientações artificiais, utilizando sistemas de ar condicionado. Esta decisão deve caber ao consumidor final, que será o usuário da edificação. Cabe ao fornecedor oferecer as opções que atendam estas necessidades. É possível ambientar melhor estas edificações inserindo novos materiais em seus sistemas construtivos.

Com relação aos rejeitos verifica-se que todo material que tiver custo inferior ao custo do gesso poderá ser usado como compósito nestas argamassas, sem acréscimos de custo. Há, no entanto, que se analisar quais as melhores alternativas a serem adotadas, quais suas contribuições para os requisitos de desempenho e para a durabilidade dessas edificações.

Este é o caso específico da casca de arroz e dos rejeitos de pneus, que ainda não possuem compradores potenciais no mercado goiano. Assim, para o Estado de Goiás, é possível aplicá-los como alternativa de compósito para argamassas de enchimento, encaminhando-os para reaproveitamento, evitando lançá-los no meio ambiente ou em locais de descarte inadequados. Com relação aos flocos de garrafa PET, que já possuem valor agregado superior ao do gesso, ficam inviáveis economicamente.

## 5 Referências

- OLIVEIRA, T. M.; CASTRO, P. F. Aproveitamento de rejeito plástico como agregado em concreto asfáltico. Juiz de Fora, MG. 2002. 11p. 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA CIVIL, V. Juiz de Fora, MG. 2002. Artigo Técnico.
- ZANIN, M.; MANRICH, S.; LOGAREZZI, A; TEIXEIRA, B. A. Reciclagem de resíduos plásticos domiciliares: estudos de casos desenvolvidos pelo 3R- Núcleo de Reciclagem de Resíduos da UFSCar. Canela, RS. 2001. in: ENCONTRO NACIONAL (2) e ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1. Canela, RS. 2001.
- AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais. São Paulo, SP. EPUSP. 1991. 99p. Tese de Livre-Docência (Pós - Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.1988.
- ALVES, J.D. A vermiculita como agregado para concreto. Texto para discussão, 7. 1986.
- CASTRO, O. G. A vermiculita e suas aplicações. S.n.t. 2001.
- LOBATO PAES, I. N. Influência da junta de assentamento no comportamento térmico do sistema de revestimento cerâmico. Goiânia, 2000. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás - UFG.