



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS CONSTITUÍDAS DE EMBALAGENS TETRA PAK

Eduardo L. Krüger (1); Graziela Y. Suetake (2); Marcia K.O. Adriazola (3)

(1) Prof. Dr., Departamento Construção Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná,
Av. Sete de Setembro, 3165. Curitiba, PR Fone: +(41) 310-4725 E-mail:

krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Acad. Bolsista PIBIC, Curso de Engenharia da Produção Civil. CEFET-PR E-mail:
grazisuetake@yahoo.com.br

(3) Profª., Mestre, Doutoranda, Departamento de Construção Civil. CEFET-PR E-mail:
mkeiko@cefetpr.br

RESUMO

Boa parte da população brasileira habita barracos ou casas de alvenaria cobertos com telhas de cimento-amianto e, como se sabe, o maior ganho térmico em edificações horizontais se dá pela cobertura. Estas telhas, especialmente em coberturas sem forro, absorvem boa parte da radiação incidente por serem escuras e transmitem facilmente o calor para o interior da edificação devido à sua pequena espessura. Somente no Brasil, foram distribuídos em 2001 seis bilhões de embalagens cartonadas Longa Vida –Tetra Pak. Essas embalagens são compostas por seis camadas de materiais – quatro de polietileno, uma de alumínio e uma de papelão – se tornando, ao final de sua vida útil, lixo de difícil decomposição e abarrotando os aterros sanitários. O aproveitamento destas embalagens para isolamento térmico de coberturas em moradias traz importante benefício ambiental, além da vantagem social. Esse trabalho apresenta uma avaliação do desempenho térmico de coberturas de cimento-amianto com e sem a utilização de embalagens Tetra Pak como isolante e uma comparação de seu desempenho com o de manta do tipo foil, por meio de monitoramento térmico realizado em células-teste.

ABSTRACT

Great part of the Brazilian population lives in shacks or houses covered by cement roofs, receiving in single storyed houses the roof the bulk of the heat loads. This kind of roof material, specially when no ceiling is available, absorbs great part of solar radiation due to its dark colour and conduct heat easily due to its reduced thickness. Only in Brazil, in 2001, around 6 billion Tetra Pak milk packages were produced. These packages are composed of 6 layers of materials –4 layers of polyethylene, one of aluminum and one of cardpaper –afterwards becoming waste material of difficult decomposition and staying in waste areas. The use of such packages for thermal insulation of roofs could be an interesting way of avoiding inadequate waste disposal. This paper presents an evaluation of the thermal performance of cement roofs with and without Tetra Pak packages as insulating material and a comparison with foil insulation, carried out with monitorings in small scale test-cells.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está situado predominantemente em zona tropical, onde há predomínio de forte insolação. É sabido que a cobertura é o elemento construtivo que mais recebe insolação em edificações horizontais

sendo, portanto, responsável pelo maior ganho térmico dentre os elementos de uma edificação. Dentre as coberturas utilizadas, principalmente em habitações de baixa renda, é comum o uso de coberturas em cimento-amianto do tipo “Brasilit/Eternit” devido ao seu baixo custo em relação aos outros tipos de cobertura e também à economia de matéria-prima na estrutura do telhado. O desconforto pelas temperaturas elevadas é sentido também embaixo de telhados convencionais de telha cerâmica, porém a uma temperatura mais baixa que a irradiada por telhas de cimento-amianto.

Conhecendo-se as possibilidades de intervir na concepção de uma edificação em sua fase inicial, os materiais a serem utilizados e sua influência, a melhor maneira de empregá-los, além de outros fatores como orientação solar e exposição aos ventos dominantes, o profissional ligado à área de projetos pode optar por soluções mais eficientes quanto ao desempenho térmico, acústico e lumínico, enfim, que apresentem maior grau de conforto ambiental.

De acordo com Güths et. al. (2004), um dos elementos que vêm se popularizando no Brasil como forma de reduzir os ganhos térmicos pela cobertura são as mantas isolantes reflexivas, em especial as formadas por caixas cartonadas Longa Vida abertas, a partir de seu reaproveitamento.

Segundo pesquisas desenvolvidas na Unicamp (SCHMUTZLER, 2001), caixas cartonadas de suco e leite Longa Vida podem ser aproveitadas como subcobertura, explorando as propriedades do alumínio contido nestas embalagens na sua capacidade de reflexão dos raios infra-vermelhos, fazendo com que o mesmo contribua com a melhoria do conforto térmico.

A explicação está na composição das embalagens, formada por 75% de papel, que confere resistência, 20% de plástico, que evita o contato com o alimento e o protege da umidade, e 5% de alumínio, que evita a passagem de oxigênio, luz e microorganismos, conforme exemplifica a figura 1. Estas embalagens são capazes de refletir até 95% da irradiação infravermelha do Sol e, com isso, reduzir em até 8°C a temperatura no interior do ambiente (ARRUDA, *apud* SCHMUTZLER, 2001).

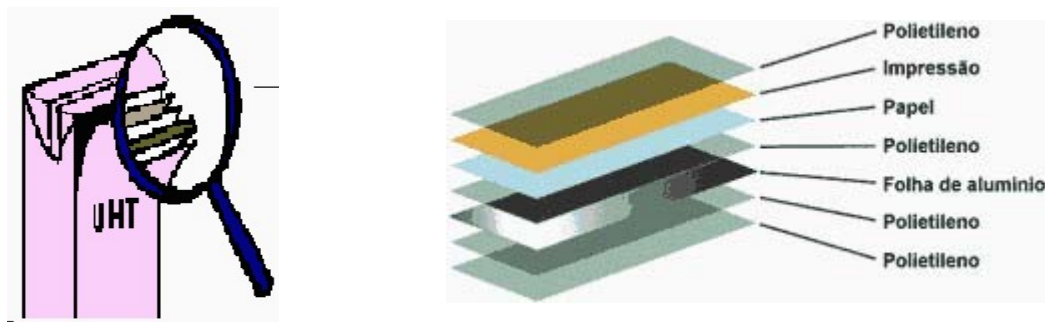


Figura 1: Composição das embalagens Tetra Pak

Fonte: <http://www.furg.br/portaldeembalagens/tres/tetrapak.html>

O aproveitamento destas embalagens contribui para o desenvolvimento sustentável, o qual visa atender as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias. Do ponto de vista ambiental, somente no ano de 2001, mais de 53 bilhões de litros de alimentos foram usados em embalagens cartonadas Longa Vida, correspondendo a quase 89 bilhões de embalagens. No Brasil, foram 6 bilhões de embalagens distribuídas em todo o território nacional (TETRA PAK, 2001). Atualmente, este material, depois de utilizado, vai em sua quase totalidade para o lixo. De acordo com a CETESB, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo, este pode levar até cem anos para ser decomposto, causando grande impacto ambiental, o que tem criado um grande problema para as municipalidades, pois a alternativa de queima é descartada, devido à liberação de gases tóxicos provenientes da combustão do plástico.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de embalagens cartonadas Longa Vida, Tetra Pak, como isolante térmico para coberturas de cimento-amianto em células-teste compostas por diferentes materiais de vedação. O artigo apresenta uma avaliação do desempenho térmico de coberturas de cimento-amianto com e sem a utilização de embalagens Tetra Pak, abertas e usadas como manta isolante, e uma comparação com isolamento por manta do tipo “foil”, por meio de

monitoramento térmico realizado em células-teste. O foil é um isolante por reflexão, próprio para a construção civil. Reflete 95% do calor irradiado e tem baixa emissividade ($\epsilon=5\%$). É composto por folha de alumínio em ambas as faces, papel Kraft de alta densidade e adesivos especiais reforçados com malha de fibra de vidro.

Optou-se pela construção de protótipos de execução simplificada, na escala $1\times 1\times 1\text{m}$, que puderam ser confeccionados com menor dispêndio financeiro. A padronização da base, das dimensões, do tipo de cobertura e revestimento externo possibilitou a obtenção de respostas térmicas especificamente relacionadas aos materiais em teste sem que os resultados tivessem a influência de variáveis que, em situação real (habitações), acarretam variações das condições ambientais devido a ação dos usuários, como alterações na taxa de ventilação, uso de equipamentos e a própria ocupação dos ambientes por parte dos usuários. A comparação do caso sem e com isolamento da cobertura partiu da análise das diferenças entre temperaturas internas e externas e da projeção do comportamento esperado do primeiro caso (sem isolamento da cobertura) para a segunda seqüência de monitoramentos, através de predições horárias. O mesmo procedimento foi finalmente adotado na comparação entre a situação sem isolamento térmico, com a manta de Tetra Pak e com o foil.

2. MONITORAMENTO TÉRMICO EM CÉLULAS-TESTE

O presente estudo foi conduzido adotando-se três células-teste: de paredes em tijolo cerâmico, em blocos de concreto celular autoclavado e em blocos de concreto comum, vazados (Tabela 1). Todas têm uma base em concreto armado (sapata de $1,70\times 1,70\text{m}$ com espessura de 10 cm) e foram externamente revestidos com argamassa de concreto (1,5cm). Para a colocação da cobertura, foi feita uma pequena estrutura com caibros de cambará com dimensões de 2×2 polegadas. Sobre esta estrutura, foram consideradas três situações de cobertura:

- 1) sem isolamento térmico;
- 2) com manta composta de embalagens Tetra Pak coladas entre si e fixadas sobre o topo das paredes com a face aluminizada voltada para cima; e,
- 3) com manta aluminizada do tipo “foil”.

As células-teste estão localizadas em terreno aberto e livre de obstruções, do CEFET-PR em Curitiba (Figura 2). As células foram orientadas em função do norte verdadeiro e implantadas com espaçamento de 1,50 m entre elas, para evitar a sombra de uma sobre outra. Para conter o crescimento de plantas, colocou-se uma camada de brita com espessura de 3 cm contornando os protótipos.



Figura 2: Células-teste

Tabela 1: Características construtivas das células

Item	tijolo cerâmico	concreto celular	bloco de concreto
Espes. paredes sem revestimento (mm)	90	150	140
Espessura argamassa (mm)	15	15	15
Área Interna (m^2)	1,46	1,32	1,35

Para o monitoramento das temperaturas internas e externas, utilizou-se registradores eletrônicos da marca HOBO. Interiormente, os aparelhos foram instalados no centro geométrico das células. Os dados externos foram coletados em abrigo constituído de madeira pintada de cor clara e com ventilação permanente (Figura 3). Os dados foram medidos em três seqüências de monitoramento: entre 04 e 11 de março de 2005 (sem isolamento térmico da cobertura); entre 13 e 20 de março de 2005 (utilizando manta de Tetra Pak entre a telha e o ambiente interno); e entre 22 e 31 de março de 2005 (com manta aluminizada do tipo “foil”). Os valores foram registrados a cada 5 min, sendo depois extraída a média para cada hora.



Figura 3: Abrigo utilizado para medição da temperatura externa

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Sem Isolamento

Dados referentes à primeira rodada de monitoramento, de 04 a 11 de março de 2005.

Tabela 2: Comparação entre as temperaturas internas e externas (mínima, média e máxima) das células-teste sem o uso do isolante

SEM ISOLANTE	T _{mín int} – T _{mín ext} (° C)	T _{med int} – T _{med ext} (° C)	T _{máx int} – T _{máx ext} (° C)
Tijolo cerâmico	0,57	0,83	1,85
Concreto celular	1,92	1,64	1,75
Bloco de concreto	1,68	2,29	3,58

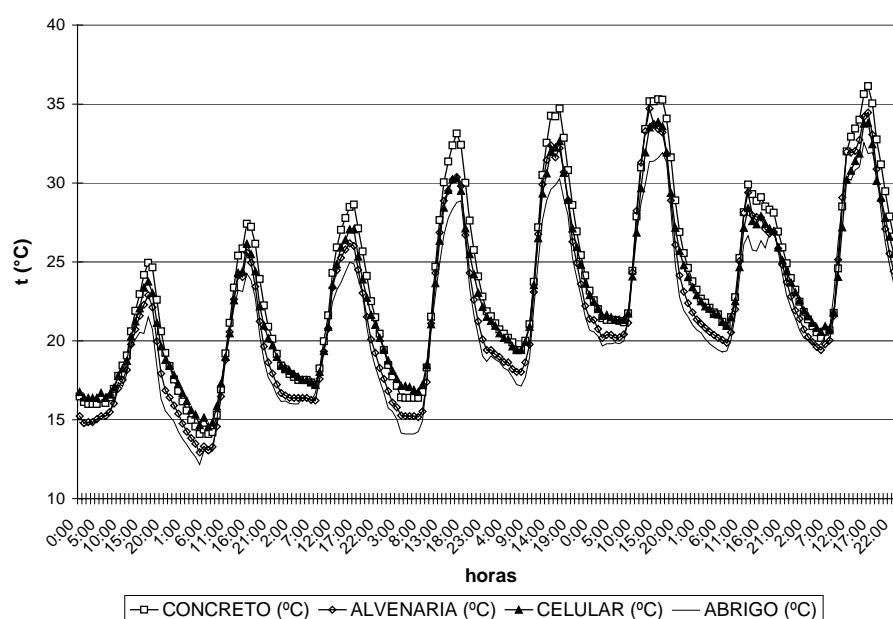


Figura 4: Comparação entre valores medidos sem isolamento

3.2 Com Isolamento Tetra Pak

Dados referentes à segunda rodada de monitoramento, de 13 a 20 de março de 2005.

Tabela 3: Comparação entre as temperaturas internas e externas (mínima, média e máxima) dos protótipos com o uso do isolante

COM ISOLANTE	TI _{mín int} – TI _{mín ext} (° C)	TI _{med int} – TI _{med ext} (° C)	TI _{máx int} – TI _{máx ext} (° C)
Tijolo cerâmico	1,77	1,87	2,16
Concreto celular	3,68	2,65	1,19
Bloco de concreto	2,50	2,62	2,87

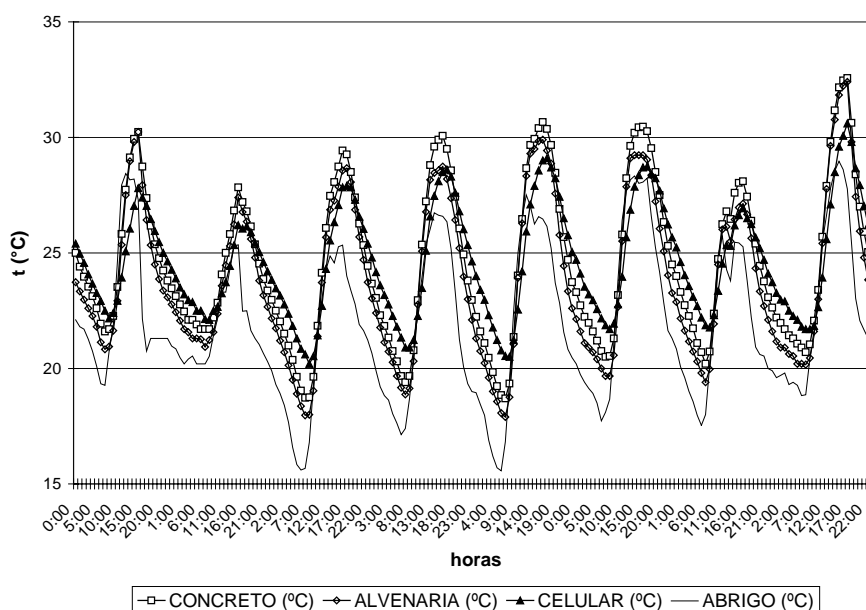


Figura 5: Comparação entre valores medidos com isolamento

Analisando-se as Tabelas 2 e 3, em relação aos materiais utilizados nas vedações das paredes, temos que dentre os materiais analisados quando os protótipos estavam sem e com o isolante, o que apresentou a maior diferença entre temperaturas mínimas foi o protótipo de concreto celular (1,92K e 3,68K, respectivamente), o que corrobora os resultados de pesquisas anteriores (ADRIAZOLA, 2002) nas quais o concreto celular apresentou o melhor desempenho em relação a outros materiais, como por exemplo a alvenaria cerâmica. O mesmo não ocorreu com relação às temperaturas máximas, onde o protótipo que apresentou a maior diferença foi o de concreto (3,58K e 2,87K, respectivamente), ficando o protótipo de concreto celular com a menor diferença (1,75K e 1,19K).

Comparando o desempenho dos protótipos com e sem o isolante, nota-se que, enquanto para a diferença entre mínimas internas e externas (amortecimento do frio) há uma melhora, quanto às diferenças das médias e máximas, estas não se tornaram tão evidentes. No caso sem isolamento, havia o espaço entre o ondulado das telhas e a parte superior das paredes que não foi fechado, havendo assim uma ventilação permanente do ambiente. Quando se colocou o isolamento, vedou-se a passagem de ar (no interior do protótipo, porém não entre a telha e a manta), não havendo renovação. Comparando-se ambos os gráficos (figura 4 e 5), nota-se a queda instantânea da temperatura interna no primeiro caso, havendo determinado atraso térmico no segundo.

4. PREDIÇÃO DAS TEMPERATURAS INTERNAS PARA UMA COMPARAÇÃO SIMULTÂNEA

A partir dos resultados obtidos para a primeira e para segunda rodadas de monitoramento (sem e com a manta de Tetra Pak sob a cobertura), procedeu-se à geração de equações preditivas para mínimas e máximas diárias e à obtenção dos fatores de oscilação horária da temperatura, conforme método descrito por Krüger e Roriz (2005), apresentado a seguir para o caso sem isolamento da cobertura.

Para tanto, adotou-se os seguintes passos:

- a) Extraíu-se correlações simples entre os valores das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias, externas e internas às células-teste, optando-se pela de maior valor como explicativa e partindo-se para regressão simples para geração das equações. Observou-se que as relações eram diretas: as mínimas internas seguiam as mínimas externas, o mesmo ocorrendo para as máximas. As equações obtidas são apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 4: Equações obtidas para mínimas e máximas diárias

Protótipo	Equação T _{Imín}	Equação T _{I_{máx}}
Tijolo cerâmico	$T_{Imin} = 0,926 * T_{Emin} + 1,7683$	$T_{Imax} = 1,1012 * T_{Emax} - 0,9957$
Concreto celular	$T_{Imin} = 0,8536 * T_{Emin} + 4,2856$	$T_{Imax} = 0,9589 * T_{Emax} + 2,9454$
Bloco de concreto	$T_{Imin} = 0,8912 * T_{Emin} + 3,4415$	$T_{Imax} = 1,045 * T_{Emax} + 2,3335$

- b) A partir da identificação de 3 dias com condições climáticas estáveis, dias 7, 8 e 9 de março (Figura 6), extraíu-se os fatores de oscilação horária (FTI) para cada hora. Esse fator horário representa o padrão de oscilação da temperatura interna de cada célula-teste e indica a relação entre o valor observado em cada momento do dia e a amplitude térmica diária da mesma temperatura interna, conforme a equação 1:

$$FTI(h) = (TI(h) - T_{Imin}) / dTI \quad [Eq. 1]$$

Sendo:

FTI(h): Fator de oscilação da TBS interna na hora “h”

TI(h): TBS interna na hora “h”

T_{Imin}: TBS interna mínima do dia considerado

dTI: Amplitude térmica da TBS interna no dia considerado (dTI = T_{I_{máx}} – T_{Imin})

- c) Aplicou-se a equação 1 sobre os valores horários das temperaturas internas em cada célula-teste, durante os 3 dias estáveis, extraíndo-se o valor médio para cada hora.
- d) A partir dos fatores FTI, foram feitas projeções do comportamento previsto das temperaturas internas para a terceira rodada de monitoramento (de 22 a 31 de março de 2005, utilizando manta aluminizada do tipo “foil” entre a telha e o ambiente interno), respeitando-se, porém, o padrão de estabilidade das temperaturas externas. Em razão de instabilidades climáticas diversas, ocorridas neste último período de medições, adotou-se o dia 26 de março para essa projeção (Figura 7).
- e) Uma vez observados os mesmos padrões de estabilidade da seqüência anterior, adotou-se os valores extremos das temperaturas internas (T_{Imin} e T_{I_{máx}}), obtidos através das equações preditivas de T_{Imin} e T_{I_{máx}}, conforme a Tabela 4, distribuindo-se as temperaturas internas ao longo do dia, segundo a equação 2 (inverso da equação 1):

$$TI(h) = FTI(h) * dTI + T_{Imin} \quad [Eq. 2]$$

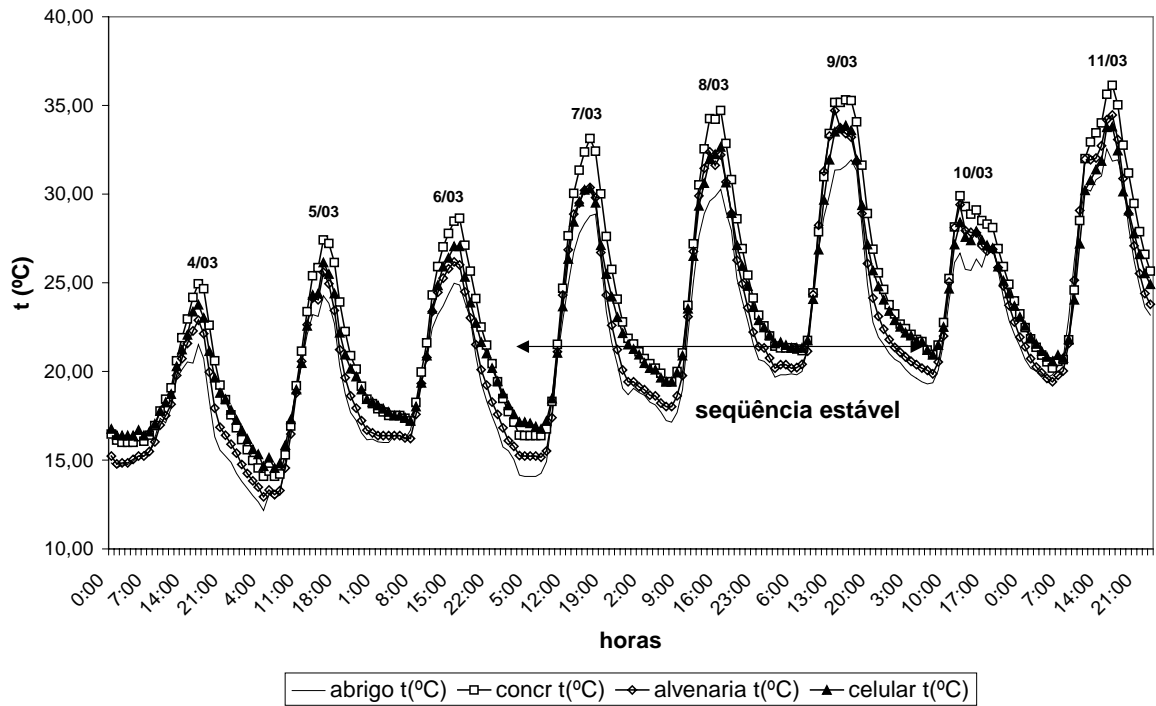


Figura 6: Seqüência estável (primeira rodada de monitoramento)

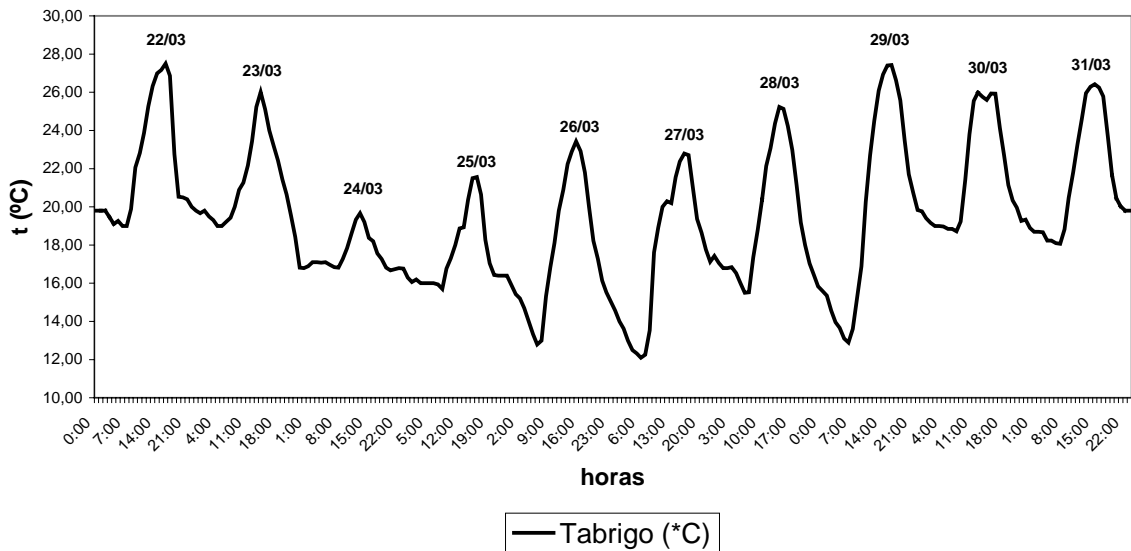


Figura 7: Dia estável (terceira rodada de monitoramento)

O mesmo procedimento foi adotado para que se gerasse predições a partir dos resultados da segunda rodada de monitoramentos (com o Tetrapak), sendo escolhidos também 3 dias de estabilidade térmica. Uma comparação entre dados medidos e calculados para as 3 células-teste em termos de coeficientes de determinação, média das diferenças e desvio padrão, para ambas as seqüências de monitoramento, é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Coeficientes de determinação, média das diferenças e desvio padrão encontrados para as equações obtidas

Seqüência	Protótipo	R ²	Média das Diferenças (medido – estimado)	Desvio Padrão
Sem isolamento da cobertura	Tijolo cerâmico	0,98	0,38	0,76
	Concreto celular	0,98	0,21	0,83
	Bloco de concreto	0,98	0,33	0,65

Com o Tetrapak	Tijolo cerâmico	0,98	0,18	0,51
	Concreto celular	0,99	0,14	0,30
	Bloco de concreto	0,99	0,03	0,42

A comparação entre dados preditos a partir dos resultados da primeira e segunda seqüências de monitoramento e aqueles medidos no terceiro período com a cobertura isolada com o foil é apresentada na Figura 8, exemplificada para o protótipo construído com blocos de concreto celular.

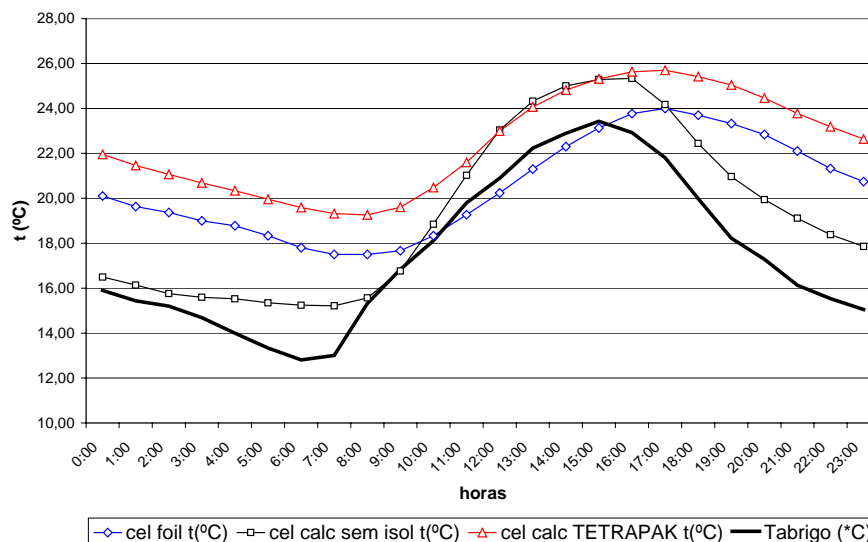


Figura 8: Comparação entre dados medidos no protótipo de blocos de concreto celular usando o foil como isolante térmico e valores projetados das temperaturas internas sem isolante térmico e com a manta Tetra Pak

O padrão das curvas é idêntico, porém os resultados com o foil foram mais significativos no controle das temperaturas mais altas (máxima diária). Nota-se, no exemplo para o protótipo de blocos de concreto celular, que a adição da manta de Tetra Pak teve um efeito significativo no controle das temperaturas mais baixas, porém nenhuma influência na máxima diária. Aparentemente, o fluxo de calor que atravessa sem maior dificuldade o Tetra Pak fica acumulado no interior do protótipo no período noturno (o alumínio, por sua baixa emissividade, dificulta a saída do calor interno). Observe-se que o fato do protótipo se manter constantemente fechado fez com que até mesmo o foil não oferecesse possibilidade de se reduzir a máxima interna.

5. CONCLUSÕES

Diversas variáveis contribuem para o bom ou mau comportamento térmico de uma edificação. Sendo a cobertura o elemento da construção que mais recebe insolação em uma edificação térrea deve-se dar um enfoque especial à escolha dos materiais a serem empregados e ao sistema utilizado para a solução deste elemento.

Este estudo analisou a influência no uso de embalagens cartonadas Longa Vida como isolante térmico de cobertura tipo ondulada de cimento-amianto, através de medições realizadas, sem isolamento, com utilização de manta composta de embalagens Tetra Pak e com uso de manta isolante do tipo “foil”. Destas medições resultou que o uso do Tetra Pak representou uma contribuição significativa no aumento do gradiente térmico entre temperatura mínima externa e interna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIAZOLA, M.K.O (2002), Avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR, Unidade de Curitiba. Curitiba, 2002.193 f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

GÜTHS, S.; PAGHI, C. E. (2004), Um método de análise da eficiência energética de mantas isolantes reflexivas. In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo.

KRÜGER, E. L.; RORIZ, M. (2005), Previsão horária de temperaturas internas do ar: aplicação no estudo de células-teste. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC) e III Workshop IBPSA-Brasil, Fortaleza.

SCHMUTZLER, L. O. F. (2001), Projeto forro Vida Longa UNICAMP, disponível em <http://www.tecnologiasocial.org.br/area.c>> Acesso em 07 de outubro de 2004.

A embalagem cartonada longa vida. disponível em <<http://www.furg.br/portaldeembalagens/tres/tetrapak.html>> Acesso em 22 de março de 2005.