

# MODELAGEM MATEMÁTICA DA REFLEXÃO DA RADIAÇÃO SOLAR UTILIZANDO EMBALAGENS TETRA PAK® COMO ISOLANTE TÉRMICO<sup>1</sup>

Daniele Martini<sup>2</sup>  
Tiago Quevedo da Trindade<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico do ar no interior de residências utilizando embalagens de leite Tetra Pak® como isolante térmico, pois, por conterem alumínio em sua composição, as embalagens são ótimas refletoras da radiação solar. Para isto, foi construída, de forma artesanal, uma persiana e uma subcobertura com as embalagens. A persiana foi utilizada em uma residência cuja janela fica exposta ao sol na maior parte do dia. A subcobertura foi utilizada na maquete de uma casa de madeira de dimensões 1,22m X 0,78m X 0,72m coberta com telhas de cimento-amianto exposta ao sol. As temperaturas foram medidas de hora em hora, das 10h até às 15h. Obteve-se uma temperatura média 3,8% menor no interior do ambiente utilizando persiana em relação ao ambiente sem persiana. Com o uso da subcobertura obteve-se uma temperatura média 17,5% menor em relação ao telhado sem subcobertura. Através do modelo físico-matemático pôde-se analisar a taxa de transferência de calor, a qual apresentou-se 3,66% menor no ambiente com persiana e 8,15% menor no ambiente com subcobertura. Dessa forma, as embalagens tornam-se um isolante térmico eficiente e de baixo custo para diminuir a temperatura interna de residências.

**Palavras-Chave:** Modelo Físico-Matemático. Radiação Solar. Embalagens Tetra Pak®.

## Abstract

This study had an aim goal in order to evaluate the thermal performance of air inside the houses using milk cartons Tetra Pak® as a thermal insulator, because they contain aluminum in its composition. The packagings are excellent reflecting solar radiation. In this way, it was built, by hand, and a shutter with an under-coverage packages. The shutter was used in a residence whose window is exposed to the sun in the most part of the day. Under-coverage was used in the model of a wooden house of dimensions 1.22 m X 0.78 m X 0.72 m covered with asbestos cement tiles exposed to sunlight. The temperatures were measured hourly from 10 a.m until 15 p.m. . Its results showed an average 3.8% less than the temperature inside the environment by using blinds on the environment without shutters. The use of under-coverage resulted in an average temperature of 17.5% less than compared with the roof without undercoverage. Through the physical -mathematical model we could analyse the rate of heat transfer, which showed 3.66% lower in the environment with blind and 8.15% lower in the environment with undercoverage. So, the packages become an efficient insulator and low-cost to lower the temperature inside the residences.

**Key Words:** Physical-Mathematical Model, Solar Radiation, Packaging Tetra Pak®

## INTRODUÇÃO

No Brasil, milhões de famílias de baixa renda, tem suas habitações cobertas com telhas de cimento-amianto, que se caracterizam por aquecer-se facilmente a altas temperaturas (60 a 70°C) sob a incidência da luz solar, e irradiando seu calor na forma de raios infravermelhos para o interior das residências, elevando a temperatura interna do ambiente.

De acordo com Michels (2007, p. 19)

A radiação solar é composta por radiação infravermelha de onda curta, que ao incidir sobre a superfície das telhas, as aquece. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo e a outra parcela, absorvida pelas telhas, é transmitida ao espaço correspondente ao ático. No interior do ático, o calor é transferido das telhas até a superfície do forro por convecção e radiação. O forro absorve parte deste calor e o transmite para o espaço interno da residência.

O esquema das trocas de calor em um telhado é apresentado na Figura 1.

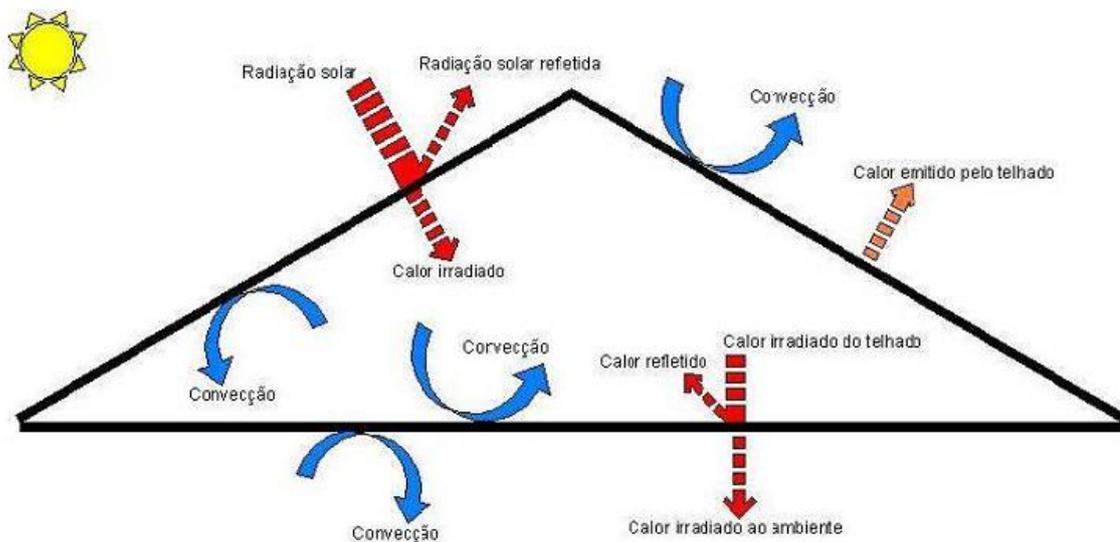
---

<sup>1</sup> Pesquisa realizada sem financiamento. Apresentações: XXXII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 08 a 11/09/2009, Cuiabá – MT. II Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, 19 a 21/11/2009, Sinop – MT.

<sup>2</sup> Docente – Instituto Superior de Educação do Vale do Juruena - AJES, Juína – MT E-mail: ms.danimartini@hotmail.com

<sup>3</sup> Discente, Universidade Estadual de Mato Grosso (UNEMAT), Sinop, MT. E-mail: engquevedo@gmail.com

---



**Figura 1** – Esquema das trocas de calor em um telhado (Fonte: Michels, 2007).

O desconforto tem graves conseqüências para a saúde, afetando gravemente a disposição para o trabalho e muito mais ainda para o estudo.

Segundo Alucci (1998 apud DARÉ; TARGA; ISA, 2005, p.16),

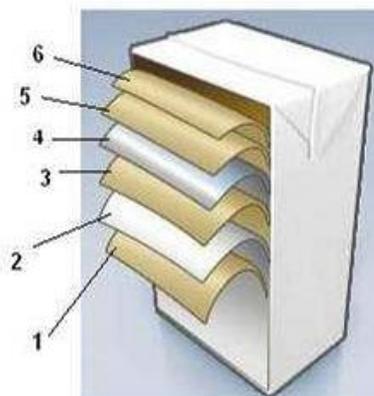
O desconforto causado tanto por temperaturas elevadas (ou baixas) quanto pelas más condições de iluminação é resolvido pelo usuário através de sistemas artificiais de iluminação e de condicionamento do ar. Isto aumenta consideravelmente o consumo de energia elétrica.

De acordo com Akutsu (1998 apud DARÉ; TARGA; ISA, 2005, p.16)

A grande disponibilidade de energia devido à evolução tecnológica contribui para a quebra da harmonia existente entre a edificação e o meio ambiente, declinando para sistemas artificiais de condicionamento térmico de ambientes, permitindo a construção de edificações sem a preocupação das limitações inerentes à sua adequação ao clima que, conseqüentemente, implica em um maior consumo de energia, principalmente nos grandes centros urbanos. O homem moderno vem cada vez mais se valendo de recursos adicionais em busca de maior conforto e produtividade que, pela relação direta com o aumento do consumo de energia elétrica, nos obriga a refletir mais em busca de um equilíbrio sustentável.

Segundo Michels (2007) “As embalagens Longa Vida foram inventadas por Ruben Rausing e a comercialização iniciou-se em 1952 na Suécia”. De acordo com Neves (2004), seu uso iniciou-se no Brasil em 1957 e, desde então, vem crescendo em todo o mundo.

As Embalagens Cartonadas Longa Vida são constituídas por 75% de papelão, 20% de polietileno e 5% de alumínio, distribuídas em camadas de acordo com a Figura 2.



**Figura 2** – Estrutura da Embalagem Cartonada Longa Vida (Fonte: Tetra Pak®, 2010)

Onde:

1. Polietileno: Protege contra a umidade exterior;
2. Papel: Para estabilidade e resistência;
3. Polietileno: Camada de aderência;
4. Folha de Alumínio: Barreira contra oxigênio e luz (proteção ao aroma);
5. Polietileno: Camada de aderência;

## 6. Polietileno: Protege o líquido.

De acordo com Michels (2007, p. 42)

A embalagem longa vida é utilizada para garantir a durabilidade e a qualidade dos alimentos nela acondicionados. Após o consumo, estas embalagens tornam-se lixo de difícil decomposição. A maior parte deste lixo destina-se a aterros sanitários, contribuindo para a ocupação de áreas e o aumento do volume de lixo a ser depositado.

As embalagens longa vida são 100% recicláveis. De acordo com o CEMPRE (Compromisso Empresarial de Reciclagem), em 2008 foram recicladas cerca de 26,6% das Embalagens Longa Vida, totalizando mais de 52.000 toneladas. Uma das técnicas utilizadas permite o uso da mistura de plástico e alumínio na fabricação de placas, telhas e outros objetos. Para diminuir os custos, a utilização destas embalagens pode ser feita de forma artesanal, pelo próprio morador. O alumínio ajuda a diminuir significativamente a temperatura ambiente, pois é capaz de refletir mais de 95% da radiação solar.

Schmutzler (2001) foi um dos pioneiros, no Brasil, em incentivar o reaproveitamento das Embalagens Longa Vida com o Projeto Forro Vida Longa. Além de proporcionar conforto térmico aos moradores de edificações, o projeto também tinha os objetivos de promover benefício ecológico, economia de energia e benefício social, uma vez que criaria uma atividade para as pessoas. A pesquisa desenvolvida por Schmutzler descreveu os procedimentos básicos para a utilização das Embalagens Longa Vida, como coleta, abertura, limpeza e desinfecção, e por fim, a união das embalagens através da colagem. Após a formação das mantas, as mesmas foram instaladas abaixo 2 cm do telhado.

Segundo Vecchia (2001, p. 7)

A utilização de isolamento por reflexão, Reflex Foil HD, Pentak, apresenta um significado conjunto no campo da Economia de Energia, do Desempenho Térmico e, da mesma forma, nos aspectos da fruição do espaço, afeitos ao Conforto Humano. Isto significa, sobretudo, melhores condições de produtividade, saúde e conforto.

De acordo com Michels (2007) “A finalidade de isolar termicamente é dificultar a transferência de calor entre dois sistemas que se encontram a níveis diferentes de temperatura.”

Além de diminuir a temperatura no interior das residências, a utilização das embalagens Tetra Pak<sup>®</sup> tem benefício ecológico pelo fato de que a maior parte destas embalagens não são biodegradáveis e representam cerca de 1% do total de resíduos produzidos no Brasil, também reduz o consumo de energia.

As persianas são artigos decorativos utilizados na parte interna de janelas ou portas para vedar a entrada de iluminação ou controlá-la parcialmente quando desejado. Também tem função térmica, pois podem bloquear a entrada indesejada de calor.

Visando avaliar o desempenho térmico do ar no interior do ambiente utilizando caixas de leite Tetra Pak<sup>®</sup> como isolante térmico, experimentaram-se duas situações: 1<sup>a</sup>) as embalagens formando uma persiana e 2<sup>a</sup>) as embalagens como subcobertura para telhados com telhas de cimento-amianto.

Vecchia (2001) afirma que os valores das temperaturas internas do ar (em uma residência) foram reduzidos, após a colocação da subcobertura.

Apresenta-se na seção 2, os materiais e os procedimentos utilizados na realização dos experimentos. Na seção 3 apresenta-se o modelo físico-matemático utilizado para calcular a taxa de transferência de calor de um ambiente para outro. Na seção 4, apresentam-se os resultados obtidos através dos experimentos e a discussão dos mesmos. A conclusão do trabalho analisando-se os resultados encontrados é apresentada na seção 5.

## 2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Persiana

Para a confecção da persiana, utilizou-se 20 caixas de leite abertas e desinfetadas unidas com fita adesiva. A persiana, com a face aluminizada voltada para o sol, foi fixada distante 5cm do vidro em uma janela de dimensões 1,20m X 1,00m, na parte interna de uma residência de 40m<sup>2</sup>. A residência utilizada situa-se em um condomínio, cujo solo ao redor da mesma é impermeabilizado por calçada de concreto. A parte frontal da residência (Figura 3 – a), a qual fica exposta ao sol na maior parte do dia, contém uma janela e uma porta, a qual manteve-se fechada durante os testes. As medições de temperatura foram feitas entre 10h e 15h, utilizando-se dois termômetros digitais, um situado na parte externa da parede e outro situado no interior da residência. No primeiro teste, as medições foram feitas utilizando-se a persiana (Figura 3 - b ); no segundo teste, sem a persiana (Figura 3 - c).



(a)



(b)



(c)

**Figura 3** – Vista externa (a) e vista interna (b) da residência onde foram realizados os testes utilizando a persiana de embalagens Tetra Pak®, em (c) vista externa sem a persiana.

## 2.2 Subcobertura

Para a fabricação da subcobertura foram utilizadas 21 caixas de leite abertas e desinfetadas, unidas com fita adesiva, fixadas em uma estrutura de madeira. Para a realização dos testes utilizou-se a maquete de uma casa de madeira de dimensões 1,22m X 0,78m X 0,72m, coberta com telhas de cimento-amianto de 4mm de espessura, sem forro, exposta diretamente ao sol, sob um gramado (Figura 4 – a e b).



(a)



(b)

**Figura 4** – Maquete de madeira (a) onde foram realizados os testes utilizando as embalagens Tetra Pak® como subcobertura (b).

As medições de temperatura foram realizadas diretamente em cima da telha e no interior do ambiente, entre 10h e 15h, utilizando-se um termômetro laser da marca Minipa modelo MT-350. Nos três primeiros dias as medições de temperatura foram feitas utilizando-se a subcobertura; nos três dias seguintes, sem a utilização da mesma. Para os cálculos, utilizou-se a temperatura média obtida em cada horário.

## 3. MODELO FÍSICO-MATEMÁTICO

O modelo físico-matemático que descreve a taxa de transferência de calor  $q$ , em W, foi obtido relacionando-se as equações apresentadas por Incropera et al (1998 apud DARÉ, TARGA & ISA, 2005, p.26 ), conhecidas pela lei de Fourier e pela equação de resfriamento de Newton, e pode ser descrito como:

$$q = \rho \cdot c \cdot V \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} + \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{e}{K \cdot A} + \frac{1}{h_{conv} \cdot A}} \quad (01)$$

sendo:

$q$  - taxa de transferência de calor (W), da parte externa para a parte interna;

$\rho$  - densidade do ar = 1,293 kg/m<sup>3</sup>;

$c$  - calor específico do ar = 1 kJ/kgK;

$V$  - volume de controle, igual a 43,5m<sup>3</sup> na residência onde foi utilizada a persiana, 0,79m<sup>3</sup> na maquete sem o uso de subcobertura, e 0,65m<sup>3</sup> na maquete com o uso de subcobertura;

$\Delta T$  - variação da temperatura (°C);

$\Delta t$  - variação do tempo (s);

$T_{int}$  - temperatura interna média (°C);

$T_{ext}$  - temperatura externa média (°C);

$e$  - espessura, igual a 0,004m para o vidro e 0,006m para a parede de madeira;

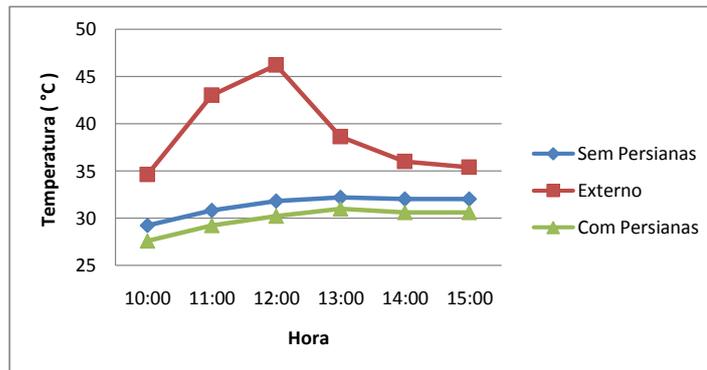
$K$  - condutividade térmica (W/mK), igual a 0,72W/mK para o vidro e 0,12W/mK para a madeira;

$A$  - área de contato do calor, igual a 1,20m<sup>2</sup> para a persiana, 4,16m<sup>2</sup> para a maquete sem a subcobertura, e 2,8m<sup>2</sup> para a maquete com a subcobertura;

$h$  - coeficiente de transferência de calor por convecção, igual 3,83W/m<sup>2</sup>K.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

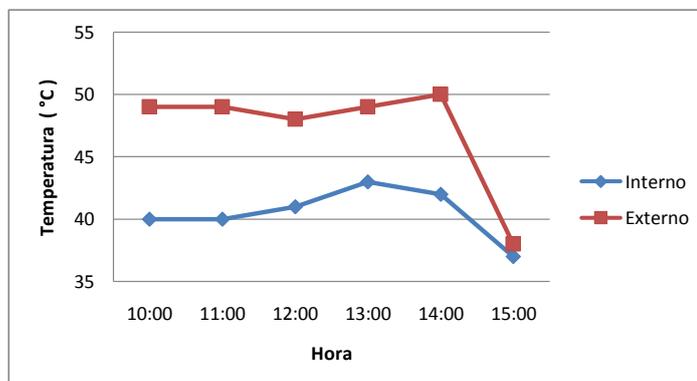
O gráfico 1 apresenta os resultados da variação da temperatura externa e da temperatura interna do ambiente, entre 10h e 15h, com o uso da persiana e sem o uso da mesma.



**Gráfico 1** – Variação da temperatura externa e da temperatura interna do ambiente com e sem o uso de persiana.

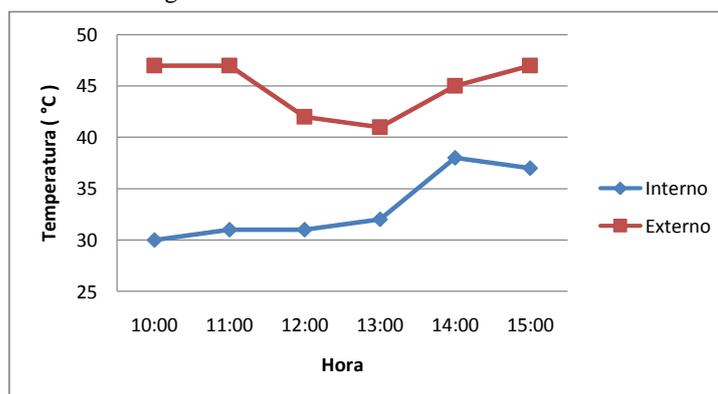
Pode-se observar que os modelos com e sem persiana apresentaram uma variação de temperatura pouco significativa.

O gráfico 2 apresenta os resultados obtidos das medições de temperatura do ambiente e do interior da maquete sem o uso de subcobertura.



**Gráfico 2** – Variação média da temperatura externa e interna do ambiente sem o uso de subcobertura.

O gráfico 3 apresenta o comportamento da temperatura externa ao ambiente e da temperatura interna com o uso da subcobertura de embalagens.



**Gráfico 3** – Variação média da temperatura externa e interna do ambiente com o uso de subcobertura.

Os valores médios de temperatura, obtidos na parte interna do modelo, após 300 minutos de ensaio, estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores médios de temperatura, em °C, na parte interna do modelo, aos 300 minutos de ensaio e suas diferenças em relação ao modelo referência.

Características do Modelo	Sem subcobertura	Com subcobertura	Sem persiana	Com persiana
<b>Temperatura</b>				
Média (°C)	39,54	32,62	31,4	30,21
<b>Diferença de</b>				
Temperatura (°C)	Referência	6,92	Referência	1,19

Fonte: Dados da Pesquisa, 2009.

Pode-se observar, com os dados da Tabela 1, que a utilização de subcobertura diminuiu a temperatura interna do ambiente em 6,92°C, isto corresponde a uma temperatura 17,5% menor.

Vecchia (2001) verificou uma diferença de temperatura de 8,7% antes e depois da colocação do *foil* sob telhas de cerâmica. Segundo o mesmo autor, “[...] se reduziu a influência das trocas térmicas pelo sistema de cobertura, principalmente, em relação aos ganhos térmicos ao longo do período diurno.”

Daré, Targa e Isa (2005) verificaram uma diferença de temperatura de 7,13°C ao utilizar subcobertura formada por alumínio + polietileno + alumínio.

A utilização de persiana diminuiu em 1,19°C a temperatura interna do ambiente, ou seja, 3,8%.

Com os dados de temperatura obtidos nos ensaios, e empregando-se a equação (1) calculou-se a taxa de transferência de calor (q). Os valores obtidos após 300 minutos de ensaio são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Valores calculados das taxas de transferência de calor (q), após 300 minutos de ensaio.

Tempo(min)	Sem subcobertura	Com subcobertura	Sem persiana	Com persiana
360	92,49	84,95	25,68	24,74

Fonte: Dados da Pesquisa, 2009.

Observa-se, com os dados da Tabela 2, que os modelos sem subcobertura e sem persiana apresentaram uma taxa de transferência de calor ligeiramente maior do que os modelos com subcobertura e com persiana.

## CONCLUSÃO

Analisando-se os dados obtidos experimentalmente, pode-se verificar que o modelo no qual se realizou os testes utilizando-se a persiana de embalagens Tetra Pak® apresentou uma diminuição de 3,8% na temperatura interna do ambiente e uma taxa de transferência de calor 3,66% menor, comparado ao modelo sem a persiana, a qual se considerou pouco significativa. O modelo no qual se realizou os testes com o uso das embalagens Tetra Pak® como subcobertura apresentou uma temperatura 17,5% inferior e uma taxa de transferência de calor 8,15% menor, comparado ao modelo sem subcobertura.

Embora a pesquisa tenha sido feita sem financiamento, o que impossibilitou um trabalho mais aprimorado, os resultados experimentais, mesmo realizados sob condições adversas, apontam as embalagens Tetra Pak® como boas refletoras da radiação solar e, também, como uma alternativa prática e de baixo custo para ser utilizada como isolante térmico na construção civil por famílias de baixa renda.

## REFERÊNCIAS

- CEMPRE – *Compromisso Empresarial para Reciclagem*. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em 02 ago. 2010.
- DARÉ, C. A. N.; TARGA, L. A.; ISA, M. M. Avaliação da Eficiência de Isolantes Térmicos por Reflexão, utilizados como Subcoberturas. *Energia Agrícola*. Botucatu, 2005. Disponível em: <[http://200.145.140.5/CD\\_REVISTA\\_ENERGIA\\_vol2.pdf](http://200.145.140.5/CD_REVISTA_ENERGIA_vol2.pdf)> . Acesso em: 02 ago. 2010.
- INCROPERA, F. P; DEWITT, D. P. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- MICHELS, C. *Análise da Transferência de Calor em Coberturas com Barreiras Radiantes*. Dissertação de Mestrado, 2007. Disponível em: <<http://tede.ufsc.br>>. Acesso em: 02 ago. 2010.
- NEVES, F. L. *Novos Desenvolvimentos para Reciclagem de Embalagens Longa Vida*. Anais do 37º Congresso Internacional de Celulose e Papel. São Paulo: 2004.
- SCHMUTZLER, L. O. F. *Projeto Forro Vida Longa*, 2001. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br>>. Acesso em: 03 jul. 2009.
- TETRA PAK®. Disponível em: <[HTTP://www.tetrapak.com.br](http://www.tetrapak.com.br)>. Acesso em 02 ago. 2010.
- VECCHIA, F. *Isolamento por Reflexão*. 3º Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Anais do VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, v. 1, São Paulo: 2001. Disponível em: <<http://www.shs.eesc.usp.br>>. Acesso em: 02 ago. 2010.