

## DESEMPENHO TÉRMICO DE UM PROTÓTIPO CONSTRUÍDO A PARTIR DE BLOCOS ISOPET

**Eduardo L. Krüger (1); Ely Cardona de Aguiar (2); Luciano Alves Pereira (3)**

(1) Prof. Dr. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE), Prof. Departamento de Construção Civil - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR  
Av. Sete de Setembro, 3165 CEP 80230-901 Curitiba - PR.

e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Prof. Departamento de Construção Civil (CEFET-PR)

(3) Acad. Curso de Tecnologia em Construção Civil (CEFET-PR)

### RESUMO

Os blocos ISOPET foram desenvolvidos no Departamento de Construção Civil do CEFET-PR. Confeccionados em concreto leve com EPS (isopor) reciclado, utilizam garrafas plásticas em seu interior. Encaixes laterais sob forma de macho e fêmea geram o intertravamento dos blocos entre si, não sendo necessária a utilização de argamassa para a sua união. Neste trabalho, são apresentados resultados de uma avaliação de desempenho térmico, realizada em dois períodos distintos: no verão e no inverno do ano de 2002. A partir de um protótipo habitacional de aproximadamente 15m<sup>2</sup>, construído com os blocos ISOPET, foram realizados monitoramentos de temperatura e umidade em Curitiba (verão e inverno), utilizando-se de aparelhos registradores do tipo HOBO. São apresentados resultados destes monitoramentos, comparativamente às condições climáticas externas em termos de variação diária da temperatura ambiente e graus de conforto atingidos.

### ABSTRACT

ISOPET blocks were developed at the Departamento de Construção Civil of the CEFET-PR. The blocks consist of building elements constituted of light concrete mixed with recycled expanded polystyrene, having in their interior empty PET (PolyEthylene Terephthalate) bottles. The interconnection between blocks is made through the neck and the cut bottom of the PET bottles. In this way, cementing the blocks to each other is not necessary, except in the lower row. In this paper, the results of the evaluation of thermal performance are presented, which consisted of two monitoring periods: summer and winter. A building prototype of approximately 15m<sup>2</sup>, built with the ISOPET blocks was monitored regarding indoor air temperature and humidity both in summer and winter in Curitiba. Measurements were carried out with HOBO data-loggers. The results are shown, comparatively to outdoor conditions, with regard to daily temperature swings and comfort levels.

### 1. OS BLOCOS ISOPET

Os blocos ISOPET foram desenvolvidos no Departamento de Construção Civil da Unidade de Curitiba do CEFET-PR (Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná). Trata-se de um material alternativo na forma de compósito, que pode atender às condições de redução de custo, agilidade de execução e

melhores condições termo-acústicas das edificações, visando-se também à redução da extração de materiais naturais, utilizando em seu lugar materiais recicláveis e não recicláveis. Desta forma, é contemplado o reaproveitamento (sem gasto de energia) do isopor e de garrafas plásticas.

Quanto à sua constituição, os blocos ISOPET são confeccionados em concreto leve com EPS utilizando garrafas plásticas inteiras devidamente tampadas posicionadas na vertical ou na horizontal. Os blocos apresentam encaixes laterais em forma de macho e fêmea (saliências e reentrâncias) que geram o intertravamento, não sendo necessária a utilização de argamassa nas uniões. Possuem ainda canaletas, que substituem as fôrmas, na moldagem de vergas, contra-vergas e cintas de amarração. Os blocos (Figuras 1 e 2) possuem dimensões de 40×40×15cm com e sem canaleta, pesando em média 12 kg; ou 40×20×15cm com e sem canaleta, pesando em média 6 kg.



**Figura 1: Vista da garrafa no interior do bloco**

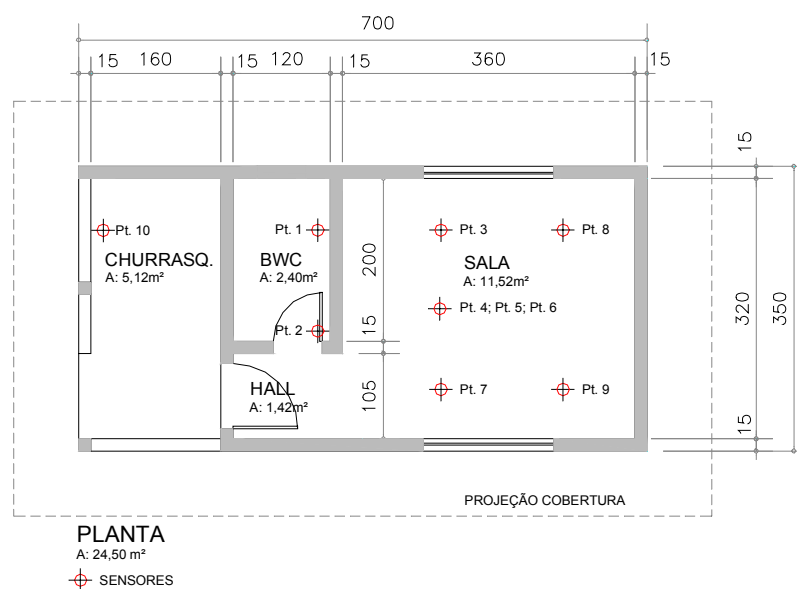


**Figura 2: Encaixe entre os blocos metade e inteiro**

A avaliação de desempenho térmico foi realizada a partir de um protótipo habitacional de aproximadamente 15 m<sup>2</sup> de área interna (Figura 3), construído com os blocos ISOPET. Para confeccionar esta unidade, retirou-se do meio ambiente 875 garrafas plásticas 2 litros do tipo PET e 17 m<sup>3</sup> de EPS (isopor), totalizando 365 blocos. Houve a utilização do pneu em forma de raspa, produto originado do processo da recauchutagem dos mesmos. A raspa foi aplicada como parte do agregado miúdo, na execução do contra-piso, diminuindo a absorção de umidade.

## **2. MONITORAMENTO DE TEMPERATURA E UMIDADE**

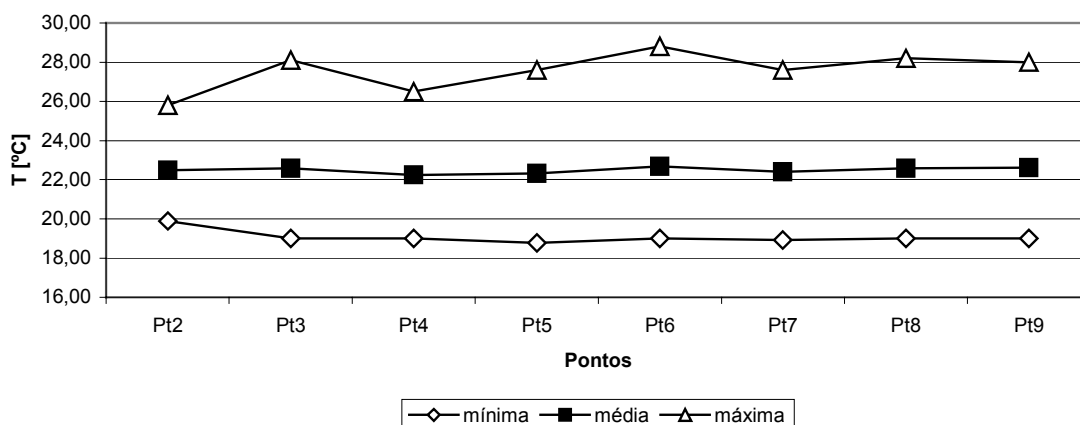
Para as medições, foram utilizados aparelhos registradores (*data-loggers*) de temperatura e umidade relativa do ar do tipo HOBO Temp/RH. As medições abrangeram o período de 4/02/2002 a 9/03/2002 (verão) e de 29/07/2002 a 4/09/2002 (inverno). Os aparelhos foram programados para medir a temperatura e umidade a cada 5 minutos, sendo os dados coletados integrados para uma hora. Externamente, um *data-logger* de temperatura e umidade foi disposto na fachada Sul e protegido do vento e da radiação solar direta. Foram posicionados de início nove sensores uniformemente distribuídos nos dois ambientes internos (sala e BWC –com paredes não recobertas por azulejos), a fim de se determinar a melhor localização do sensor.



**Figura 3: Planta baixa do protótipo**

## 2.1 Comparação dos resultados obtidos nos nove pontos de medição adotados

Os sensores foram posicionados em nove localizações do ambiente interno (conforme a Figura 3). Longitudinalmente, foram adotados espaçamentos de 1.25 m, perfazendo-se três fileiras nos 5 m de comprimento do ambiente. No outro sentido, procurou-se adotar espaçamento de 1 m das paredes externas, posicionando-se três sensores no centro geométrico do ambiente a diferentes alturas: 0.65 m, 1.30 m e 1.95 m do piso (para um pé-direito de 2.60 m). Com exceção destes centrais, os demais sensores internos situavam-se à meia altura entre o piso e o teto (1.30 m). O sensor externo foi posicionado na área coberta da churrasqueira, voltada para o Sul. Os resultados dessas medições, para a situação de verão, podem ser visualizados na Figura 4.

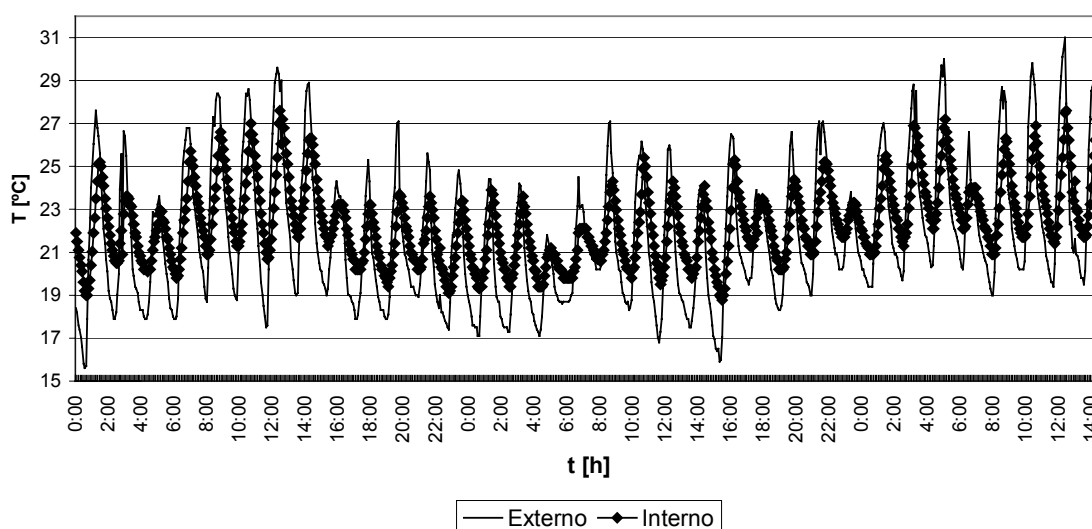


**Figura 4: Temperaturas médias, mínimas e máximas absolutas para os nove pontos de medição**

Apesar da temperatura média ambiente para o período completo de monitoramento situar-se em torno de 22,5°C, há alguma variação desse valor médio. Percebe-se, na figura, o efeito dos gradientes de temperatura em função da altura, seguindo a tendência do ar mais quente, menos denso, subir e da inércia das paredes, que mantém a temperatura em níveis mais estáveis de temperatura. Em virtude dessas diferenças, tomou-se o ponto central (ponto 5), situado a 1.30 m do piso como referência para a temperatura interna.

## 2.2 Medições de Verão

A Figura 5 apresenta os resultados do monitoramento *in situ* em termos de temperatura do ar, em situação de verão.



**Figura 5: Curvas de evolução da temperatura interna e externa (verão)**

Nota-se no gráfico acima a capacidade do protótipo de amortecer os picos de temperatura que ocorrem no exterior. Observe-se que o protótipo permaneceu com as janelas encobertas (sombreadas) e sem ventilação durante todo o período de monitoramento. O amortecimento das temperaturas externas pode ser visualizado quantitativamente na Tabela 1.

**Tabela 1: Diferenças entre externo e interno em termos de temperatura (verão)**

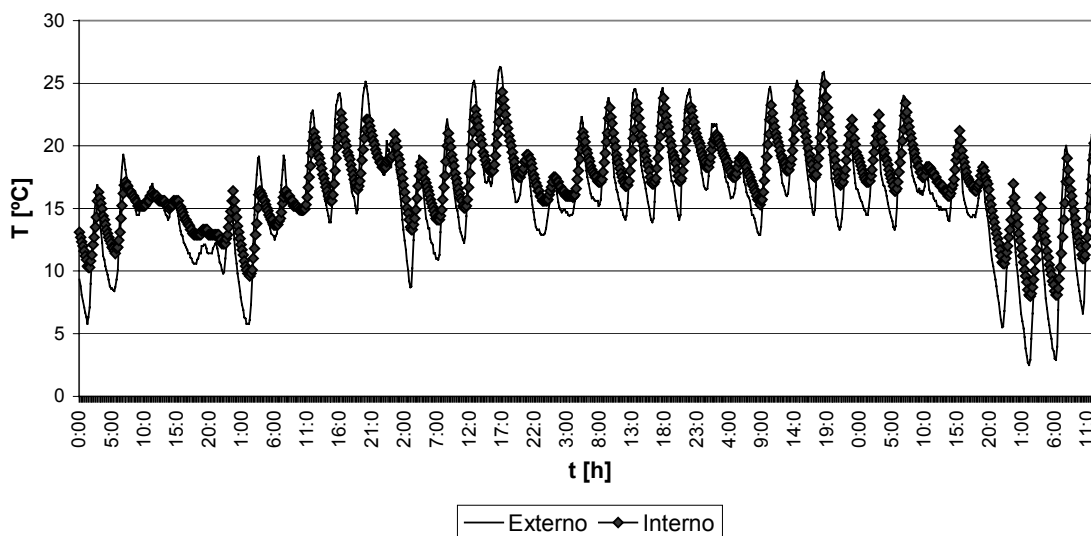
	<b>T<sub>mín</sub> [°C]</b>	<b>T<sub>méd</sub> [°C]</b>	<b>T<sub>máx</sub> [°C]</b>
<b>Externo</b>	15,60	21,89	31,00
<b>Interno</b>	18,78	22,37	27,60
<b>Diferença média horária de temperatura [K] (externo-interno)</b>			-0,48
<b>Diferença máxima absoluta horária da temperatura [K] (externo-interno)</b>			5,1

Enquanto que, externamente, a temperatura atingiu um valor mínimo de 15,60°C (característico da condição de frio, considerando-se os limites estabelecidos para conforto), no interior do anexo, a mínima não foi inferior a 18°C, ou seja, esteve dentro da faixa de conforto, que vai de 18 a 29°C (GIVONI, 1992). Quanto aos picos por temperaturas elevadas, considerados aqui mais detalhadamente por se tratar de situação de verão, a máxima externa excede os limites de conforto, enquanto que, internamente, estes não

são atingidos. A diferença absoluta da temperatura horária chega a 5,1K, havendo um atraso térmico médio de cerca de 2 horas entre os picos de temperatura. No gráfico, esta diferença horária pode ser observada no leve deslocamento existente na curva de temperaturas internas para a direita em relação à temperatura externa.

### 2.3 Medições de Inverno

A Figura 6 apresenta os resultados do monitoramento do protótipo durante o inverno.



**Figura 6: Curvas de evolução da temperatura interna e externa (inverno)**

Nota-se, no gráfico acima, analogamente à situação de verão, a capacidade do protótipo amortecer as mínimas temperaturas que ocorrem no exterior. Quantitativamente, o amortecimento das temperaturas externas pode ser visualizado na Tabela 2.

**Tabela 2: Diferenças entre externo e interno em termos de temperatura (inverno)**

	<b>T<sub>mín</sub> [°C]</b>	<b>T<sub>méd</sub> [°C]</b>	<b>T<sub>máx</sub> [°C]</b>
<b>Externo</b>	2,5	16,03	26,3
<b>Interno</b>	8	17,02	24,9
<b>Diferença média horária de temperatura [K] (externo-interno)</b>			-0,99
<b>Diferença máxima absoluta horária da temperatura [K] (externo-interno)</b>			4,55

Enquanto que, externamente, a temperatura atingiu um valor mínimo de 2,5°C, no interior do protótipo a mínima não foi inferior a 8°C. Quanto às temperaturas mínimas, consideradas aqui mais detalhadamente por se tratar de situação de inverno, a mínima externa está bem abaixo dos limites de conforto, enquanto que, internamente, esta não é tão intensa. A diferença absoluta da temperatura horária chegou a 4,55K.

### 3. AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA

Os resultados de ambos os monitoramentos, em termos de temperatura e umidade relativa foram então plotados na carta psicrométrica com o software ANALYSIS (LMPT/EMC e NPC/ECV, 1994). Assim, pôde-se quantificar a porcentagem do tempo de medição em termos de horas que se situam na zona de conforto ou fora dela (horas de desconforto). Os resultados dessa avaliação, para o verão, são apresentados nas Figuras 7 e 8 e, para o inverno, nas Figuras 9 e 10.

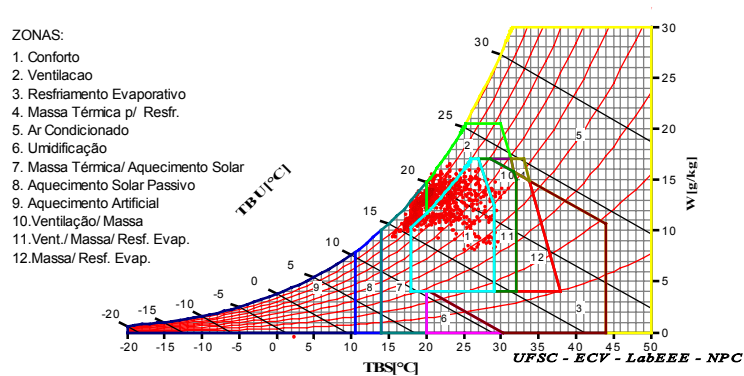


Figura 7: Análise bioclimática para o ambiente externo (verão)

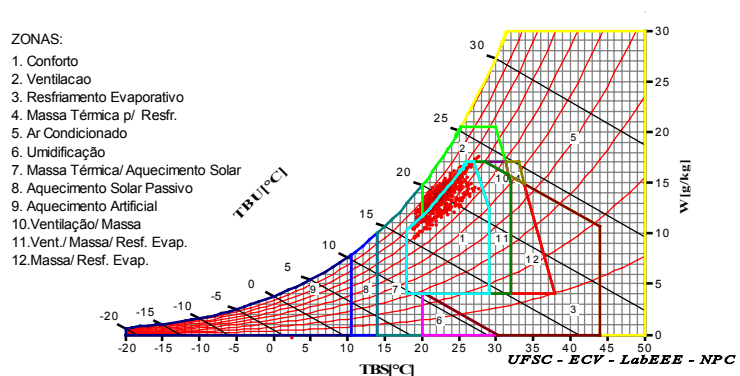
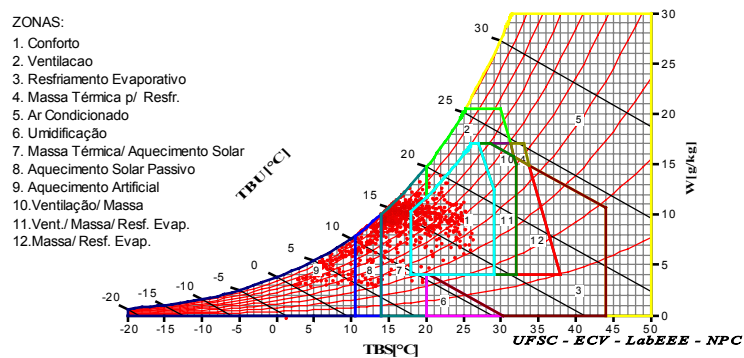
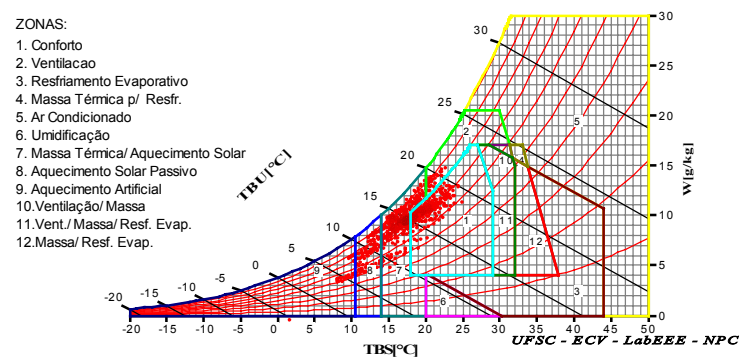


Figura 8: Análise bioclimática para o ambiente interno (verão)



**Figura 9: Análise bioclimática para o ambiente externo (inverno)**



**Figura 10: Análise bioclimática para o ambiente interno (inverno)**

Comparativamente aos dados internos, os externos mostram sempre uma maior dispersão dos pontos correspondentes a temperatura e umidade relativa de cada hora monitorada. Este fato está relacionado à inércia e à capacidade de isolamento térmico do protótipo, composto de blocos de isopor reaproveitado.

No verão, essa maior amplitude externa dos dados de temperatura e umidade resultou em menor grau de conforto, com um percentual considerável de desconforto por frio (28% do total de horas). No protótipo, o desconforto por frio praticamente inexistente (5% das horas), havendo, porém, maior porcentagem de horas na zona correspondente à estratégia passiva de ventilação natural (caracterizando desconforto por frio). Isso se explica, em parte, pelo fato do protótipo ter permanecido sem ventilação durante todo o período monitorado. Considerando que a faixa de temperaturas obtida situou-se dentro da faixa de conforto, a umidade retida internamente foi a principal responsável pelo desconforto térmico. Na Figura 8, nota-se a concentração das horas dentro da faixa de conforto para temperaturas, havendo, porém, pontos acima da zona de conforto com umidade relativa superior a 80%.

No inverno, a maior amplitude encontrada externamente também significou menor grau de conforto, com um alto percentual em desconforto por frio (72% das horas). No protótipo, o desconforto por frio ainda existe, sendo, porém, menos intenso que no exterior (64%). Isso se deve às temperaturas extremamente baixas registradas no período avaliado. A recomendação, neste caso, é de massa térmica e aquecimento solar. Pode-se supor um desempenho ainda melhor no protótipo, pois se sombreou inteiramente as

aberturas da edificação durante o monitoramento, de forma que se garantisse as mesmas condições da primeira medição.

#### **4. CONCLUSÕES**

O protótipo monitorado apresentou boa capacidade de amortecer os picos de temperatura verificados no exterior, oferecendo aparentemente vantagens de redução de desconforto por frio. Entretanto, foi o desempenho do protótipo para a situação de verão que se mostrou mais marcante. Pode-se considerar, assim, que o material empregado nesta tipologia construtiva (básica, em termos de partido arquitetônico) consistiria numa solução passível de ser adotada em regiões de clima predominantemente quente. Considerando que o desconforto remanescente do protótipo, nas medições de verão, deveu-se à retenção de umidade no ambiente interno, infere-se que o material possa ser adotado em climas quente-secos, com bom desempenho térmico.

O desconforto por calor, observado na relação temperatura/umidade, pode ser resolvido, conforme recomendação das principais estratégias de condicionamento passivo, através da ventilação. Como o protótipo encontrava-se fechado e sem ventilação, este fato pode ter sido o principal responsável por esse desconforto. Da mesma forma, no caso do inverno, o sombreamento das aberturas pode ter contribuído para o aumento do desconforto por frio.

Comparativamente ao sensor externo, o ambiente monitorado apresentou nas duas condições uma porcentagem maior das horas em conforto.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

GIVONI, B. (1992) Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, p. 11-23, 1992.

LMPT/EMC e NPC/ECV, UFSC (1994). *Analysis, versão 1.5*: Programa Analysis para avaliação bioclimática e de conforto térmico. LMPT e NPC/UFSC, 1994. Programa. 3 Disquetes 3 ½ pol.

#### **AGRADECIMENTOS**

À equipe ISOPET, coordenada pelo Prof. Ely Cardona, pela confecção do protótipo analisado. Em especial, aos alunos Rodrigo César Kanning, Cássio Daniel Valenga Silvério, responsáveis pelos blocos ISOPET e ao Sr. Angelo Kanning pelo acompanhamento dos sensores durante o monitoramento.