



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

O DESEMPENHO TÉRMICO DE LAJES DE CONCRETO EXPOSTAS À RADIAÇÃO SOLAR EM TERESINA-PI

Felipe Fabrício dos Santos (1); Ana Lucia R. C. da Silveira(2);

(1) Curso de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí – e-mail: f.fabricio@hotmail.com

(2) Departamento de Construção Civil e Arquitetura do Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Piauí – e-mail: c_silveira@uol.com.br

RESUMO

O edifício controla as trocas entre o meio externo e o interno, e suas características determinam as condições ambientais dos espaços internos. Os materiais que constituem o edifício são determinantes das trocas térmicas entre o meio externo, em função das temperaturas externas e da radiação solar, e o meio interno, nos edifícios condicionados naturalmente. De acordo com Givoni (1997), três propriedades dos fechamentos controlam essas trocas: a resistência térmica das superfícies, a inércia térmica da construção e a absorção ou reflexão da radiação solar pelas superfícies externas da edificação. A NBR 15220 propõe o zoneamento bioclimático do Brasil e apresenta recomendações de projeto para edificações adequadas aos diversos tipos de clima encontrados no país, a partir da divisão do território em oito zonas bioclimáticas. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de lajes de concreto expostas à radiação solar em Teresina/PI comparando os resultados com os valores de transmitância térmica para coberturas recomendados pela NBR 15220. O desempenho térmico de uma edificação pode ser avaliado em função da resposta do edifício quando submetido às condições normais de exposição e se esse comportamento satisfaz às exigências dos usuários ou não. A pesquisa foi realizada em protótipos construídos na Universidade Federal do Piauí (UFPI). A análise dos resultados obtidos mostra os altos valores registrados na superfície interna das lajes de concreto dos protótipos, principalmente na laje sem o uso do isolante térmico (EPS) e indicam que estas coberturas não são adequadas ao clima da região.

Palavras-chave: desempenho térmico, lajes de concreto, coberturas

ABSTRACT

The building control the exchanges between the external and internal, and their characteristics determine the environmental conditions of the internal spaces. The materials used in the building are determinants of thermal exchanges between the external environment, depending on outside temperatures and solar radiation, and internal environment, naturally conditioned buildings. According Givoni (1997), three properties of locks control these exchanges: the thermal resistance of the surfaces, the thermal inertia of the building and the absorption or reflection of solar radiation by the external surfaces of the building. NBR 15220 proposes a bioclimatic mapping of Brazil and presents recommendations for appropriate building design for the various types of climate found in the country, from the division of territory into eight bioclimatic zones. The aim of this study is to evaluate the thermal performance of concrete slabs exposed to sunlight in Teresina / PI comparing the results with the values of thermal transmittance for roof recommended by the NBR 15220. The thermal performance of a building may be assessed according to the response of the building when subjected to normal exposure and whether the conduct satisfies the requirements of the users or not. The survey was conducted on prototypes built at the Federal University of Piauí (UFPI). The results obtained show the high values recorded on the inner surface of the concrete slabs of the prototypes, especially in the slab without the use of thermal insulation (EPS) and indicate that these coverages are not adequate to the climate of the region.

Key-words: thermal performance of concrete slabs, roofs

1.INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade ambiental constitui um novo modelo de referência no desenvolvimento das atividades humanas. De acordo com Ruano (2000, p.10), o desenvolvimento sustentável “mantém a qualidade geral de vida, assegura o acesso contínuo aos recursos naturais e evita os danos contínuos ao meio ambiente”. Os recursos naturais envolvidos na construção dos assentamentos humanos são os materiais de construção, as diversas formas de energia, a água e os resíduos.

De acordo com o autor (Op. cit., p. 14), os edifícios consomem 60% dos recursos extraídos da terra. Dessa forma, o uso racional dos materiais e sistemas construtivos apropriados ao lugar é uma forma de garantir a sustentabilidade ambiental. O consumo de energia pelas edificações hoje em dia é de aproximadamente 50% da energia consumida pelas atividades humanas. O projeto de edificações que utiliza formas passivas de condicionamento ambiental contribui para melhorar a eficiência energética das edificações e reduzir os prejuízos ao meio ambiente.

O edifício controla as trocas entre o meio externo e o interno, e suas características determinam as condições ambientais dos espaços internos. Os materiais que constituem o edifício são determinantes das trocas térmicas entre o meio externo, em função das temperaturas externas e da radiação solar, e o meio interno, nos edifícios condicionados naturalmente.

De acordo com Givoni (1997), três propriedades dos fechamentos controlam essas trocas: a resistência térmica das superfícies, a inércia térmica da construção e a absorção ou reflexão da radiação solar pelas superfícies externas da edificação. Portanto, o desempenho térmico de uma edificação vai depender, entre outros fatores, dos materiais utilizados nas paredes externas e na cobertura e devem estar adequados ao clima da região, quando se procura minimizar os gastos com a climatização artificial dos ambientes internos.

A NBR 15220 propõe o zoneamento bioclimático do Brasil e apresenta recomendações de projeto para edificações adequadas aos diversos tipos de clima encontrados no país, a partir da divisão do território em oito zonas bioclimáticas. Para cada uma, apresenta diretrizes bioclimáticas baseadas na Carta Bioclimática de Givoni, bem como estabelece valores da transmitância térmica recomendada para paredes e coberturas. A NBR 15575, sobre edificações multifamiliares de até cinco pavimentos também parte do zoneamento bioclimático proposto e utiliza os mesmos valores da transmitância térmica para as paredes e coberturas.

O desempenho térmico de uma edificação pode ser avaliado em função da resposta do edifício quando submetido às condições normais de exposição e se esse comportamento satisfaz às exigências dos usuários ou não. É determinado pelo balanço das trocas térmicas entre o meio ambiente e o edifício, ou seja, da quantidade de calor recebida e perdida pela edificação. Essas trocas ocorrem em função da radiação solar incidente, do potencial de ventilação natural, da orientação solar e aos ventos, da forma da edificação, dos materiais de revestimento das paredes e cobertura, entre outras variáveis.

Olgyay (1963) explica que a variação diária da carga térmica transmitida para o interior do edifício ocorre com duas diferenças em relação à variação do ciclo externo da radiação solar: o ciclo interno se amortizará, ou seja, terá amplitude menor, e o ciclo interno e o externo estarão defasados, em razão do atraso térmico.

A amortização do fluxo de calor depende do coeficiente global de transmissão térmica do material. “Quanto menor o valor do coeficiente, melhor o efeito isolante. Esta interferência na passagem de calor se conhece como isolamento térmico, já que permite reduzir o fluxo de calor” (OLGYAY, 1963:115).

A capacidade térmica do material expressa a capacidade do material em armazenar o calor nos momentos de picos térmicos e liberá-lo nos momentos de baixa temperatura. Depende da difusibilidade térmica do material, representada pelo quociente entre a capacidade de um material em conduzir calor pela sua capacidade de armazenar energia térmica.

A resistência térmica e a capacidade térmica dos componentes construtivos de uma edificação controlam o fluxo de calor entre o meio externo e o ambiente interno. Estas duas propriedades térmicas são função das propriedades básicas dos materiais: a densidade, a condutividade e o calor específico. Representa a resistência que o material oferece à passagem de calor entre duas faces opostas do material e engloba as trocas térmicas por convecção e radiação e por condução através do material.

A resistência térmica total de um fechamento é a associação das resistências térmicas do componente em questão com as resistências superficial externa e interna. O inverso da resistência térmica total é o coeficiente total de transferência de calor, ou seja, a transmitância térmica do fechamento. A intensidade do fluxo térmico que atravessa uma superfície, por efeito da radiação solar e da diferença de temperatura do ar

externo e interno, depende, basicamente, da transmitância térmica total do elemento (U) e da absorvidade do material, ou seja, da cor da superfície externa.

O isolamento térmico, de acordo com Szokolay (2004) pode controlar o fluxo de calor de três mecanismos: o isolamento reflexivo, resistivo e o capacitivo. O isolamento resistivo é feito com materiais com baixos valores de condutividade térmica, na maioria materiais com ar incorporados no seu interior, em forma de pequenas células de ar separadas por finas membranas (como o poliuretano e o poliestireno) ou materiais fibrosos com ar entre as fibras. O ar tem o mais baixo valor de condutividade térmica: 0,025W/m.K.

Os materiais classificados como isolantes térmicos se caracterizam por terem baixa densidade e baixa condutividade térmica. De acordo com ABNT (2005), a condutividade térmica (λ) é a “propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se observa um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura de 1 K/m”. A medição da condutividade térmica de um material pode ser determinada pelo princípio da placas quente protegida, em laboratório.

Quando os dois lados de um material qualquer estão expostos a uma diferença de temperatura, haverá troca de calor por condução e a intensidade do fluxo de calor dependerá da condutividade térmica e da espessura do material. A condutividade térmica de um material depende de sua densidade e “representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo”, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004, p.58). A tabela 01 apresenta valores da condutividade térmica de alguns materiais isolantes térmicos.

Tabela 01 – Valores da transmitância térmica de materiais isolantes térmicos:

MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	DENSIDADE (Kg/m³)
Lã de rocha	0,045	20-200
Lã de vidro	0,045	10-100
Poliestireno expandido (EPS)	0,035	25-40
Espuma rígida de poliuretano extrudado	0,030	30-40
Fibra de celulose	0,039	42
Vermiculita	0,069	128
Cortiça	0,038	144

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2004) e Szokolay (2004).

O poliestireno expandido (EPS) é um isolante térmico bastante utilizado na construção civil. Entretanto, é um produto sintético proveniente do petróleo, que leva cerca de 150 anos para ser degradado na natureza. É utilizado na construção de lajes de cobertura de concreto, para aumentar o isolamento térmico e diminuir a transmissão de calor por condução para a superfície interna da laje.

A cobertura é o elemento do edifício mais exposto à radiação solar, em razão de sua posição quase horizontal. Por receber maior carga térmica do que as paredes, nas regiões de baixa latitude, deve-se ter cuidado no projeto de seus detalhes e na escolha dos materiais.

Nos climas quentes e secos, a cobertura deve ter alta capacidade calorífica, que utiliza o efeito da reirradiação no balanço de calor diário. A utilização de telhados sombreados e com ático ventilado também é recomendada, bem como a utilização de materiais com alta refletividade da radiação solar e bons emissores de radiação de ondas longas, para acelerarem as perdas noturnas de calor.

Nos climas quentes e úmidos, a cobertura deve isolar sem armazenar calor, ou seja, deve ter pequena massa térmica. A cobertura deve ser composta pelo conjunto do telhado mais o forro, ambos de materiais leves e de preferência com o ático ventilado.

A resistência térmica das coberturas dos edifícios condicionados naturalmente deve ser tal que o incremento da temperatura da superfície interna do forro não seja maior do que 3°C em relação à temperatura externa, para não causar desconforto nos climas quentes, de acordo com Mascaró (1998:102). O autor sugere valores para a resistência térmica de coberturas em climas quentes, em função da cor da superfície externa: cobertura de cor clara, R = 0,80 m.K/W e de cor escura, R = 1,1 m.K/W. A tabela 02 apresenta alguns valores da resistência térmica de coberturas mais utilizadas.

As coberturas, quando são claras, com baixo coeficiente de absorção, diminuem o fluxo térmico que atravessa a cobertura, melhorando as condições internas de conforto. Entretanto, em regiões com chuvas

abundantes, torna-se difícil a manutenção dos telhados com cores claras, em razão dos fungos que se desenvolvem.

Tabela 02 – Valores da resistência térmica de coberturas

COBERTURA	RESISTÊNCIA (m.K/W)	TÉRMICA	ATRASO TÉRMICO (horas)
Telha de barro sem forro	0,219		0,3
Telha de barro mais forro de madeira	0,500		1,3
Telha de barro mais forro de concreto (3cm)	0,446		2,6
Telha de barro mais laje mista (12cm)	0,520		3,6
Telha de fibrocimento mais laje de concreto (20cm)	0,502		7,9

Fonte: ABNT – NBR 15220

Teresina situa-se a 05°05' de latitude sul e 42°48' de longitude oeste, dentro da macro-região do meionorte do Estado. O clima da região caracteriza-se por ter duas estações bem distintas. Durante o primeiro semestre o clima é quente e úmido, com a média das temperaturas máximas entre 30 a 32°C e umidade relativa média entre 75 a 85%. As chuvas são concentradas neste período, nos meses de dezembro a maio. No segundo semestre, praticamente não há precipitações, o clima é quente e seco, com temperaturas médias máximas entre 33 a 36°C e umidade relativa do ar entre 55 a 65%. Há elevada presença de calmarias, cerca de 40% das horas do ano, e os ventos são fracos, com velocidade média de 1,4 m/s e direção predominante sudeste.

O clima de Teresina é classificado de acordo com Köppen como megatérmico e subúmido (Aw), com inverno seco e chuvas de verão, correspondendo ao clima tropical continental, por se localizar afastado da faixa litorânea. É marcado pelo forte contraste entre a estação seca, no inverno, e as precipitações concentradas no verão. Está situada na região bioclimática 07, de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, proposto pela NBR-15220 (ABNT, 2005), conforme figura 01.

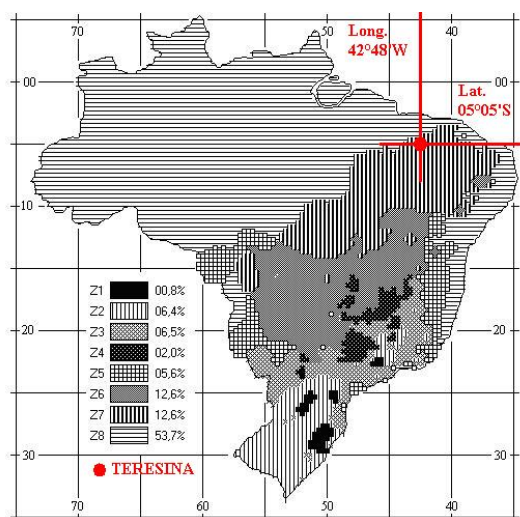


Figura 01 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro – Fonte: Adaptado de ABNT (2005)

As diretrizes de projeto recomendadas para a região são a ventilação seletiva, o resfriamento evaporativo e a massa térmica para resfriamento. As aberturas para ventilação devem ser pequenas, entre 10 a 15% da área de piso e sombreadas. Os valores da transmitância térmica para as paredes e coberturas são as seguintes (tabela 03):

Tabela 03 – Valores da transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para a zona bioclimática 07

VEDAÇÃO EXTERNA	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/mK)	ATRASSO TÉRMICO (horas)	FATOR SOLAR (%)
Paredes pesadas	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas pesadas	$U \leq 2,00$	$U \leq 2,20$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: ABNT - NBR 15220

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar a temperatura superficial interna de lajes de concreto expostas à radiação solar em Teresina/PI comparando os resultados com os valores de transmitância térmica para coberturas recomendados pela NBR 15220 para a zona bioclimática 07.

3. O MÉTODO

A pesquisa foi realizada em protótipos construídos na Universidade Federal do Piauí (UFPI), ligados a termopares para medição contínua e simultânea da temperatura superficial ou do ar. Os protótipos com dimensões de 1,0 m x 1,0 m x 2,0 m de altura possuem três paredes de alvenaria de tijolo cerâmico de seis furos rebocados externamente e pintados na cor vermelho claro. A outra lateral do protótipo, com orientação sul, foi deixada aberta. A cobertura é de laje de concreto, sendo que em alguns protótipos a laje recebeu uma camada de poliestireno expandido (EPS) (Fig 02).



Figura 02 – Protótipos de alvenaria e cobertura de laje de concreto

Foram utilizados apenas três protótipos, um para controle, com laje de concreto com 6,0 cm de espessura, outro com laje de concreto de 6,0 cm e mais uma camada de 2,0 cm de EPS e outro com uma camada de 3,0 cm de EPS. As medições realizadas com os termopares foram comparadas entre si e com os valores da temperatura do ar medidos na estação meteorológica (Weather Link – Vantage Pro, Davis Instruments) do Centro de Tecnologia da UFPI.

Os valores da transmitância térmica das lajes de concreto dos protótipos são apresentados na tabela 04, a seguir, calculados de acordo com a ABNT- NBR 15220:

Tabela 04 – Valores da transmitância térmica das lajes dos protótipos

COBERTURA	TRANSMITANCIA TÉRMICA CALCULADA (W/mK)	TRANSMITANCIA TÉRMICA RECOMENDADA (W/mK)
Laje de concreto 6cm	$U = 4,10$	$U \leq 2,00$
Laje de concreto 6cm + EPS (2cm)	$U = 1,23$	
Laje de concreto 6cm + EPS (3cm)	$U = 0,91$	

As medições da temperatura superficial interna das lajes de cobertura foram realizadas com os termopares encostados na superfície interna dos três protótipos (Fig. 03), conforme a descrição dos materiais

feita anteriormente, e as paredes laterais todas de alvenaria rebocada externamente, mas sem nenhum revestimento interno.



Figura 03 – Termopar para medição da temperatura superficial interna da laje de cobertura

As medições com os termopares foram realizadas durante 48 h consecutivas, a cada 15 min. Os resultados foram registrados em tabelas e depois serviram para elaboração de gráficos, onde foram colocados também, para comparação, os valores da temperatura do ar medidos na estação meteorológica.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A temperatura superficial interna da laje de cobertura dos protótipos apresentou variações conforme o material dos três protótipos estudados, conforme os resultados apresentados na Figura 04. As medições foram realizadas em março, no período quente e úmido. Vale ressaltar que, no segundo dia, o céu estava nublado devido às chuvas, o que justifica a não elevação da temperatura superficial das coberturas.

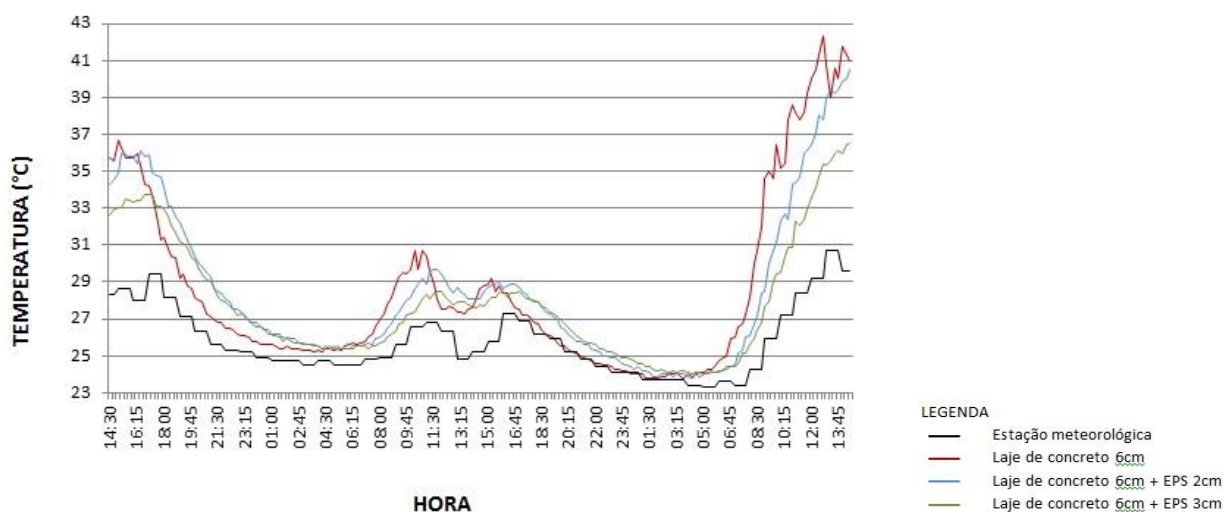


Figura 04 – Variação da temperatura superficial interna da laje de cobertura

A análise dos resultados obtidos mostra os altos valores registrados na superfície interna das lajes de concreto dos protótipos, principalmente na laje sem o uso do isolante térmico (EPS). Os valores máximos registrados são de 42,3°C na laje sem o isolante térmico e 37,8°C e 35,4°C nas lajes com 2 cm e 3 cm de EPS, respectivamente, às 12:30 horas, quando a temperatura do ar externo era de 29,2°C. O uso do isolante térmico diminui a temperatura superficial interna mais ainda não é suficiente para evitar o aquecimento do ambiente interno por radiação térmica.

Os resultados mostram também que no final da tarde e início da noite, a laje sem o isolamento térmico se resfria mais rapidamente que as com o EPS, que levam mais tempo para perder o calor acumulado durante o dia. Os valores das temperaturas das lajes são sempre superiores à da temperatura do ar externo,

exceto no período noturno quando estes valores se aproximam.

O aumento da temperatura superficial interna ocorre rapidamente no início da manhã, quando a radiação solar absorvida pela superfície externa é transmitida para o interior da laje por condução, apesar do uso do isolante térmico. Vale ressaltar que as superfícies externas das lajes possuem alta absorvância, devido à cor escura do concreto já envelhecido.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram a importância do uso de materiais adequados para as coberturas na região, quando se deseja evitar o aquecimento excessivo dos ambientes internos, devido ao calor transmitido pelas lajes de cobertura de concreto.

Apesar das lajes de concreto com EPS possuírem valores de transmitância térmica de acordo com o recomendado pela norma para esta zona bioclimática, os valores registrados na superfície interna das lajes são elevados. A cor escura da superfície externa contribui bastante para a maior absorção da radiação solar, devendo ser evitada nas coberturas.

O estudo deve ser aprofundado, fazendo-se medições também durante o período quente e seco, quando as médias das temperaturas máximas atingem 36°C e a radiação solar é intensa devido à baixa nebulosidade característica do período. Desta forma será possível avaliar de forma completa o desempenho destas coberturas que, pelo estudo já realizado, se mostram não adequadas para a região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. Porto Alegre: Sagra, 1998.
- OLGYAY, V. **Design with climate**. New Jersey: Princeton, 1963.
- RUANO, M. **Ecourbanismo: entornos humanos sostenibles**. Barcelona: Gustavo Gilli, 2000.
- SZOKOLAY, S. **Introduction to Architectural Science: the basis of sustainable design**. Oxford: Elsevier Press, 2004.