

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SALAS DE AULA DO CEFET-PR, UNIDADE DE CURITIBA

ADRIAZOLA, Marcia K.O. (1); KRÜGER, Eduardo L. (2)

(1) Arquiteta, Mestre, Profª. Depto de Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR - Av. Sete de Setembro, 3165

CEP 80230-901 Curitiba - PR.

e-mail: mkeiko@cefetpr.br

(2) Eng. Civil, Dr.-Ing., Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Depto de Construção Civil - CEFET-PR

e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar o desempenho térmico de salas de aula. A pesquisa foi conduzida no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR, Unidade de Curitiba. O estudo abrange o monitoramento, simulações de modelos e análise do desempenho térmico de salas de aula, durante os períodos de inverno e verão. Os resultados da pesquisa mostram quais materiais, dentre os mais utilizados em paredes e coberturas nos projetos de edificações destinadas a salas de aula do CEFET-PR, apresentam o melhor desempenho térmico.

ABSTRACT

The main goal of this paper was to analyze the thermal performance of classrooms. The research was conducted at the Federal Center of Technological Education of Paraná - CEFET-PR, at Curitiba's Unit. The study comprises the monitoring, simulation of models, and the analysis of the thermal performance of classrooms, during winter and summer periods. The results of this research indicate the materials, among those used in walls and roofs in buildings projects of classrooms, which present the better thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos parâmetros climáticos e de conforto associados às características termofísicas dos materiais permite uma análise apurada que, ocorrendo durante o processo de criação do projeto de uma edificação, pode intervir de maneira tal que o arquiteto possa optar por soluções, cujo desempenho térmico final seja o mais adequado para determinada região, clima local e às características e necessidades das pessoas.

Prever no projeto elementos que resultem em características térmicas convenientes não significa necessariamente um aumento no custo da construção. Ao contrário, isso possibilita uma diminuição do custo de utilização e manutenção, além de contribuir para um maior conforto térmico dos usuários. Na

elaboração de um projeto, deve-se ter em mente: a importância da orientação solar; o dimensionamento adequado das aberturas de ventilação e iluminação; a escolha correta dos materiais de construção, levando-se em conta que, para cada região ou lugar específico, tem-se determinado tipo de clima. A escolha correta para cada um destes itens contribuirá para melhorar o conforto ambiental e, conseqüentemente, para a racionalização no uso de equipamentos para climatização destes ambientes, na redução do consumo energético, enfim, na preservação dos recursos naturais.

Apesar da existência, no Brasil, do Projeto de Norma Técnica e de literatura referente ao conforto térmico, verifica-se que a maioria dos projetos de escolas desenvolvidos carecem de estudos mais aprofundados sobre o grau de desempenho térmico decorrente do uso de determinados elementos construtivos.

Um dos aspectos abordados na presente pesquisa refere-se ao estudo do conforto térmico e sua relação com a concepção arquitetônica, quanto ao tipo de material empregado nas paredes e coberturas e suas influências no grau de temperatura e umidade interna das salas de aula do CEFET-PR, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Salienta-se a relevância deste estudo, considerando-se, principalmente, que esta pesquisa busca contribuir para uma melhor compreensão sobre a escolha correta de materiais.

2. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

A pesquisa de desempenho térmico das salas de aula do CEFET-PR consistiu, assim, de três fases distintas:

- Medições em oito salas de aula, durante um período de inverno e um período de verão.
- Modelagem, calibração e simulação de três salas. Estes modelos foram simulados de forma que os resultados dos modelos matemáticos, em termos de temperaturas de bulbo seco, se aproximassem dos dados reais, obtidos nas medições. Isso foi comprovado através de análise de regressão.
- Simulações com trocas de paredes e de coberturas, utilizando-se os materiais mais comumente empregados nos projetos de edifícios destinados a salas de aula do CEFET-PR. Para as simulações foram utilizados os softwares *COMFIE (Calcul d' Ouvrages Multizones Fixé a une Interface Expert)* e *ANALYSIS*. Os resultados foram em termos de temperaturas máximas, médias, e mínimas, bem como a quantidade de horas de frio, conforto e calor.

Para o levantamento dos dados de temperatura e umidade, foram utilizados aparelhos registradores (data-loggers) de temperatura e umidade relativa do ar da marca HOBO. Foram escolhidas salas de aula de três blocos distintos: J, N e Q. Do bloco J e N, por pertencerem estes às construções mais antigas, com características próprias como paredes espessas de 30 cm de espessura tanto externa como internamente, sendo as externas maciças e as internas paredes duplas com câmara de ar; e do Bloco Q, por ser de construção mais recente e por apresentar também uma característica que se mostrou interessante para a pesquisa: as salas analisadas pertencem a uma ampliação feita na cobertura, caracterizando duas etapas distintas, nas quais foram utilizadas telhas diferentes, na primeira fase telha de alumínio simples e, na segunda fase, telha de alumínio com poliuretano. A Figura 1 ilustra a localização dos blocos no terreno do CEFET-PR.

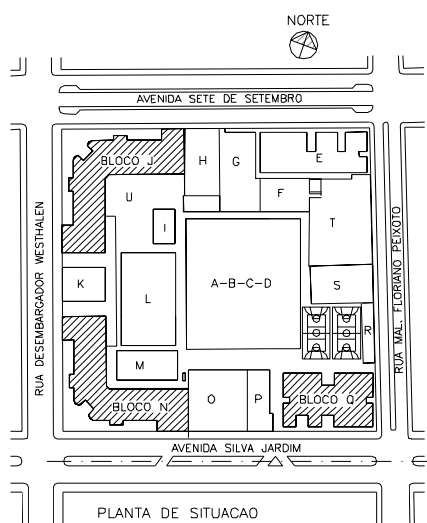


Figura 1: Implantação das construções dentro do terreno do CEFET-PR

As salas de aula J003 e N005 pertencem aos blocos mais antigos e as salas do Bloco Q são construções mais recentes, como citado anteriormente. As salas J003 e Q302, Q305, Q308 e Q311 estão situadas no último pavimento estando em contato com a cobertura. Escolheu-se salas com ou sem contato com a cobertura e de mesma orientação (Tabela 1).

Tabela 1: Levantamento das salas com as áreas de piso, áreas de janelas e orientação da fachada principal

SALA	J 003	N 005	Q 102	Q 105	Q 302	Q 305	Q 308	Q 311
Piso (m ²)	21,90	29,90	70,93	70,93	69,74	69,80	68,16	35,28
Janela (m ²)	8,03	9,90	8,92	8,92	11,65	11,65	10,71	10,46
Orientação da fachada	NO	SE	SE	NO	SE	NO	NO	SE

3. MEDIÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE SALAS DE AULA

As medições abrangeram os seguintes períodos: de 04 a 09 de agosto de 2000 (inverno) e de 11 a 14 de janeiro de 2001 (verão) (Tabela 2).

Tabela 2: Período de monitoramento

Período		T [°C]			% horas		
Início	Fim	Mínima	Média	Máxima	Frio	Conforto	Calor
04/08/2000, às 16:00	09/08/2000, às 10:30	4,50	14,94	27,77	70,40	29,60	0
10/01/2001, às 22:00	15/01/2001, às 14:30	16,70	21,30	30,70	40,30	34,50	25,20

Externamente, os data-loggers de temperatura e umidade foram dispostos na fachada Sul, protegidos por beiral e brise, e revestidos com folha de alumínio. Os aparelhos foram programados para medir a temperatura e umidade a cada 5 minutos, sendo os dados coletados integrados para uma hora e plotados, por fim, na carta psicrométrica com o software ANALYSIS (LabEEE/NPC/UFSC), com a finalidade de se obter as horas de conforto. Para isso, fez-se necessário estimar o grau de umidade relativa das salas de aula, tomando-se por base a temperatura e a umidade relativa externas. Assumindo-se que nos ambientes considerados não houve geração de umidade (as salas permaneceram desocupadas durante ambos períodos

de monitoramento por motivo de férias escolares) e que as janelas, mesmo fechadas, permitiram alguma renovação do ar interno, a umidade absoluta externa foi também adotada para os ambientes monitorados. Assim, a partir da umidade absoluta e da temperatura medida do ar interno, estimou-se a umidade relativa de cada sala, para cada hora.

Dos resultados obtidos no levantamento *in loco*, pôde-se concluir que o efeito da orientação solar das fachadas foi considerável, tanto no inverno quanto no verão, pois todas as janelas estavam desobstruídas. Isso se verificou principalmente no inverno, quando todas as salas, se consideradas de duas a duas (tendo as mesmas características de dimensionamento, materiais e acabamentos de paredes e coberturas, porém, com orientação diversa das fachadas), apresentaram alguma redução nos graus de desconforto por frio quando havia maior insolação na fachada (Figuras 2 e 3).

Quanto às características termofísicas, no inverno, as transmitâncias das coberturas parecem influir nos graus de conforto apenas nas fachadas ensolaradas. Isso se deve ao efeito conjugado da orientação solar e das características termofísicas dos materiais, o que reflete uma das recomendações da Norma de Conforto para a Zona Bioclimática 1 (RORIZ et al., 1999), onde está incluída Curitiba: aquecimento solar passivo. Quanto às transmitâncias das paredes, as salas antigas J-003 e N-005 devem ser comparadas respectivamente com as salas mais novas Q-305, de orientação NO, e Q-102, que como a N-005, é de orientação SE e não apresenta cobertura. A menor transmitância das paredes implicou, no caso, em maior desconforto por frio. Além disso, a maior inércia térmica das paredes da ala antiga aparentemente não trouxe benefícios. (Figuras 2 e 3). Entretanto, há que se considerar ainda diferenças existentes nas áreas das salas e na relação área de janela/área de parede.

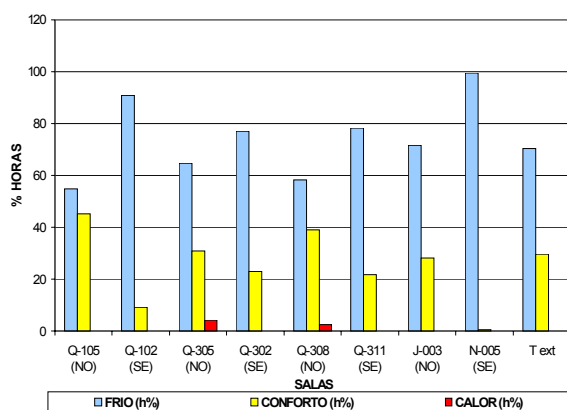


Figura 2: Resultados obtidos no monitoramento de inverno - horas de frio, conforto e calor

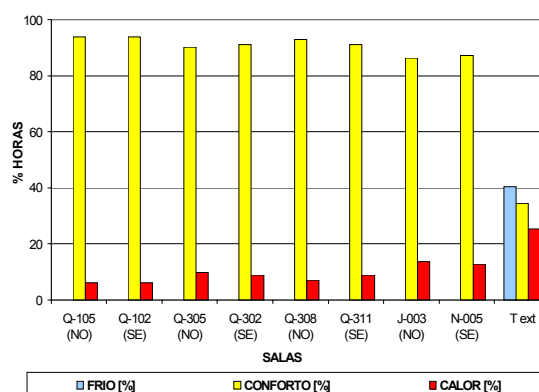


Figura 3: Resultados obtidos no monitoramento de verão - horas de frio, conforto e calor

No verão, por outro lado, o efeito da diminuição da transmitância e aumento da inércia térmica das paredes implicou em uma maior retenção de calor nas salas mais antigas. A orientação continua a influir, mas o efeito das coberturas é pequeno, para o período monitorado. Entretanto, ocorreram reduções das temperaturas máximas internas, por exemplo, entre as salas Q-305 e Q-308, ambas de orientação NO, onde as máximas foram, respectivamente, 33,6°C e 32,3°C (a temperatura máxima externa foi de apenas 31,4°C).

4. SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO

As salas efetivamente simuladas foram: a sala J003; a sala Q305 e a sala Q308.

A escolha da sala J003 se deu por esta pertencer ao bloco mais antigo, possuir paredes de 30 cm e estar em contato com a cobertura.

A escolha das salas Q305 e 308 deve-se aos seguintes motivos:

- Por pertencerem ao bloco de construção mais recente, com paredes externas em concreto, estarem em contato com a cobertura, e por pertencerem, respectivamente, à primeira e à segunda etapa da ampliação da cobertura do bloco Q.
- Pelo fato da sala Q305 ter cobertura de alumínio e poder ser comparada com a sala Q308, de mesmas características em termos de área útil, área de janelas, tipo de forro, mas cuja cobertura é de alumínio com poliuretano.

Utilizando-se o software COMFIE, foram feitas então simulações com o objetivo de aproximar ao máximo o modelo de simulação do ambiente real. A Tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação (R), de determinação (R²) e o erro médio encontrado entre as duas séries de dados (medidos × simulados). Os dados correlacionados foram as temperaturas de bulbo seco medidas *in loco* e simuladas pelo COMFIE.

Tabela 3: Comparação estatística (dados medidos × simulados) para inverno e verão

Sala	inverno			verão		
	R	R ²	Erro médio [K]	R	R ²	Erro médio [K]
J-003	0,98	0,95	0,38	0,94	0,89	0,01
Q-305	0,94	0,89	0,08	0,96	0,92	0,76
Q-308	0,95	0,91	0,40	0,95	0,91	0,08

Tendo sido verificada a boa correspondência entre os modelos de simulação e os dados de medição, procedeu-se em seguida à simulação com o TRY, tomando-se o cuidado de ajustar os dados de ocupação e os ganhos de calor para uma situação que seria a mais comum durante a utilização da sala. O de Curitiba (GOULART *et al.*, 1998) foi construído a partir de dados climáticos correspondentes ao período de 1961-1970, possuindo assim um caráter mais representativo que o período abrangido pelo monitoramento. Neste sentido, a quantidade de horas analisadas na simulação com o arquivo climático real foi de 73 horas e, nas simulações com o arquivo climático de referência, de 336 horas.

A comparação (Tabela 4 e 5) foi feita com as condições externas e em termos de temperaturas mínimas, médias e máximas, quantidade de horas de frio, conforto e calor, levando-se em conta a faixa de temperaturas de conforto térmico para países em desenvolvimento, definida por Givoni (1992) como sendo de 18 a 29°C.

Tabela 4: Resumo para as simulações com o ano estatístico (inverno)

Sala	T _{mín} [°C]	T _{méd} [°C]	T _{máx} [°C]	Frio [h]	Conforto [h]	Calor [h]
J-003	14,12	18,53	22,85	128	208	0
Q-305	8,88	18,33	29,31	181	127	28
Q-308	8,58	17,95	28,74	188	125	23
Externo	4,90	14,89	26,50	241	95	0

Em termos de horas de conforto e desconforto, verifica-se a importância de se trabalhar com dados climáticos mais representativos, abrangendo um período mais longo. Quanto à presente pesquisa, dado o curto período de medição, o desempenho das salas mostrou-se diferenciado para as duas situações (período de monitoramento e ano climático de referência –TRY). Desta forma, tanto no verão como no inverno, o ranking das salas quanto a um maior grau de conforto, permaneceu inalterado.

Tabela 5: Resumo para as simulações com o ano estatístico (verão)

Sala	Tmín [°C]	Tméd [°C]	Tmáx [°C]	Frio [h]	Conforto [h]	Calor [h]
J-003	19,53	24,04	27,28	0	336	0
Q-305	15,47	23,99	33,02	35	163	138
Q-308	15,37	23,63	32,40	44	157	135
Externo	13,80	20,11	29,80	115	219	2

Considerando apenas o TRY, de maior representatividade, o melhor desempenho térmico apresentado, tanto para o período de inverno como para o de verão, foi o da sala J003, que possui paredes duplas. O uso de alta inércia térmica mostrou-se favorável, na medida em que permite que haja conservação da temperatura interna, quando do aumento ou diminuição da temperatura externa. Neste sentido, a sala J003 mostrou-se termicamente mais confortável que as demais salas. No verão, a melhor situação se apresentou para a sala J003, que amortiza tanto as temperaturas mais elevadas quanto as mais baixas, situando-se a amplitude térmica desta sala (19,53°C a 27,28°C) dentro dos limites de conforto. Em seguida, nota-se o benefício gerado pelo isolamento térmico da cobertura da sala Q308, de características semelhantes às da sala Q305. Isso resultou numa redução dos picos de temperatura (de 33,02°C para 32,40°C), e também nos graus de desconforto por calor (de 138 para 135 horas).

5. SIMULAÇÕES COM TROCA DE PAREDES EXTERNAS

Ajustados os modelos de simulação, utilizou-se o software COMFIE para novas simulações, realizando-se a troca do material utilizado somente nas paredes externas por outros materiais mais comumente especificados em projetos de salas de aula do CEFET-PR: caso 1 - parede de alvenaria simples com 15 cm de espessura; caso 2 – parede de concreto com revestimento interno de argamassa; caso 3 – parede de concreto celular com revestimento interno e externo de argamassa. A sala J003 foi escolhida para ser analisada por pertencer ao bloco mais antigo do CEFET-PR e por possuir paredes mais espessas (30 cm) que as atualmente utilizadas (15 cm).

Nota-se que, pela comparação das porcentagens de horas de frio, conforto e calor (Figuras 4 e 5), o material que apresentou melhor desempenho no inverno foi o concreto celular com 53,27 % de horas de conforto e 32,74 % de desconforto por frio. No verão, o concreto celular também apresentou o melhor desempenho, com 80,65 % horas de conforto e 19,35 % horas de desconforto por calor. Desta maneira, considera-se o concreto celular o material de melhor desempenho térmico, dentre os quatro tipos analisados.

6. SIMULAÇÕES COM TROCA DE COBERTURAS

A cobertura é o elemento que mais insolação recebe na construção. Sendo na maioria das vezes plana, está exposta praticamente a todo o período de incidência dos raios solares. Assim, a escolha do material destinado à cobertura, durante a fase de concepção de um projeto, influirá no desempenho térmico dos ambientes desta edificação. Após a definição dos modelos, selecionou-se a sala Q305 para a simulação com trocas de cobertura. A Q-305, do bloco denominado Bloco Q, foi selecionada por pertencer às construções mais recentes e por apresentar uma característica que a destacava das demais salas: foi construída numa ampliação da cobertura de uma construção já existente, com estrutura metálica e materiais mais leves, de

forma que não se sobrecarregasse a estrutura. Após a montagem do modelo de simulação, foram realizadas novas simulações, realizando-se a troca do material utilizado nas coberturas por outros materiais mais comumente especificados em projetos de salas de aula do CEFET-PR, como por exemplo: cobertura cerâmica; cobertura de concreto; cobertura de fibrocimento ou cimento amianto; além das coberturas de alumínio simples e a de alumínio com poliuretano.

Analisando-se os resultados obtidos (Figuras 6 e 7), nota-se que, pela comparação das horas de frio, conforto e calor, no inverno, as simulações feitas para a sala Q305 não apresentaram muita diferença nos resultados das trocas de cobertura. A cobertura cerâmica se destacou dentre as demais com o melhor desempenho térmico para o inverno com uma porcentagem de 39,9%, ou 134 horas de conforto, seguida pela cobertura de fibrocimento com 39,3%, ou 132 horas de conforto e pela cobertura de concreto com 39%, ou 131 horas de conforto. A cobertura que apresentou pior desempenho para o inverno foi a cobertura de alumínio, ou seja, a cobertura original, dentre os cinco tipos avaliados.

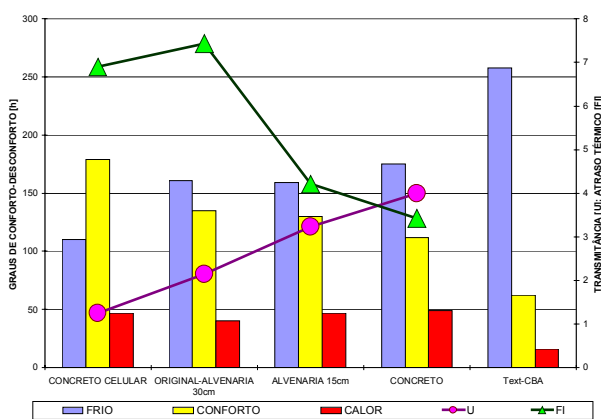


Figura 4: Resultados obtidos no inverno com a troca de tipos de parede externa da sala J003 - horas de frio, conforto e calor confrontadas com os valores da transmitância (U, em W/m²K) e do atraso térmico (φ, em horas).

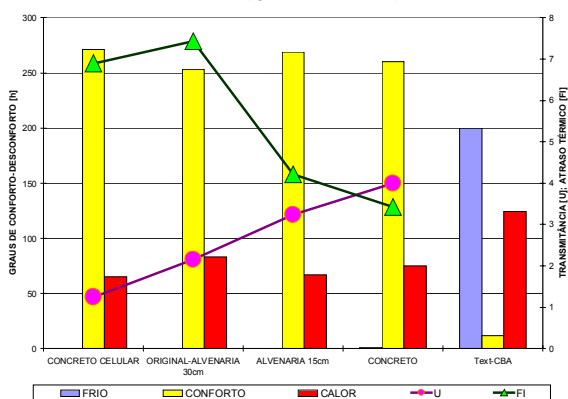


Figura 5: resultados obtidos no verão com a troca de tipos de parede externa da sala J003 – horas de frio, conforto e calor confrontadas com os valores da transmitância (U, em W/m²K) e do atraso térmico (φ, em horas).

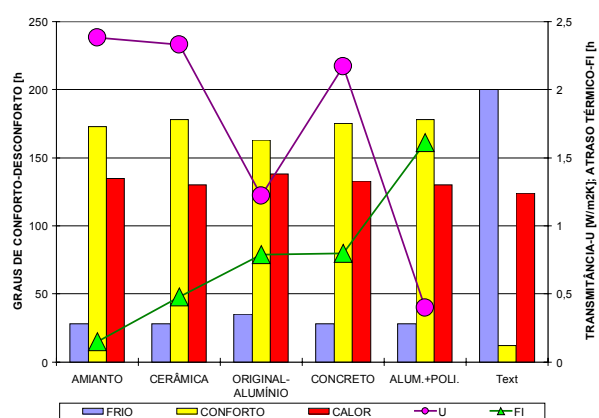


Figura 6: resultados obtidos no inverno com a troca de tipos de cobertura da sala Q305 horas de frio, conforto e calor confrontadas com os valores da transmitância (U, em W/m²K) e do atraso térmico (φ, em horas).

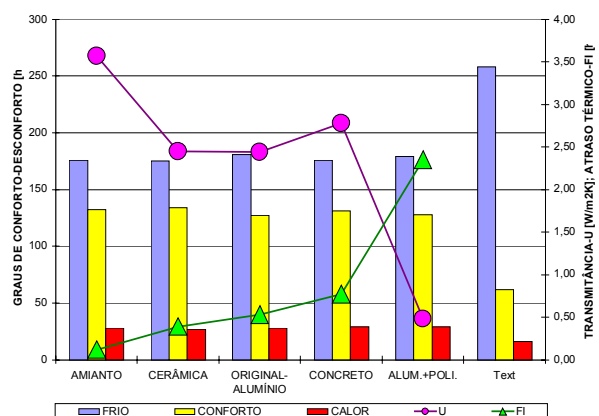


Figura 7: resultados obtidos no verão com a troca de tipos de cobertura da sala q305- horas de frio, conforto e calor confrontadas com os valores da transmitância (U, em W/m²K) e do atraso térmico (φ, em horas).

No verão, a cobertura com melhor desempenho térmico foi a cerâmica, que apresentou 53%, ou 178 horas de conforto, sendo seguida pela cobertura de alumínio com poliuretano que apresentou 52,7%, ou 177 horas de conforto, isto é, 1 hora a menos de conforto, seguidas pela cobertura de concreto com 39%, ou 175 horas de conforto. Também no verão, a cobertura que apresentou pior desempenho térmico foi a cobertura de alumínio, ou seja, a cobertura original, dentre os cinco tipos avaliados.

Apesar da pequena margem de diferença entre os resultados encontrados, considera-se a cobertura cerâmica o material de melhor desempenho térmico e a cobertura de alumínio a de pior desempenho térmico, dentre os cinco tipos analisados, pois observou-se que, relativamente à cobertura original, a troca do material da cobertura resultou num aumento das horas de conforto. Assim, para o inverno, o aumento de horas em conforto foi de 7 horas para a cobertura cerâmica, de 5 horas para a de fibrocimento e de 4 horas para a de concreto. No verão, para a cobertura cerâmica e para a de alumínio com poliuretano, de 15 horas, e para a de concreto de 12 horas.

7. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo geral a avaliação do desempenho térmico de salas de aula na Unidade de Curitiba do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR. Consistiu basicamente em verificar as temperaturas das mesmas, baseadas na classificação de frio, conforto e calor estabelecida por Givoni (1992) e teve como objetivo específico verificar, através de simulações e cálculos, quais os materiais que apresentam melhor desempenho térmico, dentre os mais utilizados nas paredes e coberturas em projetos arquitetônicos destinados a edificações de salas de aula do CEFET-PR.

Destas simulações realizadas, resultou que, dentre os materiais mais comumente empregados, o material de revestimento de paredes externas que apresentou o melhor desempenho térmico para Curitiba, tanto no inverno como no verão, foi o concreto celular. Analisando-se os resultados obtidos nas simulações com trocas de coberturas, verificou-se que o material de melhor desempenho térmico, dentre os materiais mais utilizados nos projetos do CEFET-PR, foi a cobertura cerâmica, tanto no verão como no inverno. Houve, no entanto, pouca margem de diferença entre os resultados, o que justifica uma continuidade da pesquisa.

Em relação às propriedades termofísicas dos materiais, analisando-se os resultados, nota-se que os valores da Transmitância (U) e da Inércia (ϕ) dos materiais empregados tanto nas paredes como nas coberturas, influíram no desempenho térmico das salas em maior ou menor grau, isto é, esta influência foi acentuada no caso das trocas de paredes, porém, nas simulações com trocas de cobertura, não se mostrou muito clara, sendo os resultados, neste caso, inconclusivos.

8. REFERÊNCIAS

- GIVONI, B. (1992). Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. *In: Energy and Buildings*, Vol. 18.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. (1998). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC.
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. (1999). Uma proposta de norma técnica sobre desempenho térmico de habitações populares. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 5, 1999, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ANTAC.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (2000). *Proposta de Norma para a ABNT: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolo e unidades*. Florianópolis : UFSC / FINEP, 1998. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em: 04 dez. 2000.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (2000). *Proposta de Norma para a ABNT: Desempenho térmico de edificações - Parte 2 : Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*. Florianópolis : UFSC / FINEP, 1998. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em: 04 dez. 2000.