



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE COMPONENTES CONSTRUTIVOS UTILIZANDO O ENERGYPLUS

Juliana Oliveira Batista; Roberto Lamberts; Fernando Simon Westphal

(1) LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. CTC- ECV- NPC.
Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa Postal 476, Florianópolis- SC, CEP 88040-900
Brazil .

Tel.: +55 48 331 7090. E-mail: juliana@labeee.ufsc.br

RESUMO

Nos anos 70, a busca por meios de conservação de energia foi intensificada para assegurar o desenvolvimento econômico. Ferramentas de simulação começaram a ser desenvolvidas com o intuito de proporcionar aos engenheiros e arquitetos meios para otimizar a performance energética no projeto de edificações, a partir da análise das cargas de aquecimento e resfriamento e do consumo de energia resultante. O presente trabalho investiga a influência de diferentes tipologias de cobertura no desempenho térmico de uma edificação localizada na cidade de Brasília, utilizando como ferramenta de simulação o programa computacional *EnergyPlus versão 1.2.1*. O emprego de diferentes tipologias de cobertura resultou em alterações do número de graus.hora necessários para o aquecimento e resfriamento da edificação, variando de acordo com a capacidade térmica dos materiais. Os resultados indicaram que a seleção dos parâmetros de simulação deve ser criteriosamente realizada de acordo com os objetivos do estudo a ser realizado, uma vez que influenciam nos resultados obtidos. Nesse sentido, programas computacionais como o EnergyPlus constituem-se em ferramentas valiosas para o projetista, exigindo, contudo, um conhecimento aprofundado a respeito das variáveis envolvidas no balanço térmico de uma edificação por parte do profissional.

Palavras-chave: desempenho térmico de edificações, simulação computacional, Brasília.

ABSTRACT

Since 70's, tools for evaluation of buildings thermal performance have been developing to achieve energy savings in heating and cooling systems. This paper analyses the influence of different roof types and ventilation rates on thermal performance of a building located in Brasilia, a hot and dry location, using software *Energyplus version 1.2.1*. It was observed changes in roof building components thermal loads during summer and winter, as well in cooling and heating periods, related to different roof types and ventilation rates. This results emphasizes the importance of building components selection in hot and dry locations like Brasilia, achieving a better performance by means of thermal loads reduction.

1. INTRODUÇÃO

A década de 70 foi marcada por uma séria crise energética. A crise do petróleo, que se sucedeu após o rápido desenvolvimento industrial, resultou em uma busca por meios de conservação de energia para tornar possível o atendimento da demanda e a manutenção da produção industrial (GELLER, 1981). Considerando-se que a construção civil é responsável por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica, ferramentas de simulação começaram a ser desenvolvidas com o intuito de proporcionar aos engenheiros e arquitetos meios para dimensionar adequadamente sistemas de condicionamento de ar, realizar estudos de *retrofit* e otimizar a performance energética das edificações (LBNL, 2004). Esses programas, a exemplo do BLAST e DOE-2, realizam a análise energética de uma edificação, baseada na simulação das cargas térmicas resultantes da configuração construtiva e dos sistemas de condicionamento e demais equipamentos existentes. Com o aperfeiçoamento dos sistemas operacionais, foram desenvolvidas ferramentas de simulação capazes de simular a condução do calor transiente através dos componentes construtivos e a transferência de calor pelo solo, entre outras possibilidades (LBNL, 2004). O programa computacional EnergyPlus é uma dessas ferramentas, desenvolvido pelo Lawrence Berkeley National Laboratory em sociedade com outros laboratórios para o Departamento de Energia Norte-Americano (DOE), tendo sido utilizado no presente trabalho.

Através de arquivos climáticos de dados horários, o programa computacional EnergyPlus calcula as temperaturas internas em edifícios não condicionados, bem como as cargas de aquecimento e resfriamento necessárias para manter o controle da temperatura no dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar, verificando o consumo de energia resultante. O programa também permite a análise das cargas térmicas advindas dos componentes construtivos, possibilitando a verificação do desempenho térmico de diferentes tipologias de edificações, inclusive aquelas não condicionadas (ventilação natural), considerando as condições ambientais dos locais onde as mesmas encontram-se inseridas.

A escolha dos componentes construtivos de uma edificação é de fundamental importância, principalmente em locais caracterizados pelo clima quente e seco, a exemplo de Brasília. O clima de Brasília é caracterizado pela elevada amplitude térmica. Nos meses mais frios (junho e julho), as temperaturas mínimas são inferiores a 18° C, enquanto nos meses mais quentes (setembro e outubro) a temperatura máxima pode ultrapassar os 30°C (MACIEL, 2002). Diante de tais características, o uso da inércia térmica se apresenta como uma das principais estratégias de condicionamento passivo para Brasília durante o verão (ABNT, 1998), uma vez que a capacidade térmica dos materiais pode ser usada para reduzir a produção de calor interno durante o dia (ROMERO, 2000). A ventilação seletiva também é uma estratégia recomendada para o clima local. Através do uso dessa estratégia, o movimento do ar é reduzido nos períodos quentes do dia e os ventos são captados à noite, quando a temperatura do ar é menor, contribuindo para o resfriamento da estrutura (ROMERO, 2000).

Com o auxílio de ferramentas de simulação, torna-se possível verificar quais os períodos críticos de aquecimento e resfriamento da edificação, determinando-se o número de graus.hora correspondentes a esses períodos, orientando o projetista na escolha adequada dos elementos construtivos e das estratégias de ventilação. Conseqüentemente, facilita-se um desempenho energético eficiente das edificações, através da definição de estratégias bioclimáticas baseadas na investigação de seu desempenho térmico. Desse modo, o atendimento das exigências de conforto pode ser desvinculado da utilização excessiva de equipamentos mecânicos de refrigeração e iluminação, nem sempre acessíveis financeiramente à maioria da população (SCHILLER et al, 1997).

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo investigar a influência de diferentes tipologias construtivas, associadas a diferentes estratégias de ventilação, no desempenho térmico de uma edificação localizada na cidade de Brasília, utilizando como ferramenta de simulação o programa computacional Energyplus.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição do modelo de edificação

O modelo utilizado nas simulações foi calibrado de acordo com as definições do método BESTEST da Norma americana ASHRAE Standard 140, utilizado para a validação de programas de análise térmica e energética de edifícios (ASHRAE, 2001). Semelhante ao Caso 600 do BESTEST, o modelo é constituído por um único ambiente e possui uma única janela, orientada a norte. Suas dimensões são iguais a 10m x 10m por 2,7m de pé-direito (ver Fig. 1). Não foi considerada a ocupação de pessoas, sendo estipulada uma carga interna fixa igual a 200W durante as 24h diárias. O ambiente não possui nenhum tipo de sistema de condicionamento artificial e as taxas de renovações de ar assumidas são resultantes da infiltração e ventilação natural.

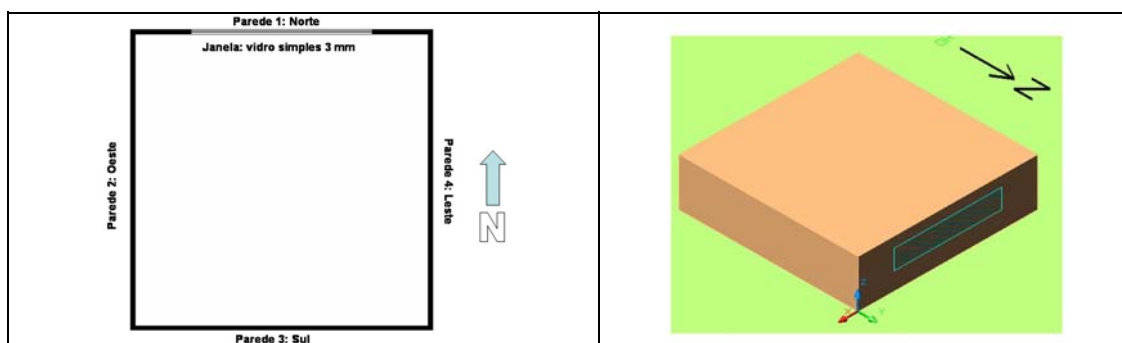


Figura 1 – Planta baixa e perspectiva do modelo de edificação utilizado nas simulações

Foi considerada uma área de cobertura expressiva, igual a 100 m² para investigar sua influência no desempenho térmico da edificação. Foram simuladas 3 configurações construtivas, desde o limite máximo de transmitância térmica igual a 2 W/m², recomendado para coberturas em Brasília (telha de barro + fôrro de pinus), até uma configuração com maior isolamento (telha de barro + fôrro de pinus + lâ de vidro), sendo que o máximo atraso térmico recomendado corresponde a 3,3h (ABNT, 1998) (ver Tabela 1). A direção do fluxo de calor foi considerada descendente, sendo a resistência térmica da câmara de ar igual a 0,21 m².K/W, considerada com alta emissividade. Quanto ao tipo de piso e paredes, mantiveram-se fixos. As paredes foram definidas como duplas, constituídas por tijolo maciço e câmara de ar, também considerada com alta emissividade e possuindo valor de resistência térmica igual a 0,16 m².K/W. Segundo a ABNT (1998), o limite para a transmitância térmica de paredes para Brasília é igual a 2,20W/m², com atraso térmico mínimo de 6,5 h. Quanto à janela, foi empregado vidro claro simples, com 3mm de espessura. No caso do piso, as temperaturas superficiais do solo foram definidas mensalmente, sendo os valores correspondentes às médias mensais de temperatura da cidade de Brasília (ver Tabela 2). Considerou-se a refletividade da superfície do solo igual a 0,2.

Tabela 1 - Resistência e transmitância térmica dos componentes construtivos utilizados

Componentes construtivos	R (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)	Atraso (h)
Cobertura: telha de barro + câmara de ar + fôrro de pinus (1cm)	0,50	2,00	1,3
Cobertura: telha de barro + câmara de ar + fôrro de pinus (1cm) + lâ de vidro (50 mm)	1,61	0,62	3,1
Cobertura: telha de barro + câmara de ar + laje de concreto (20cm)	1,85	0,54	8,0
parede dupla: tijolo maciço (9 x 5 x 19 cm) + câmara de ar	0,43	2,31	6,5

Tabela 2 – Temperaturas médias mensais para Brasília – 1982/ 1997. Fonte: Maciel, 2002.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
22,47	22,46	22,40	22,02	20,85	18,98	19,01	20,70	22,45	22,95	22,44	22,23

3.2 Parâmetros de simulação

O programa *Energyplus* possui 3 tipos de algoritmos para a solução do balanço de calor através das superfícies. No presente trabalho, optou-se pelo uso da função de transferência de calor por condução (Conduction Transfer Function – CTF), a qual considera apenas o calor sensível, desconsiderando o armazenamento de umidade ou difusão nos elementos construtivos. A radiação é calculada automaticamente pelo programa. O cálculo do balanço de calor através das superfícies pode ser efetuado considerando-se ou não a capacidade térmica dos elementos construtivos. Nesse último caso, as propriedades dos materiais são referenciadas apenas com base no valor da resistência térmica dos mesmos. No presente trabalho, as paredes e o piso da edificação foram definidos nas simulações considerando-se sua capacidade térmica.

Quanto à cobertura, os elementos foram definidos considerando-se sua capacidade térmica ou não, a fim de comparar os resultados das duas alternativas de simulação. Quanto às renovações de ar, foram simuladas 3 taxas: 1, 10 e 20 renovações de ar por hora, resultando em fluxos respectivamente iguais a 0,0075; 0,075 e 0,15 m³/s. No caso do número de renovações horárias igual a 20, foi estabelecido um período no qual estaria ocorrendo, entre as 18h e as 6h, simulando uma estratégia de ventilação noturna. As demais taxas de renovação foram mantidas constantes durante as 24h do dia.

Foi então avaliado o desempenho térmico das três tipologias de cobertura durante os dias nos quais foram verificados os valores limites da temperatura interna máxima e mínima. Estabeleceu-se uma faixa de temperaturas internas, compreendida entre 20°C e 27°C (de acordo com o BESTEST), considerada como referência para a determinação do número de graus.hora necessários para o resfriamento e o aquecimento da edificação. A duração dos períodos nos quais as temperaturas internas ultrapassaram esses limites, bem como os horários onde isso ocorreu, foram comparados entre as alternativas simuladas. Considerando-se as 3 diferentes taxas de renovação de ar estabelecidas, compararam-se também as parcelas de contribuição de cada componente construtivo nas cargas térmicas internas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperaturas internas: períodos de aquecimento e resfriamento

Os resultados apresentados a seguir referem-se aos dias nos quais foram obtidos os valores extremos de temperatura interna (temperaturas máxima e mínima). Considerando-se os dias de pico verificados para o tipo de cobertura composta pela telha de barro com forro de pinus, a qual apresenta a menor resistência térmica, realizou-se uma análise comparativa entre as diferentes tipologias de cobertura adotadas. Considerando-se as taxas de renovação do ar iguais as 1 R/h e 20 R/h, as temperaturas máximas no interior da edificação foram verificadas no dia 03/03, às 15h, enquanto que com o uso da taxa de 10 R/h a temperatura interna máxima ocorre no dia 20/09 (Fig. 2a). As temperaturas externas nesses dias foram iguais a 29,1°C e 31°C, respectivamente. As temperaturas internas mínimas foram verificadas no dia 25/07, às 7h, no caso das taxas de renovação de ar iguais a 1R/h e 10 R/h, sendo a temperatura externa igual a 7,8°C. Com o uso da taxa igual a 20 R/h, as temperaturas mínimas internas foram obtidas no dia 24/07, às 6h, sendo a temperatura externa igual a 8,5°C (Fig. 2b).

Em todas as simulações realizadas, os valores máximos e mínimos das temperaturas internas situaram-se fora do intervalo compreendida entre 20°C e 27°C, independente da taxa de renovação de ar adotada (Figuras 2a e 2b). Foram realizadas 2 séries de simulações: a primeira considerando a capacidade térmica dos elementos constituintes da cobertura e a segunda considerando apenas a resistência térmica dos mesmos. Observou-se que apenas no caso da cobertura com laje de concreto (maior resistência térmica) isso provocou pequenas alterações nos valores da temperatura interna.

No verão, a taxa de ventilação igual a 10 R/h mostrou-se a mais adequada, resultando em temperaturas menos elevadas (Figura 2a). O uso da ventilação noturna entre as 18h e às 6h não resultou no resfriamento desejado da edificação, de modo que as temperaturas internas foram mais elevadas com o uso da taxa de 20 R/h. No caso da cobertura isolada (pinus + lâ de vidro), a temperatura interna máxima foi semelhante com o emprego das taxas de 1 R/h e 20 R/h, indicando a necessidade de ajustes no período de ventilação noturna.

Observando-se a duração dos períodos em que a temperatura interna é superior a 27°C nos dias de pico, verificou-se a necessidade de resfriamento no final da manhã e à tarde em todas as tipologias de cobertura simuladas, independente da taxa de renovação de ar adotada (Figura 2a). Conseqüentemente, o somatório de graus.hora necessários para o resfriamento da edificação foi elevado, conforme indicado pela figura 3. A cobertura isolada com lã de vidro apresentou o melhor desempenho dentre as alternativas propostas, sendo que o aumento da taxa de ventilação de 1 R/h para 10 R/h reduziu esse somatório em relação às demais taxas de ventilação em todas as tipologias de cobertura simuladas (Figura 3). Com o emprego desta tipologia, foram verificadas temperaturas internas mais próximas dos limites de 20°C e 27°C, bem como o mais reduzido somatório anual de graus.hora necessários para o resfriamento da edificação durante o ano (Figura 4).

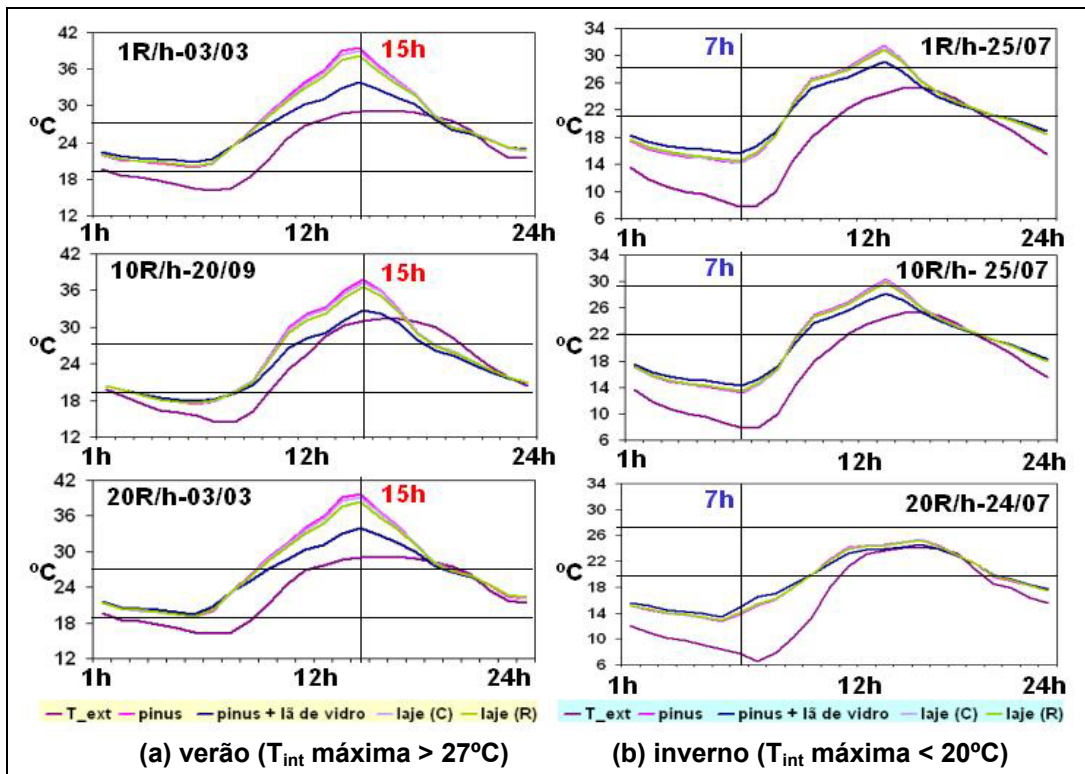


Figura 2 – Temperaturas internas

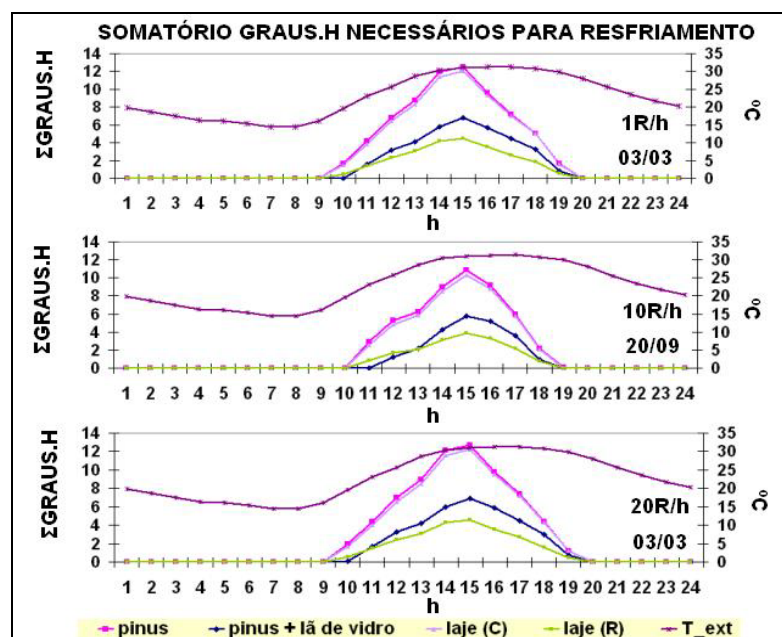


Figura 3 – Somatórios de graus.hora nos dias de pico (verão).



Figura 4 – Somatório total anual de graus.hora necessários para o resfriamento da edificação.

No inverno, a taxa de ventilação igual a 1 R/h mostrou-se a mais adequada, resultando em temperaturas mais próximas da temperatura base igual a 20°C (Figura 2b). O uso da ventilação noturna não trouxe benefícios, reduzindo as temperaturas internas, conseqüentemente, aumentando o somatório de graus.hora necessários para aquecimento (Figura 5). Assim como no verão, a cobertura isolada com lã de vidro apresentou um desempenho mais satisfatório em relação às demais, bem como o mais reduzido somatório anual de graus.hora necessários para o aquecimento da edificação (Figura 6).

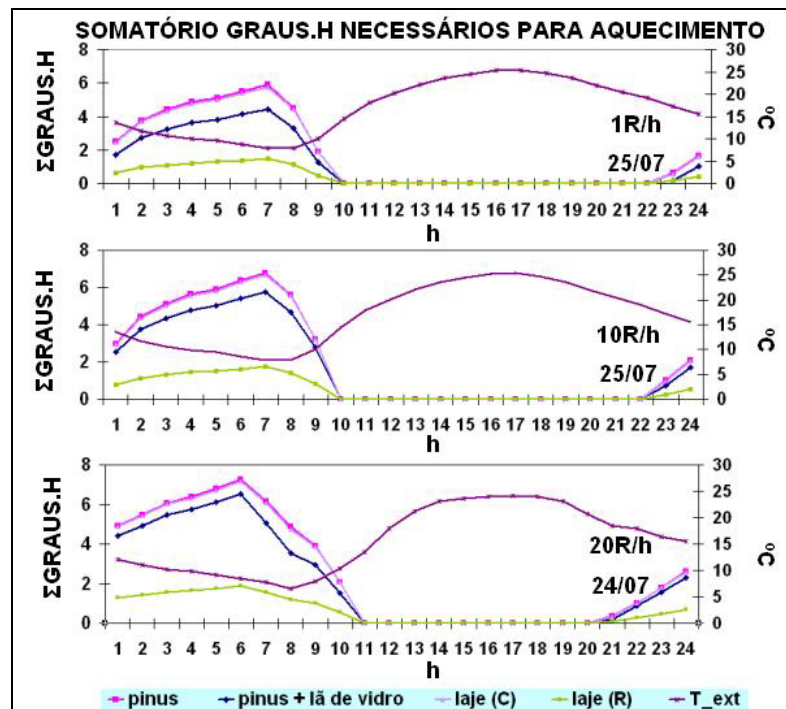


Figura 5 – Somatórios de graus.hora nos dias de pico (inverno).

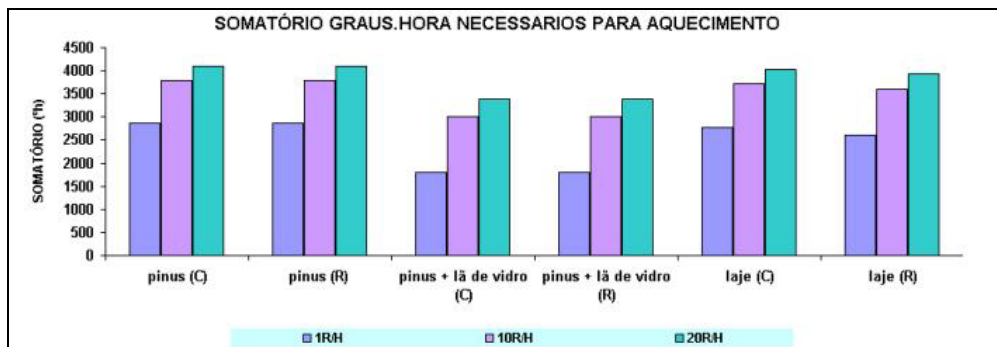


Figura 6 – Somatório total anual de graus.hora necessários para o aquecimento da edificação.

4.2 Cargas térmicas: componentes construtivos e infiltração durante o verão ($T_{int} > 27^{\circ}\text{C}$)

Durante o verão, o desempenho dos componentes construtivos e a influência das taxas de renovação do ar contribuíram para a obtenção de temperaturas superiores a 27°C . Nessas condições, cobertura, paredes e janela respondem pelos ganhos térmicos, enquanto as perdas de calor se deram através da infiltração e do piso da edificação, principalmente.

A Figura 7 ilustra as trocas térmicas verificadas na edificação com o emprego de duas tipologias de cobertura: (7a) telha de barro + forro de pinus e (7b) telha de barro + forro de pinus + lã de vidro (cobertura isolada), considerando-se taxas de renovação de ar iguais a 1 R/h e 10 R/h. As simulações do desempenho de ambas tipologias indicaram que o aumento das taxas de renovação de ar intensifica as trocas térmicas através dos elementos construtivos. Comparando-se as duas tipologias, verifica-se uma significativa redução nos ganhos de calor advindos da cobertura quando o isolamento de lã de vidro é utilizado. As trocas térmicas realizadas pela edificação no horário de pico encontram-se ilustradas na Figura 8, correspondentes as taxas de renovação do ar iguais a 1R/h e 20 R/h.

No caso da cobertura com laje de concreto (maior inércia térmica), foram verificadas diferenças entre as simulações realizadas considerando-se apenas o valor da resistência térmica total e aquelas nas quais a capacidade térmica dos componentes construtivos da cobertura foi considerada (Figuras 9(a) e 9(b)). Observando-se as trocas térmicas realizadas no horário de pico (temperatura interna máxima), os ganhos advindos da cobertura são menores quando apenas o valor da sua resistência térmica é considerado.

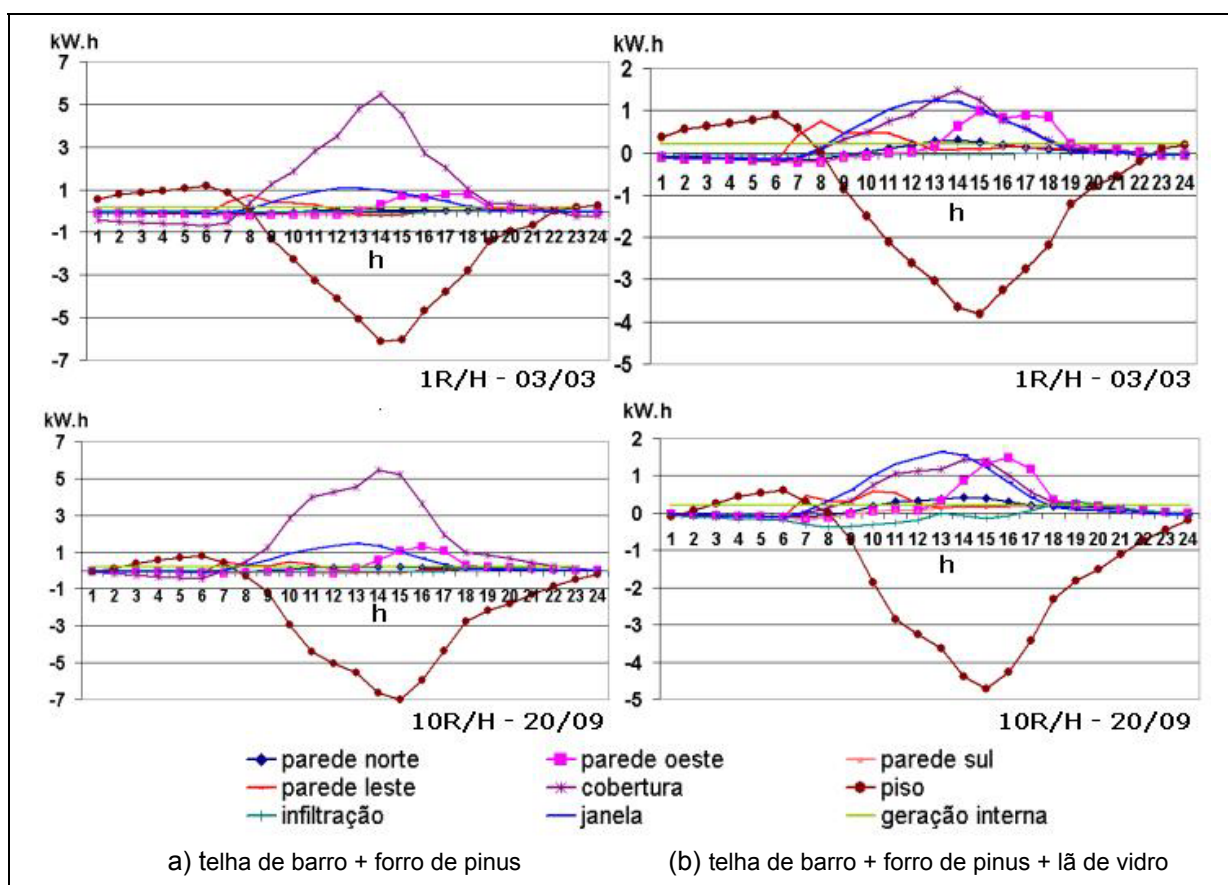


Figura 7 – Fontes de fluxo de calor atuantes na edificação ao longo dos dias de pico de temperatura interna (verão), sob diferentes taxas de renovação de ar (1R/h e 10 R/h).

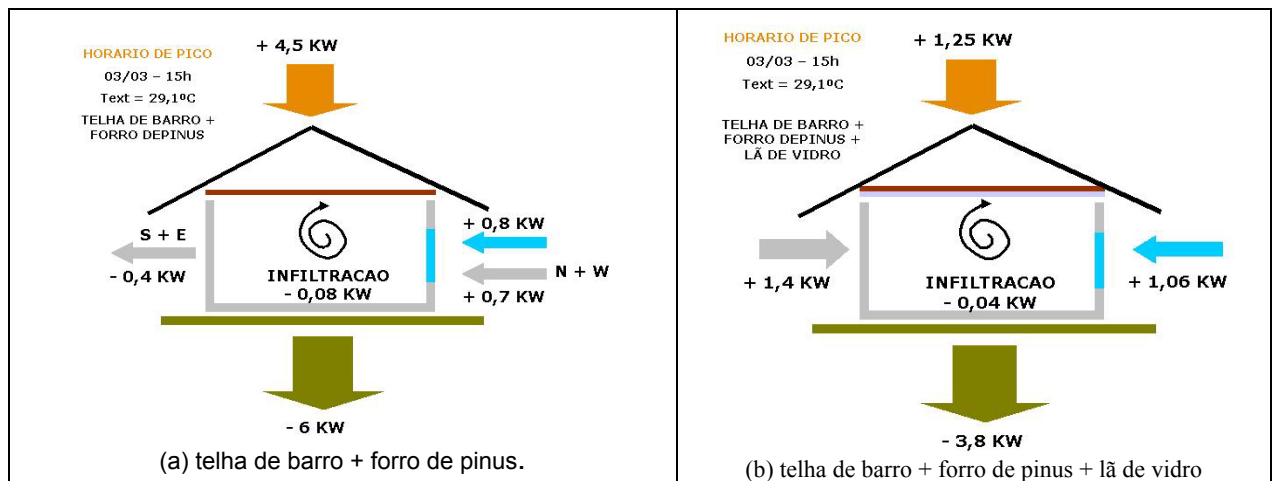


Figura 8 – Trocas térmicas realizadas pela edificação no horário de pico.
 (Valores correspondentes às taxas de renovação de ar iguais a 1R/h e 20 R/h).

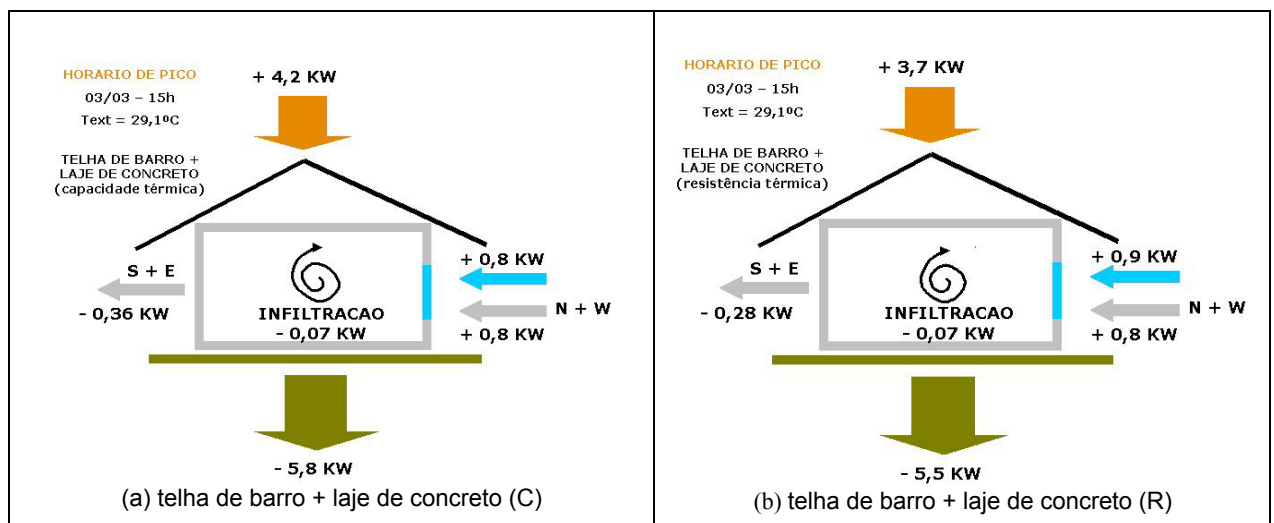


Figura 9 – Trocas térmicas realizadas pela edificação no horário de pico.
 (Valores correspondentes às taxas de renovação de ar iguais a 1R/h e 20 R/h).

4.3 Cargas térmicas: componentes construtivos e infiltração durante o inverno ($T_{int} < 20^{\circ}C$)

Durante o inverno, nos horários em que se verifica o valor mínimo da temperatura interna, o piso da edificação responde por 100% dos ganhos térmicos, enquanto a edificação perde calor através da infiltração e dos demais componentes construtivos.

Observando-se o desempenho térmico da edificação no dia 24/07, quando foram obtidas as temperaturas internas mínimas, observou-se que o uso da taxa de 20 R/h resultou num desempenho bastante diferenciado entre a cobertura com isolamento e a cobertura com laje de concreto, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11. Com o uso da ventilação noturna associada ao uso da cobertura com maior capacidade térmica (laje de concreto), não foram identificadas perdas de calor através da cobertura durante a manhã, no período entre 1h e 11h (Figura 10). Já no caso da cobertura isolada, a ventilação noturna resultou em perdas térmicas através da cobertura nesse período (Figura 11). Além disso, durante o intervalo compreendido entre as 10h e as 20 h são verificados ganhos de calor através da cobertura isolada, enquanto que no caso da laje de concreto isso não ocorreu. Observou-se também que as coberturas de telha de barro + forro de pinus e telha de barro + laje de concreto apresentaram trocas térmicas semelhantes sob taxas de renovação de ar iguais a 1 R/h e 10 R/h, conforme ilustrado na Figura 12.

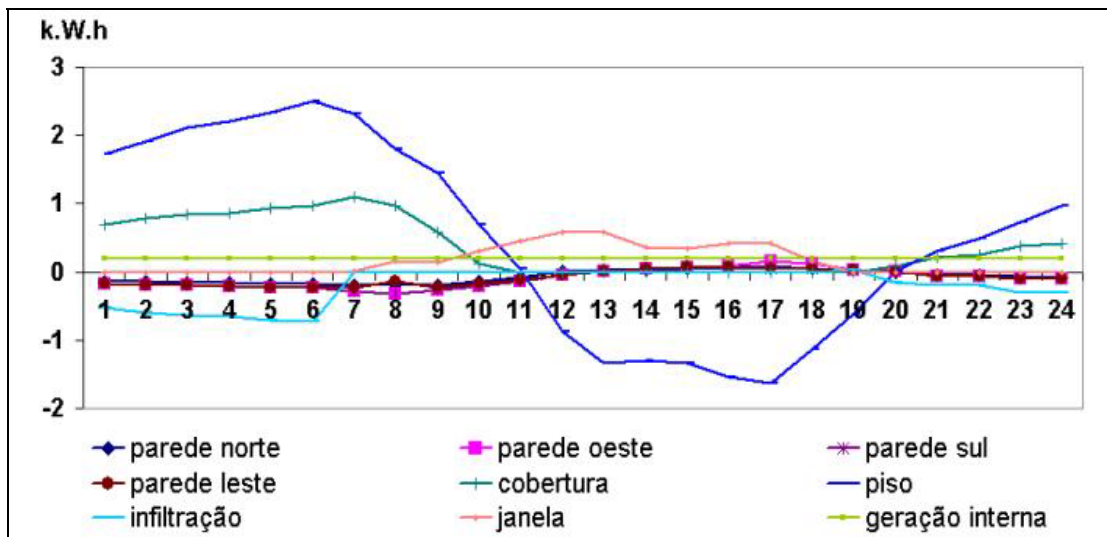


Figura 10 – Fontes de fluxo de calor atuantes na edificação no dia 24/07. Cobertura de telha de barro + laje de concreto. Taxas de renovação de ar igual a 20 R/h.

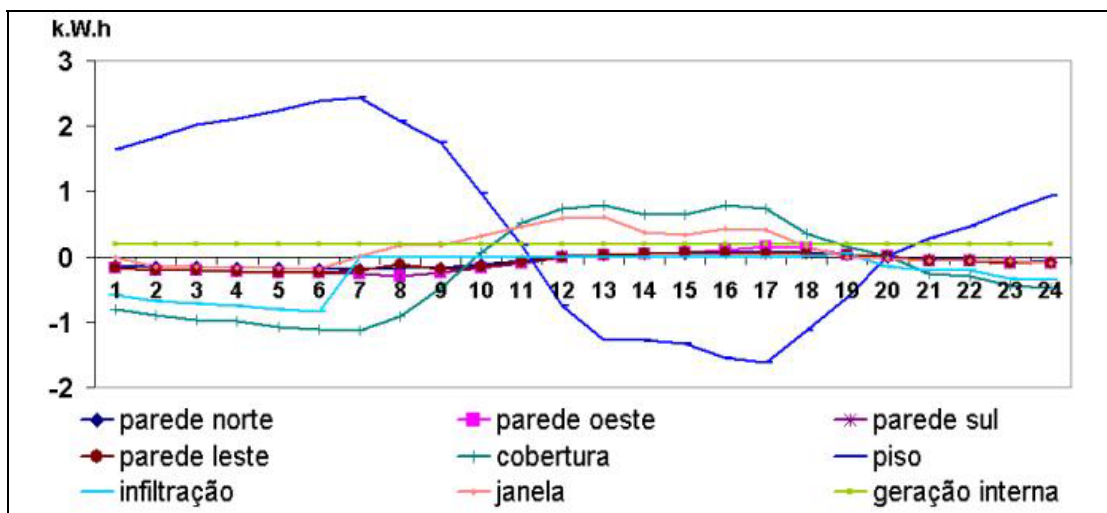


Figura 11 – Fontes de fluxo de calor atuantes na edificação no dia 24/07. Cobertura de telha de barro + forro de pinus + lã de vidro. Taxas de renovação de ar igual a 20 R/h.

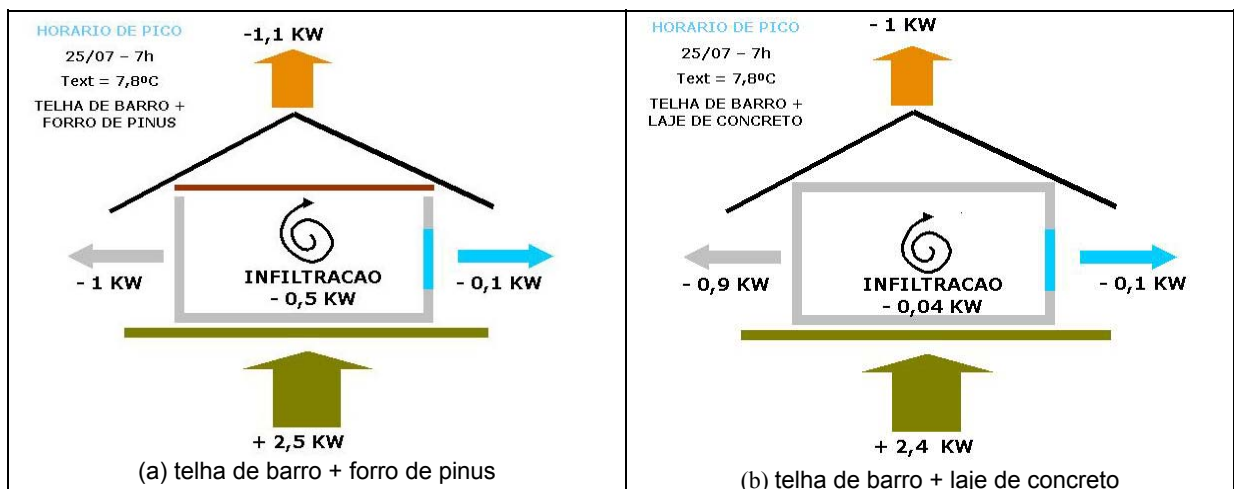


Figura 12 – Trocas térmicas realizadas pela edificação (1 R/h e 10 R/h)

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, verificaram-se diferenças quanto aos ganhos e perdas térmicas através dos componentes construtivos. A consideração da capacidade térmica dos materiais alterou o número de graus.hora necessários para o resfriamento e aquecimento no caso da cobertura com telha de barro e laje de concreto, a qual possui uma transmitância térmica intermediária entre as configurações de cobertura simuladas. Foram verificadas também modificações nos períodos de aquecimento e resfriamento para taxas de infiltração de 1 renovação de ar/h e 10 renovações de ar/h.

Modificações nas trocas térmicas realizadas através dos componentes construtivos foram verificadas principalmente para a combinação telha de barro + lâ de vidro + fôrro de pinus, configuração que possui o maior isolamento térmico dentre aquelas simuladas. A cobertura isolada apresentou-se como a mais indicada para as condições climáticas de Brasília, reduzindo os ganhos de calor através da cobertura em menos da metade em relação às outras duas configurações adotadas. No inverno, é recomendável a redução nas perdas térmicas pela edificação, face às temperaturas bastante reduzidas no exterior. Para a tipologia simulada, o fluxo de calor através do piso mostrou-se significativamente influente no desempenho térmico da edificação, principalmente no inverno. Também nessas condições, a cobertura isolada apresentou um melhor desempenho, pois as perdas através da cobertura corresponderam aproximadamente um terço das perdas verificadas através das alternativas sem isolamento e com laje de concreto.

Tais resultados indicam que a seleção dos parâmetros de simulação, principalmente quanto à consideração da capacidade térmica dos componentes da edificação, deve ser criteriosamente realizada de acordo com os objetivos do estudo a ser desenvolvido, uma vez que influenciam nos resultados obtidos. Reforça-se também a importância da escolha dos materiais a serem empregados. As simulações realizadas no presente trabalho indicaram que o uso do isolamento térmico na cobertura resultou num desempenho mais satisfatório do que o uso da alternativa com maior capacidade térmica, sugerindo a adoção de estratégias de condicionamento passivo divergentes do que é proposto pelo projeto de Norma da ABNT como ideal para o clima de Brasília. Nesse sentido, programas computacionais como o EnergyPlus constituem-se em ferramentas valiosas para o projetista, exigindo, contudo, um conhecimento aprofundado a respeito das variáveis envolvidas no balanço térmico de uma edificação por parte do profissional. Desse modo, é possível assegurar a correta interpretação dos dados das simulações, auxiliando na sua posterior aplicação no projeto de edificações energeticamente eficientes e capazes de garantir a satisfação dos seus usuários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1998). *Desempenho térmico de edificações: Parte 1: Definições, símbolos e unidades*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASHRAE (2001). Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. ASHRAE, Atlanta, EUA.
- LAMBERTS, R. ; PEREIRA, F. ; DUTRA, L. (1997). *Eficiência energética na arquitetura*. Ed. PW, São Paulo, Brasil.
- MACIEL, A. (2002). *Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios*. Dissertação. 138f. Mestrado em Engenharia Civil. Pós- graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Catarina, Brasil.
- PROCEL (2003). *Eficiência energética em edificações: Plano de ação para eficiência energética em edificações.*: ELETROBRÁS, São Paulo, Brasil.
- SCHILLER, S. de. et al (2002). *Relevancia de 'proyectos demostrativos' de bajo impacto ambiental e eficiencia energética*. Curso de Diseño y Urbanismo, Centro de Investigación Habitat e Energía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- US DEPARTMENT OF ENERGY (2004a). *EnergyPlus-Engineering Document*. LBNL, USA. p. 18-61.
- US DEPARTMENT OF ENERGY (2004b). Getting started with EnergyPlus. LBNL, USA. p. 1-7.