



## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE GALPÕES MODULADOS ESTRUTURADOS EM AÇO**

**Bruna de Carvalho Faria Lima Lopes (1); Laila Nuić (2); Henor Artur de Souza (3)**

(1) Universidade Federal de Ouro Preto, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Brasil,  
31- 3559.1516, 31-3559.1533  
e-mail: [bfarialima@yahoo.com.br](mailto:bfarialima@yahoo.com.br)

(2) Arquiteta, Av. Senador Galotti, 829/102, Laguna, Brasil, 48 - 647.2079  
e-mail: [lanuic@uol.com.br](mailto:lanuic@uol.com.br)

(3) Universidade Federal de Ouro Preto, DECAT/EM, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Brasil,  
31- 3559.1516, 31-3559.1533  
e-mail: [henor@em.ufop.br](mailto:henor@em.ufop.br)

### **RESUMO**

Nas últimas décadas a indústria da construção civil sofreu significativas mudanças. Neste contexto a coordenação modular, utilizando perfis metálicos através de um módulo-base de referência para a edificação, tornou-se a melhor adequação da nova metodologia de projeto. Neste trabalho faz-se uma avaliação do desempenho térmico, de galpões industriais, com possibilidade de multi-uso, projetados a partir de módulos constituídos por perfis metálicos tubulares de seção circular, para se verificar as condições de conforto térmico internas. Estuda-se a influência de algumas configurações de sistemas de fechamento, considerando-se ainda a influência da ventilação em função do tamanho e número de lanternins e das aberturas. Simulações computacionais utilizando o Programa ESP-r foram realizadas.

### **ABSTRACT**

During the last decades the civil construction industry has undergone significant changes. In this context, the modular coordination, using metal frames/profiles through a base-module as reference for building, has become the most suitable way to adequate to this new project methodology. This paper aims to evaluate the thermal performance, industrial sheds projected with basis on the module constituted by tubular metal profiles of circular section, in order to check the internal thermo comfort conditions. This article also studies the influence of several closing systems, regarding as well the influence of ventilation according to the size and number of the skylight and the openings. Computational simulations using the software ESP-r is employed.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Galpões Industriais Estruturados em Aço no Brasil**

No Brasil, no século XIX, os ingleses dominaram os serviços públicos, fazendo investimentos próprios. Adquiriam a isenção de impostos, por um tempo determinado, o suficiente para ressarcir as despesas com o investimento, os custos de manutenção, os honorários e os lucros. Foi possível, portanto, que eles procurassem maximizar o investimento inicial, visando uma concessão mais longa de exploração dos serviços. É provável também que alguns itens desse investimento inicial não tivessem de ser necessariamente importados, mesmo considerando que muitos produtos industriais

para construção civil importados, aqui chegavam com melhor qualidade e melhor preço do que os similares brasileiros.

Nesse contexto surgem os primeiros galpões industriais no país fabricados em estrutura metálica. Dentre os edifícios pré-fabricados em ferro, importados pelo Brasil, nenhum tipo foi tão útil e tão disseminado quanto os mercados públicos. O Mercado de São José, no Recife, sem dúvida, é o mais antigo mercado de ferro existente no Brasil e, provavelmente, o pioneiro. A sua montagem final foi concluída em 1875 e está situado no bairro de São José. O mercado jamais deixou de funcionar, desde o dia de sua inauguração. O Mercado Municipal do Rio de Janeiro foi o maior de todos os edifícios de ferro montados no Brasil. Este mercado foi, no entanto, destruído na década de 1950 para dar lugar a um viaduto e avenidas para desafogar o tráfego de veículos automotores (BRAGA, 2002).

O Mercado de Peixe, em Belém, por muito tempo conhecido como o Mercado de Ferro, foi inaugurado em 1º de dezembro de 1901. Não se conseguiu precisar a origem da estrutura metálica do edifício, embora se possa assegurar, dado às circunstâncias regionais, que tenha sido importada. O mercado continua em funcionamento e, com suas torres bizarras, é presença obrigatória nos cartões-postais da cidade de Belém (BRAGA, 2002).

A construção civil brasileira encontra-se, hoje, em um estágio de transição onde algumas empresas já têm acesso a tecnologias mais avançadas de construção enquanto outras ainda trabalham em regime artesanal. No entanto, esta tendência à construção industrializada já faz parte da atual realidade. A transição da construção tradicional para a construção industrializada estruturada em aço ocorre, no entanto, de maneira gradual, na medida em que a arquitetura acompanha e aguarda o desenvolvimento tecnológico dos materiais. Em contrapartida é importante, também, a velocidade com que a indústria consegue absorver as exigências de projeto, a partir das necessidades evidenciadas pelo desenvolvimento e evolução da sociedade.

Os programas de qualidade, aplicados à construção civil, implicam em uma série de mudanças nos procedimentos tradicionais. Os processos construtivos são reavaliados como também os processos administrativos, entre os quais pode-se citar: planejamento da obra, treinamento e qualificação dos funcionários, processo de venda do imóvel. Sendo assim, considera-se que a qualidade passa pelos seguintes estágios: projeto do imóvel, sua construção, processo de venda e assistência técnica pós-venda. Em todas estas etapas podem-se evitar desperdícios, tais como, retrabalho, reprogramações, paradas por falta ou recebimento de materiais, excesso de estoque, qualidade dos materiais fornecidos, horas improdutivas, etc., que são tão comuns quando não há planejamento e organização do trabalho (MATTEI, 1998).

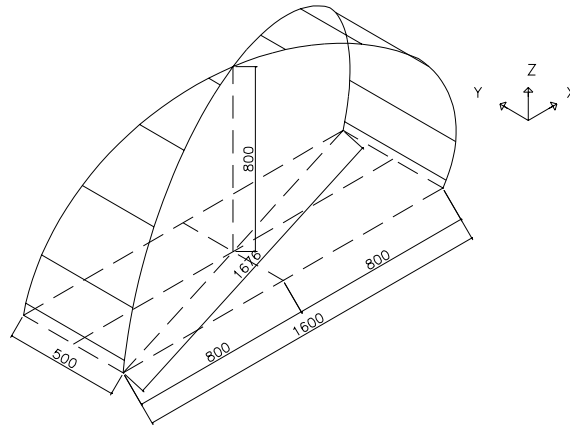
Procurando acompanhar esta tendência, as construtoras buscam aprimorar os processos construtivos partindo do combate ao desperdício e à improvisação para um gerenciamento global do empreendimento, tirando partido do desenvolvimento tecnológico e de programas de qualidade (COZZA, 1998).

## **1.2 Construções Moduladas**

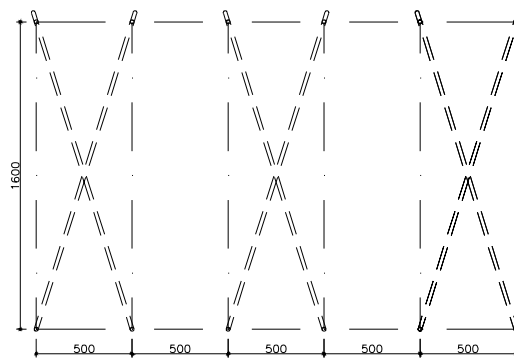
No galpão analisado utilizou-se a modulação, com objetivo de uma maior simplificação, mesmo que a estrutura resultante não seja a mais leve. Embora o peso da estrutura seja um fator decisivo, na escolha do tipo de modelo estrutural adotado, outros fatores podem compensar esta situação, principalmente no que diz respeito ao custo. Pelo fato de se ter dificuldade em encontrar mão-de-obra especializada, tem-se, na simplificação do modelo e na redução do número de componentes, grandes aliados.

O módulo-base, figura 1, foi desenvolvido para atender às necessidades de projeto (galpão com possibilidade de multi-uso), quanto às suas dimensões de comprimento e altura, bem como a uma área de projeção compatível com o uso. Os módulos podem ser agrupados de diversas formas de acordo com a necessidade de ocupação. Podem, também, receber vários tipos de cobertura, sendo elas, totalmente fechadas, parcialmente abertas, receber telhas diferenciadas, como por exemplo, telhas translúcidas alternadas com telhas termo acústicas ou de alumínio.

À medida que os módulos são agrupados, figura 2, a estrutura vai formando elementos cruzados dando maior rigidez e estabilidade ao conjunto. São utilizadas peças adicionais para dar estabilidade aos elementos estruturais na extremidade da edificação e, também, para suporte das telhas da cobertura.



(a) Módulo



(b) Planta

Figura 1 - Módulo base estrutural utilizado

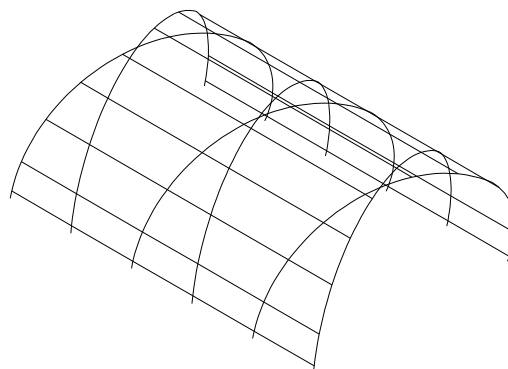


Figura 2 - Perspectiva do agrupamento de módulos utilizado

Para a execução deste tipo de módulo e seus vários agrupamentos são necessários apenas dois tipos de ligações: a) ligações na base do perfil; b) ligações no topo da estrutura, de maneira a facilitar a execução dos perfis, transporte e montagem. Tendo como premissa básica a possibilidade de montagem e desmontagem da estrutura, para aproveitamento da mesma em outros locais, as ligações

são todas parafusadas. As ligações de base utilizadas neste projeto são todas padronizadas, bem como as ligações de topo (NUIĆ et al., 2004).

Os fatores que levaram à escolha deste tipo de modulação foram: a) o aproveitamento das potencialidades do perfil tubular; b) partido estético dos perfis, deixando-os aparentes em toda a edificação; c) esquema estrutural o mais simples possível, para facilidade de execução e montagem; d) espaços internos livres, viabilizando o máximo de flexibilidade interna.

Alguns fatores, tais como as propriedades dos materiais e características estruturais dos perfis, influenciaram na elaboração do modelo estrutural e na escolha da modulação dos componentes. Quanto às propriedades dos materiais foram levados em consideração aspectos como: restrições quanto às suas características estruturais; limitações para modificações das peças, como por exemplo, calandragem dos perfis. Quanto aos aspectos estruturais dos perfis foram observadas as condições de execução oferecidas pelas empresas, a disponibilidade de equipamentos, as condições para transporte do material, o içamento das peças, a fabricação das ligações e sua montagem (na fábrica ou in loco) e a mão-de-obra especializada requisitada para a execução das diversas etapas (NUIĆ et al., 2003).

Na proposta deste módulo-base teve-se como um dos objetivos proporcionar um tipo de modulação que possa ser utilizada, também, para outros fins, não unicamente para galpões industriais. Sendo assim, o mesmo modelo estrutural pode ser aproveitado para coberturas de espaços abertos, como feiras, piscinas, áreas de lazer e, também, espaços fechados, como convenções e eventos temporários onde os módulos possam ser desmontados e aproveitados novamente.

## **2. DESEMPENHO TÉRMICO**

### **2.1 Elementos da avaliação do desempenho térmico de uma edificação**

A avaliação do desempenho térmico de um ambiente construído abrange tanto as edificações ventiladas naturalmente quanto às condicionadas mecanicamente. Neste trabalho, esta avaliação se restringe somente ao caso de galpões ventilados naturalmente, pois se trata de um galpão, com possibilidade de multi-uso. Neste caso, a avaliação consiste no estudo da temperatura interna do ambiente, checando as condições de conforto térmico (MICHALKA, 2000).

Basicamente, há duas formas de se determinar a temperatura interna de um ambiente construído. Uma se dá por meio da medição “in loco” dos parâmetros climáticos e das condições internas de temperatura e umidade e a outra através de simulação computacional, considerando-se a resposta global do ambiente construído (PINTO et al., 2001). Na figura 3 apresentam-se os principais elementos para a avaliação do desempenho térmico de um ambiente construído através da simulação numérica.

Neste trabalho faz-se uma avaliação do desempenho térmico, de galpões industriais modulados estruturados em aço por perfis metálicos tubulares de seção circular. Estuda-se a influência do sistema de fechamento e da ventilação por meio de lanternins e das aberturas laterais.

As informações climáticas são caracterizadas pela temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento. Estas variáveis são determinantes para a avaliação das interações térmicas entre o ambiente externo e interno através da envoltória da edificação. O armazenamento de energia térmica que ocorre nos fechamentos da edificação influi nos efeitos que estas variáveis climáticas exercem sobre a temperatura do ar interior, que será tão mais atenuada quanto maior for a inércia térmica da edificação. Na avaliação do desempenho térmico de edificações adotam-se dados climáticos correspondentes a um dia típico, caracterizados por valores horários das variáveis climáticas ao longo deste dia (AKUTSU, 1998).

Em relação ao galpão as informações relevantes para a análise são a posição geográfica da edificação, a orientação solar e as dimensões da edificação, o tamanho e a posição das aberturas e lanternim, o sistema de fechamento e o perfil de ocupação. O perfil de ocupação, a relação de equipamentos e a iluminação da edificação é que determinarão as principais fontes internas de calor. Dependendo do

perfil de ocupação podem-se ter ainda mecanismos de transferência de calor associados a processos de transferência de massa.

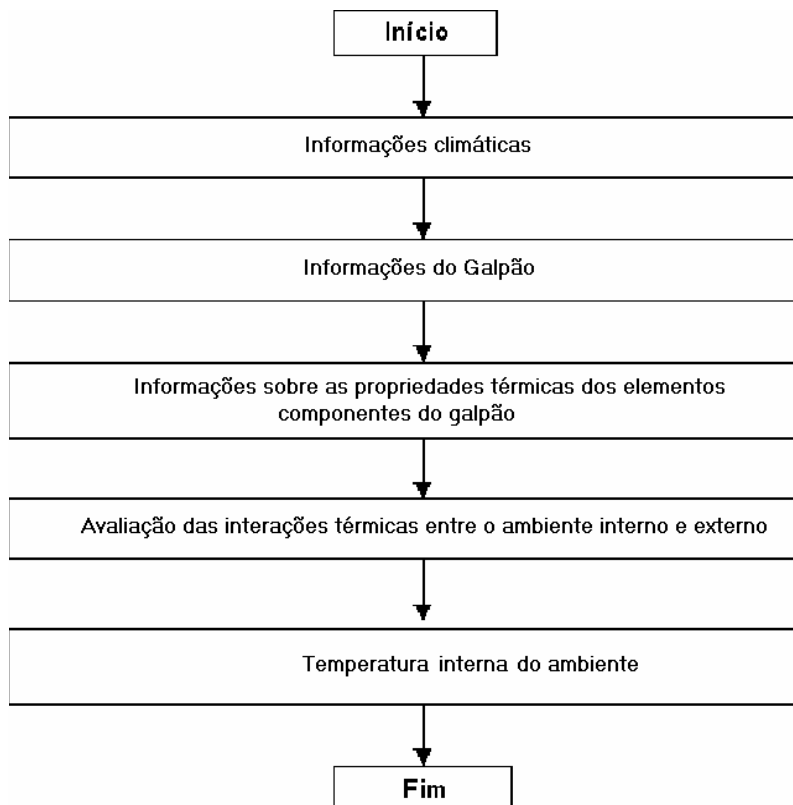


Figura 3- Principais elementos para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação ventilada naturalmente.

## 2.2 Ventilação x Lanternim

Quando a ventilação natural pode ser uma estratégia suficiente para a obtenção de um ambiente interno confortável, recursos de projeto devem ser utilizados. As condições de ventilação variam com o tipo de ambiente e com as condições climáticas. Podem-se destacar os seguintes recursos de projeto: cuidados na forma e orientação da edificação; projetos de espaços fluidos; facilitação da ventilação vertical com o uso de lanternins e a utilização de elementos para direcionar o fluxo de ar para o interior da edificação. Alguns tipos de lanternins podem ser utilizados na cobertura, tais como: lanternim de gravidade, lanternim de ventilação, lanternim de ventilação e iluminação. No modelo estudado utiliza-se um lanternim de ventilação ao longo de todo o comprimento do galpão.

## 3. ESTUDO DE CASO

A avaliação do desempenho térmico é feita considerando-se um modelo de galpão com 400 m<sup>2</sup> de área (25 m x 16 m). O galpão é construído com três módulos, figura 2, com espaçamento de 5,0 m entre os eixos transversais e de 16,0 m entre os eixos longitudinais, proporcionando uma área de projeção maior, o que possibilita vários tipos de ocupação multi-uso, como restaurantes, oficinas, academias, etc. (NUIĆ et al., 2004). São avaliados dois modelos de galpões (Modelos 1 e 2) diferenciados entre si pelo número de aberturas.

### 3.1 Abordagem numérica

Para a avaliação do desempenho térmico dos dois modelos de galpões, foram determinadas as temperaturas internas utilizando o programa de simulação ESP-r, (CLARKE, 1993) que realiza

simulações detalhadas do comportamento térmico de ambientes. Consideram-se os galpões ventilados naturalmente, com um perfil de ocupação também definido.

Os modelos de cálculo no programa ESP-r utilizam os métodos dos elementos finitos e das diferenças finitas para a solução das equações governantes dos processos de transferência de calor entre o meio externo e o ambiente interno (NEGRÃO, 1996). Do ponto de vista térmico, uma edificação é uma rede complexa de capacitâncias e resistências térmicas, ligando zonas diferentes e representando os processos de transferência de calor, por condução, convecção e radiação e de transferência de massa.

As simulações foram realizadas considerando-se um dia típico de verão, para as condições climáticas correspondentes à região metropolitana da cidade de Belo Horizonte, insolação diária total de 4.640 Wh/m<sup>2</sup>, temperatura de bulbo seco máxima de 32,0 °C e mínima de 21,7 °C.

Considera-se um perfil de ocupação correspondente a de um restaurante, com capacidade para até 150 pessoas e que serve almoço e jantar. Na tabela 1 mostram-se os elementos utilizados no sistema de fechamento, nas portas, nas janelas e no piso. Estudam-se seis configurações para o sistema de fechamento lateral num dos modelos e compara-se a influência da ventilação nos dois modelos.

**Tabela 1 - Material do sistema de fechamento.**

<b>Modelo</b>	<b>Configuração de Fechamento</b>
<b>A</b>	Painéis constituídos por um núcleo isolante de espuma de poliuretano de 70 mm, revestimento interno em alumínio com espessura de 0,5 mm e revestimento externo em alumínio com espessura de 0,7 mm.
<b>B</b>	Alvenaria constituída por tijolo cerâmico de 200 mm, revestimento interno e externo de argamassa com 25 mm de espessura.
<b>C</b>	Painéis constituídos por um núcleo de Placa de Poliestireno Expandido (EPS) de 100 mm de espessura, revestimento interno e externo de concreto maciço de 100 mm de espessura.
<b>D</b>	Painéis constituídos de 100 mm de concreto maciço.
<b>E</b>	Painéis constituídos por um núcleo de lã de vidro de 75 mm, revestimento interno e externo de 12,5 mm de placa de cimento.
<b>F</b>	Painéis constituídos de 100 mm de espessura de bloco aerado.
Janelas	Vidro 6 mm
Portões	Chapas metálicas duplas com camada de ar intermediária.
Pisos	Concreto cimentado

### 3.2 Modelo 1

Neste modelo de galpão tem-se um lanternim na cobertura, com 0,5 m de altura e dois portões, de 4,0 m de altura e 4,0 m de largura, localizados no centro das duas paredes planas opostas. A cobertura é em alvenaria.

Na figura 3 mostram-se os perfis de temperatura resultantes para todas as várias configurações de sistema de fechamento consideradas, conforme Tabela 1. Admite-se uma vazão de ar de 15 renovações/h, que representa uma ventilação moderada, para a região considerada.

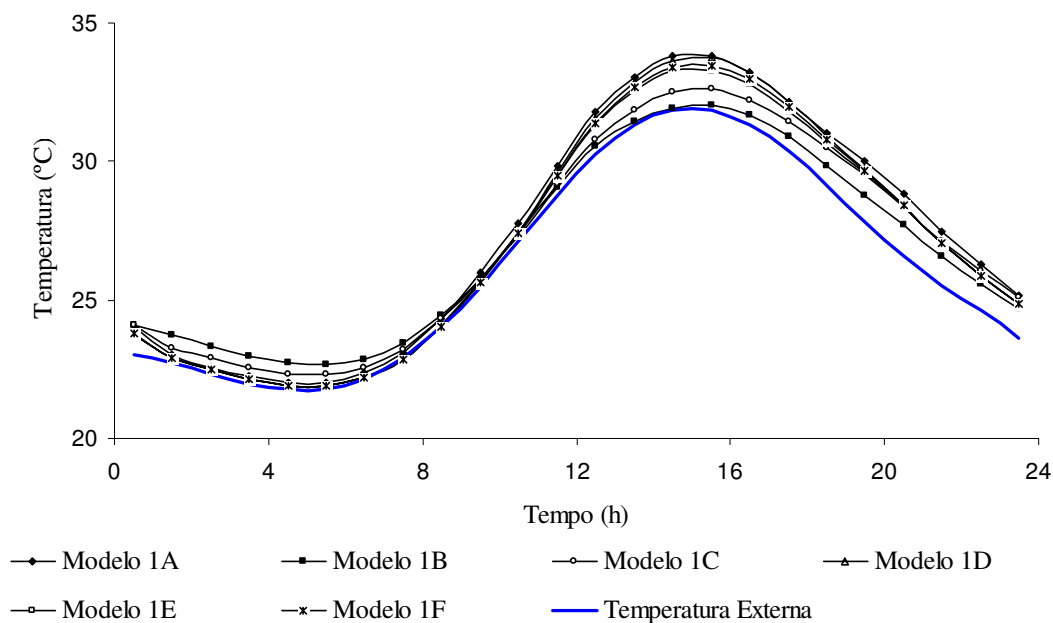


Figura 3 Modelo 1 – Perfil de temperatura do ar exterior e do ar interior, no dia típico de verão, para 15 ren/h, para várias configurações de fechamento.

Observa-se que os fechamentos em alvenaria (Modelo 1B) e em concreto maciço com EPS (Modelo 1C) apresentam os melhores desempenhos, propiciando as menores temperaturas internas nos horários de pico da temperatura externa. Também em função de sua inércia térmica estes fechamentos oferecem condições internas mais favoráveis no período noturno.

### 3.3 Modelo 2

Neste modelo de galpão tem-se um lanternim com 0,5 m de altura e duas aberturas de 0,20 m de altura por 24,8 m de comprimento, localizadas nas laterais dos galpões a 0,70 m do solo e um portão de 4,0 m de altura e 4,0 m de largura, localizado na parede frontal do galpão

Na figura 4 é apresentado o perfil de temperatura interna resultante, para o sistema de fechamento constituído pelo material B, como apresentado na tabela 1 (Modelo 2B). Na figura 5 apresenta-se uma comparação entre o modelo 1 e o modelo 2, utilizando-se como material de fechamento a alvenaria (Modelo B - Tabela 1).

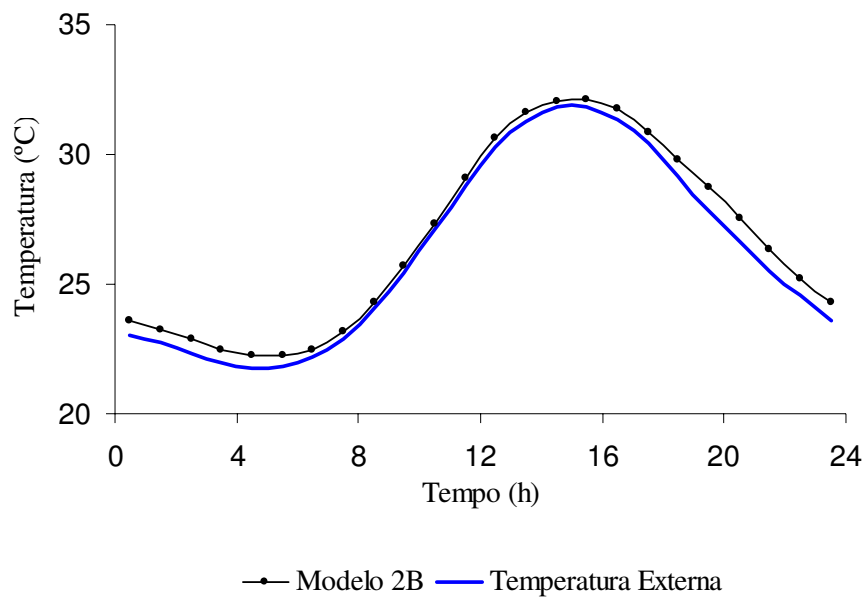


Figura 4 Modelo 2 – Perfil de temperatura do ar exterior e do ar interior, no dia típico de verão, com 15 ren/h, para a configuração de fechamento B.

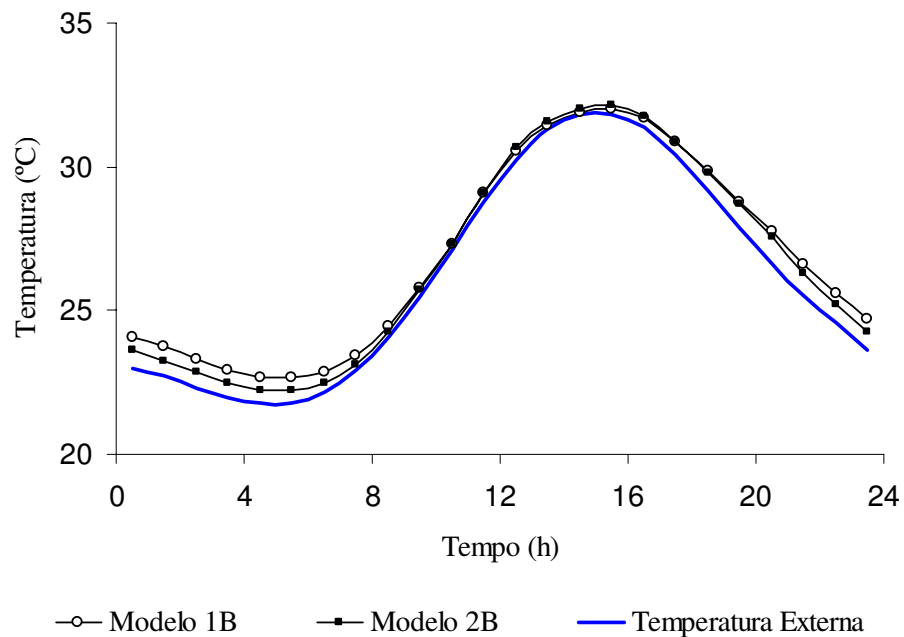


Figura 5 Perfil de temperatura para os modelos 1 e 2, com 15 ren/h e com o fechamento B.

Observa-se que a temperatura interna no Modelo 2, nos períodos da manhã e noite, é inferior comparada ao Modelo 1. Este resultado é influenciado pelo maior número de aberturas e uma maior ventilação com ar a uma temperatura mais baixa. No horário de pico tem-se que a diferença entre os dois modelos praticamente não existe, para as condições consideradas, em função do grande volume



do ambiente interno. Observa-se ainda que a temperatura interna fica praticamente idêntica a temperatura externa.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O perfil da temperatura interna do ambiente mostra a resposta global da edificação para as trocas térmicas com o ambiente exterior, levando em conta o perfil de ocupação da edificação e as fontes internas de calor existentes. A temperatura limite de conforto para verão, no caso de galpões ventilados naturalmente, para a região climática analisada e para o perfil de ocupação da edificação considerado é de aproximadamente 31 °C com uma circulação de ar moderada, segundo a norma NBR 6401:1980 (ABNT, 1980).

Observa-se que para a vazão de ar escolhida (15 ren/h) o galpão, Modelo 1, apresenta um melhor desempenho térmico, isto é, menor temperatura no horário crítico do dia e temperaturas maiores nos períodos da manhã e da noite. Este resultado é influenciado pelo grande volume do ambiente interno e quando se tem uma maior ventilação a tendência é da temperatura interna ficar praticamente idêntica ao do ambiente externo no horário de pico. Uma vez que a temperatura interna está sempre mais elevada que a temperatura externa, a ventilação do ambiente é um parâmetro relevante para o bom desempenho térmico do ambiente construído.

A preferência térmica em relação a um dado ambiente construído depende, no entanto, das condições físicas e psicológicas de cada usuário, da atividade desempenhada e de outros fatores culturais. Desta forma, a faixa de temperatura de conforto, para verão e/ou inverno, pode ser mais ampla que aquela especificada pelas normas (PINTO et al., 2001). No caso estudado, o valor máximo da temperatura interna fica no máximo igual 32 °C, no horário de pico. Os galpões analisados representam, no entanto, uma boa solução, pois nestas condições climáticas, nenhum tipo de estrutura, seja aço ou alvenaria, possibilitaria que se atingisse condições de conforto térmico.

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

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1980). NBR 6401:1980: “Instalações centrais de ar condicionado para conforto: Parâmetros básicos de projeto”. Rio de Janeiro.
- AKUTSU, Maria. (1998). “Método para a avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil”. 70f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- BRAGA, T. M.G. (2002). “Cronologia do Uso dos Metais”. Revista metálica, Portal Metálica. Disponível em: <[http://www.metálica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=8&param=cronologia+do+uso+de+metais](http://www.metálica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=8&param=cronologia+do+uso+de+metais)>. Acesso em: 3 set. 2004.
- CLARKE, J. et al. (1993). “ESP-r a program for building energy simulation”. Version 9 series, ESRU Manual U93/1, Glasgow, Scotland, 110 p.
- COZZA, Eric. (1998). “Metais no topo”. Revista Técnica. São Paulo, ano 5, n.33, p.32-34, mar./abr.1998.
- MATTEI, João A (1998). “A ISO9000 aplicada à construção civil”. Revista Técnica. São Paulo, ano 5, n.34, p.24-25, mai./jun.1998.
- MICHALKA Jr., C., (2000). “Ambiente construído a busca pela integração total”. VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2000. Salvador. Anais em CD-ROM.
- NEGRÃO, C.O.R., (1996). “Simulação térmica de edificações e equipamentos de climatização: O Potencial de modelação do programa ESP-r”. VII Congresso Brasileiro de Energia CBE, vol. IV, p. 2230-2243, Rio de Janeiro.
- NUIC, Laila; SOUZA, Henor Artur de; ARAÚJO, Ernani Carlos de. (2003). “Elementos curvos modulados de perfis tubulares”. Técnica, São Paulo, v. 78, n. set, p. 56-59.

NUIC, Laila; ARAÚJO, Ernani Carlos de; SOUZA, Henor Artur de. (2004). “Sistemas estruturais curvos modulados em arco espacial”. Associação Brasileira da Construção Metálica, São Paulo, v. 67, p. 21-25.

PINTO, Maria Angélica Vieira; SOUZA, Henor Artur de; FREITAS, Marcílio Sousa da Rocha.(2001). “Desempenho térmico dos painéis de vedação versus conforto térmico”. Associação Brasileira da Construção Metálica, São Paulo, v. set, n. 50, p. 34-38.