



CONDICIONAMENTO TÉRMICO DE UM PAVILHÃO INDUSTRIAL

Maurício Roriz

Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia Civil

Via Washington Luís, Km 235 - 13.565-905 - São Carlos, SP - Brasil

fax: (016) 260-8259 - e-mail: m.roriz@zaz.com.br

RESUMO Este artigo descreve um estudo de otimização do condicionamento térmico natural de um pavilhão industrial na cidade de Araraquara, SP. A edificação terá uma área coberta de 4836 m² e abrigará 570 teares e 125 operários. As máquinas e os equipamentos envolvem uma potência nominal de 350 KW e funcionarão em regime de 24 horas/dia. Neste pavilhão, o controle higrotérmico do ar visa atender não apenas ao conforto dos trabalhadores, mas também a exigências impostas pelo próprio processo de produção, pois o bom funcionamento dos teares depende das condições de temperatura e umidade do ar. O estudo desenvolvido abrangeu desde o projeto arquitetônico e o sistema construtivo até o tratamento paisagístico dos espaços abertos em torno da edificação.

ABSTRACT This paper describes a study of optimization of the natural thermal conditioning of an industrial pavilion in the city of Araraquara, São Paulo state. The building will have an area of 4836 m² and will shelter 570 weave machines and 125 workers. The machines and equipment demand an electrical power of 350 kW and will work 24 hours a day. In this pavilion, the hicrothermic control of the air seeks to assist not only the employees' comfort, but also the demand imposed by the own production process, after all the proper operation of the machines depends on the temperature and humidity conditions of the air. The developed study comprised all the possibilities to optimize the natural thermal conditioning of the building, such as the architectural design, the constructive system, and the surrounding area.

1 Introdução

Este estudo foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos e objetivou a otimização do condicionamento térmico natural de um pavilhão da indústria de meias Lupo S/A, localizada na cidade de Araraquara, Estado de São Paulo. Fundada no ano de 1921, a Lupo é uma das poucas empresas brasileiras que conseguiu sobreviver às sucessivas crises econômicas destas últimas 8 décadas. Segundo seus diretores, uma das causas fundamentais desta sobrevivência

tem sido a permanente busca da racionalização da produção. Como se pode deduzir, esta mesma postura também vem sendo aplicada pela empresa em relação ao desempenho ambiental de seus edifícios.

O pavilhão terá uma área coberta de 4836 m² e abrigará 570 teares, funcionando em regime contínuo de 24 horas/dia, distribuído em 3 turnos de 8 horas, sendo que cada turno ocupará 125 operários. O conjunto de máquinas e equipamentos a serem instalados envolve uma potência nominal de 350 KW. Nesta edificação, a necessidade de controle da temperatura e da umidade do ar visa atender não apenas ao conforto dos trabalhadores, mas também a exigências impostas pelo próprio processo de produção, pois, devido à espécie de fio utilizado, o bom funcionamento dos teares depende daquele controle. Por este motivo, este tipo de ambiente industrial é tradicionalmente dotado de sistema eletro-mecânico de condicionamento do ar, cuja possibilidade de controle é bem maior que a oferecida pelos sistemas naturais, sempre sujeitos às oscilações do clima. Mas os preços crescentes, tanto dos equipamentos quanto da própria eletricidade, vêm incentivando a adoção de técnicas alternativas de controle térmico ambiental.

Embora sendo uma das mais importantes cidades do interior paulista, Araraquara não dispõe de um serviço sistemático de aquisição de dados climáticos, impondo a necessidade de se estimar o clima local através de interpolação. O processo de estimativa baseou-se em dados climáticos medidos em localidades próximas (ver Roriz, 1997).

O estudo desenvolvido abrangeu desde o projeto arquitetônico e o sistema construtivo até o tratamento paisagístico dos espaços abertos em torno da edificação. As condições ambientais internas foram estimadas por meio de simulação computacional, através de algoritmo baseado no Procedimento da Admitância, conforme descrito por Roriz (1996). Enquanto o pavilhão está sendo construído, vem sendo elaborado um projeto de pesquisa que permita aferir os resultados efetivos do condicionamento natural.

2. Características do Anteprojeto da Edificação

Procurando atender recomendações previamente formuladas, os técnicos da empresa forneceram um anteprojeto do pavilhão (figura 1). Para atenuar os ganhos térmicos provenientes da radiação solar, os seguintes cuidados foram tomados:

- fachadas maiores orientadas para Norte e Sul (verdadeiros), sombreadas por varandas e com aberturas para ventilação.
- cobertura e fechamentos laterais norte e sul em telhas metálicas, com faces externas brancas (pintura original de fábrica).

A localização das máquinas foi definida por necessidade técnicas da produção e impediu que fossem reduzidos os



Fig. 1 Planta e Corte

comprimentos das fachadas mais insolaradas, a este e oeste.

2. Principais Fluxos de Calor em um Dia de Verão

A figura 2 apresenta os valores horários dos fluxos térmicos e temperaturas do ar, calculados para um dia médio de fevereiro, considerando as características construtivas definidas no anteprojeto e uma taxa de ventilação de 5 renovações por hora.

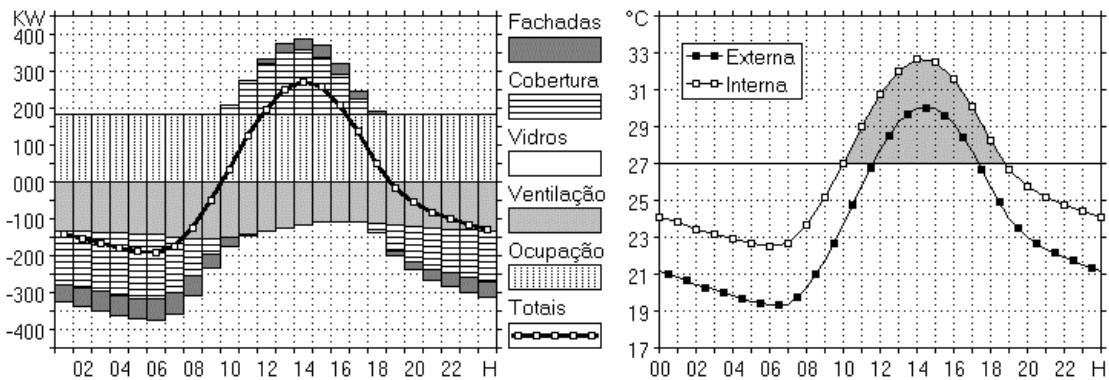


Fig. 2 Fluxos Térmicos e Temperaturas em um dia médio de Fevereiro (mês mais quente)

Sob tais condições, às 14 horas a temperatura interna atinge 32,6 °C. Adotando-se 27 °C como limite máximo de referência, durante este dia haverá um calor acumulado de 30,5 °Ch (graus-horas). As fontes internas de calor (ocupação) são praticamente constantes ao longo dos dias. Durante as horas mais quentes, os principais ganhos térmicos se devem à baixa resistência térmica da cobertura. Nestes mesmos horários, as únicas perdas de calor são as provocadas pela ventilação. Assim, buscou-se identificar estratégias que elevassem a taxa de ventilação e melhorassem o desempenho térmico da cobertura.

3. Efeitos da Ventilação

Durante os meses de verão, quanto mais intensa for a ventilação, menores serão as temperaturas do ar interior. A figura 3 permite comparar os resultados dos cálculos obtidos para diferentes taxas de renovação do ar.

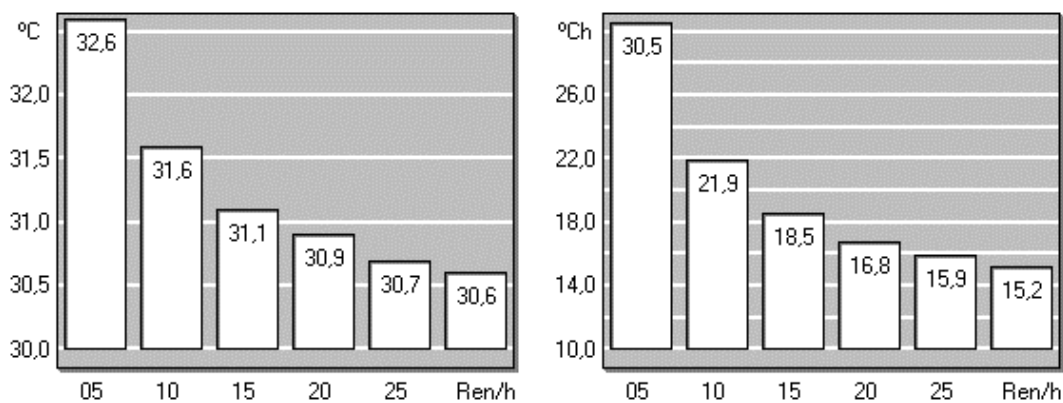


Fig. 3 Valores máximos das temperaturas internas e dos totais de calor acumulado ao longo de um dia, para diferentes taxas de ventilação entre 5 e 30 renovações / hora.

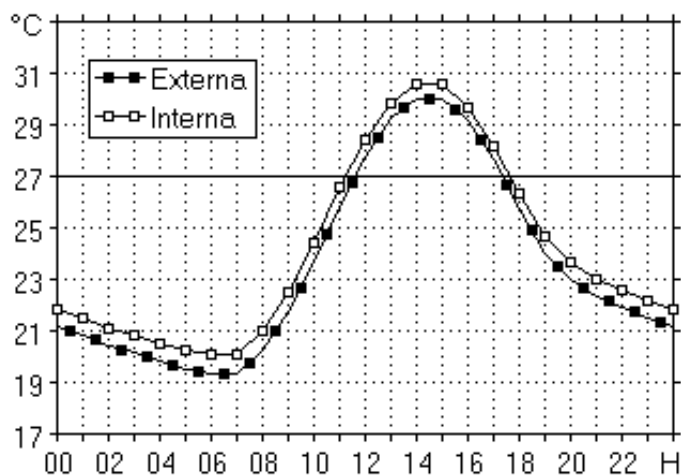


Fig. 4 Temperaturas do ar (para 30 ren / h)

Com uma taxa de ventilação de 30 ren/h, o pico da temperatura do ar interior cai para 30,6 °C, ou seja, 2 °C a menos do que o valor calculado para uma ventilação de 5 ren/h. Esta queda na temperatura interior reduz em 50% o total de calor acumulado em um dia. Estes seriam os melhores resultados possíveis por efeito da ventilação, pois com 30 ren/h as temperaturas internas do ar já estariam muito próximas da externa (ver Fig. 4).

Considerando-se o volume do pavilhão, esta taxa de renovação implicaria em uma vazão de um milhão de metros cúbicos de ar por hora.

A obtenção de taxas de ventilação desta ordem depende de fatores que não podem ser rigorosamente garantidos apenas por meios passivos. Diante deste fato, entendeu-se que seria recomendável instalar-se alguns exaustores mecânicos que poderiam ser ligados sempre que a velocidade dos ventos externos caísse abaixo dos limites compatíveis.

Quanto à otimização da ventilação natural, decidiu-se pelo uso de exaustores eólicos, já aplicados pela própria empresa em outras edificações, com resultados satisfatórios. Como o próprio nome já indica, estes exaustores são acionados pelos ventos externos. Sua principal vantagem sobre sistemas eletro-mecânicos é a economia de energia. Sua desvantagem é a inconstância do vento. Estes equipamentos devem ser instalados no ponto mais alto da cobertura, preferencialmente em locais livres de obstáculos.

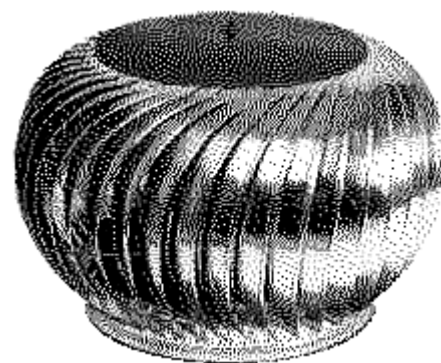
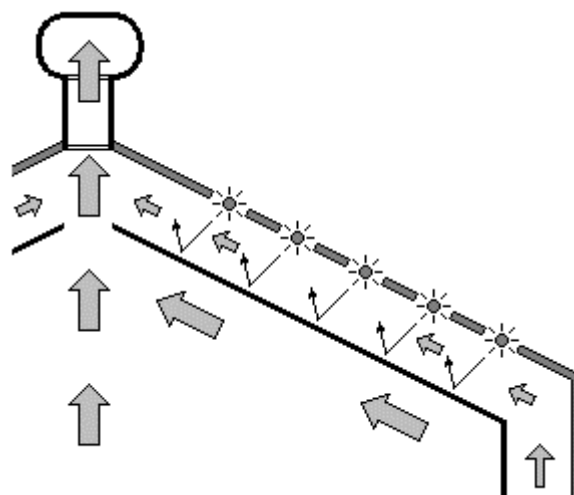


Fig. 5 Exaustor Eólico

4. Fig. 6 Número de Exaustores Efeitos da Resistência Térmica da Cobertura

Devido à desprezível resistência térmica das chapas metálicas, nesta edificação a vedação mais vulnerável ao calor é o telhado. Conforme a figura 2, sem alguma proteção adicional, durante as horas mais quentes e com pouca ventilação o fluxo de calor através das telhas chega a igualar-se ao produzido internamente. Assim, seria necessário melhorar o desempenho térmico da cobertura. Mas a empresa decidiu que um forro somente seria eventualmente instalado em uma segunda etapa, quando o pavilhão já estivesse em funcionamento e caso as velocidades dos ventos demonstrassem ser insuficientes para retirar o excesso de calor.

Neste caso, por sua facilidade de instalação, foi especificado um forro do tipo "manta refletora de radiação", que, para permitir o fluxo da ventilação, deverá preservar uma abertura ao longo de toda a extensão da cumeeira.



A figura 8 refere-se às mesmas condições do mês de fevereiro e ventilação de 5 ren/h, mas supõe a adoção deste tipo de forro. Observe-se que o mesmo atua tanto sobre os ganhos (dia) quanto sobre as perdas (noite) de calor.

Fig. 7 Forro Refletor

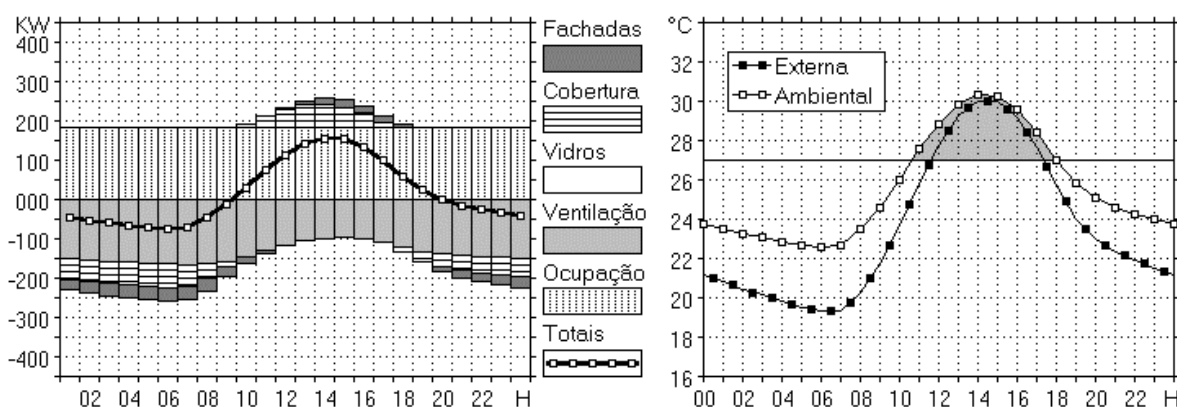


Fig. 8 Impacto de um forro sobre os Fluxos Térmicos e Temperaturas (Fevereiro, 5 ren/h)

A presença do forro provoca uma redução de 42,4% no fluxo térmico máximo. Na figura 8, o gráfico da direita indica a "Temperatura Ambiental", resultante dos efeitos simultâneos da temperatura do ar e das temperaturas superficiais internas.

5. Conjugação dos Efeitos da Ventilação e do Forro

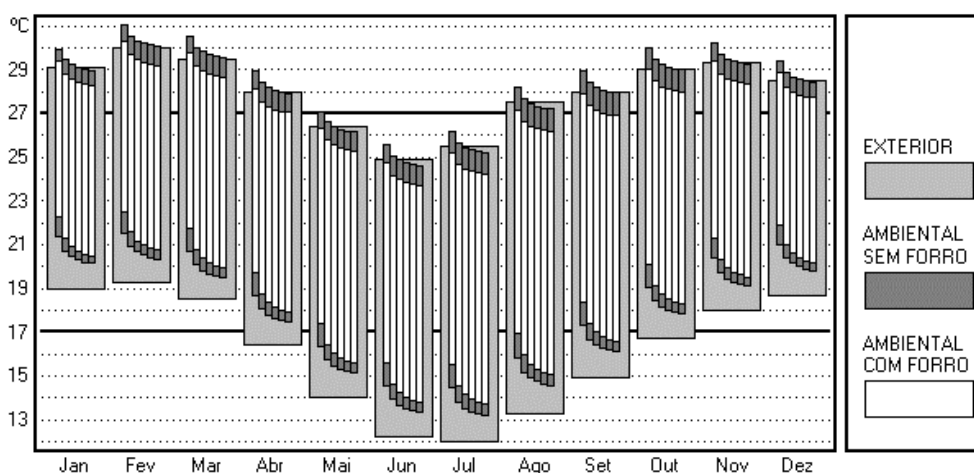


Fig. 9 Temperaturas máximas e mínimas ao longo do ano, para taxas de ventilação entre 5 e 30 ren/h

Admitindo-se o intervalo entre 17 e 27 °C para as temperaturas ambientais (fig. 9), excessos de calor ocorrerão principalmente nos 3 primeiros e nos 3 últimos meses do ano. Para atenuar o frio durante as noites de inverno, será útil reduzir a ventilação interna, o que exigirá a implantação de um sistema de controle das entradas de ar.

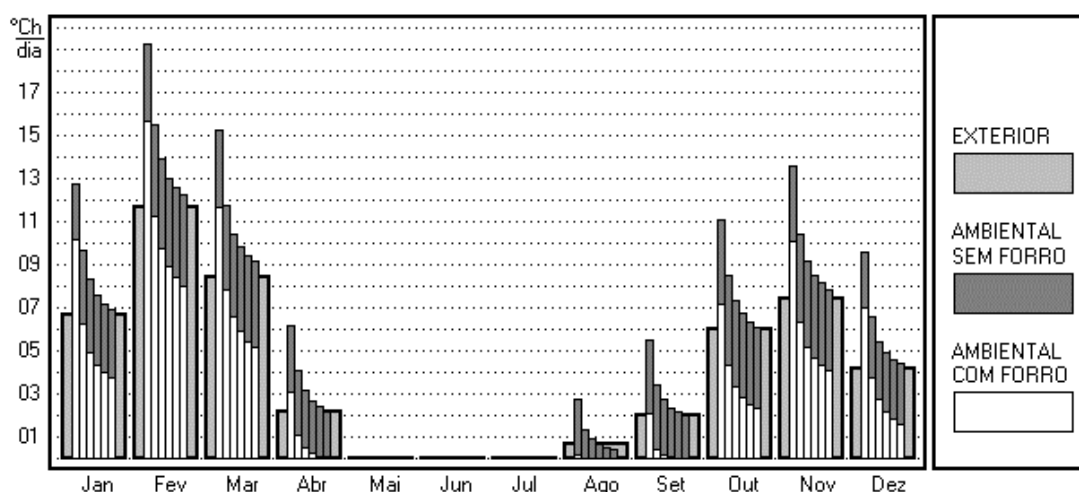


Fig. 10 Calor acumulado ao longo de cada dia típico mensal (°Ch/dia), para ventilação entre 5 e 30 ren/h

6. Recursos Adicionais para Controle da Temperatura e da Umidade do Ar

O clima da região de Araraquara é relativamente seco: entre os meses de abril e outubro, nas horas mais quentes do dia as umidades relativas caem abaixo de 50%. Mas o processo industrial a ser desenvolvido no novo pavilhão exige que o ambiente seja mais úmido. Assim, para aumentar as possibilidades de controle sobre as condições higrotérmicas do ar, foram propostas as seguintes medidas adicionais:

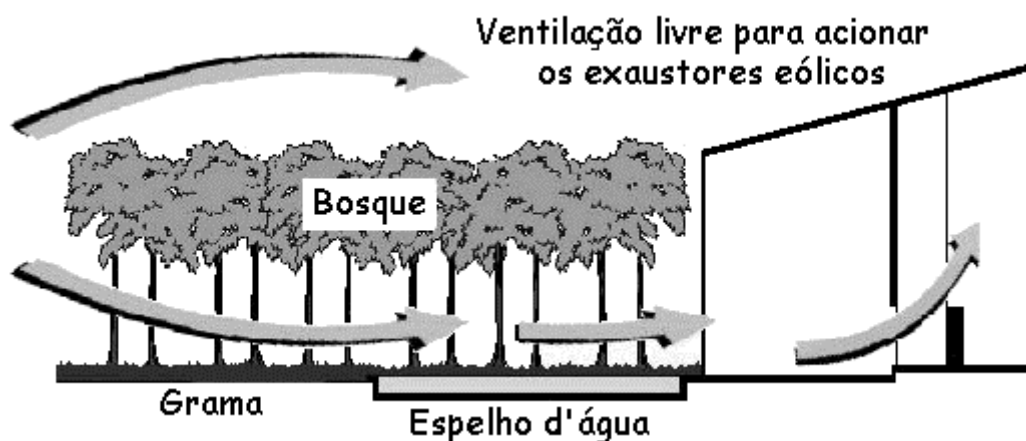


Fig. 11 Tratamento paisagístico dos espaços abertos, amenizando o micro-clima em torno do pavilhão.

- Implantação de gramados, espelhos d'água e bosques em torno da edificação – Por força dos exaustores eólicos, o ar exterior será aspirado para dentro da edificação. Nos períodos mais quentes e secos, o ideal seria que este ar já se umidificasse e se resfriasse antes mesmo de entrar no ambiente. Neste sentido, propõe-se um tratamento paisagístico dos espaços abertos em torno da edificação, com a formação de bosques e a implantação de gramados e espelhos d'água, principalmente diante das

fachadas maiores. Além de sombrear as superfícies, na medida em que a vegetação transpira, ela produz uma evaporação que retira calor do ar. Os espelhos d'água sombreados atuam no mesmo sentido, elevando a umidade e amenizando a temperatura do ar. A criação de pequenos peixes nestes tanques contribuirá para evitar a proliferação de insetos.

- Instalação de aspersores de gotículas d'água no ambiente interno, que poderão ser acionados sempre que a umidade do ar cair abaixo dos limites admissíveis.

2. Bibliografia

ASHRAE (1976): *Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculations*, Washington, D.C.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA (1992): *Normais Climatológicas (1961-1990)*, Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília, DF.

RORIZ, M. (1996): *Conforto Térmico em Edificações: Um Modelo Matemático e uma Aplicação*. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

RORIZ, M. (1997): *Estudo de Conforto Térmico para as Áreas de Circulação do Centro Comercial Lupo*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP.

RORIZ, M. (1999): *Estudo de Otimização do Desempenho Térmico de um Pavilhão Industrial, com vistas ao Conforto Ambiental e à Economia de Energia*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP.