



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

VENTILAÇÃO NATURAL: EXPERIÊNCIA DE ENSINO EM GRADUAÇÃO NA ESCOLA DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Eleonora Sad de ASSIS, Arq., M. Sc.

Victor Mourthé VALADARES, Arq.

Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo
Escola de Arquitetura da UFMG - Rua Paraíba, 697 - 30.130-140 - Belo Horizonte - MG
Tel.: (031) 261-1755 ramal 16; Fax: (031) 261-7286

RESUMO

Apresenta-se a abordagem da ventilação natural no contexto do conforto higrotérmico, a partir da estrutura metodológica da disciplina de Conforto Ambiental, que dá ênfase à avaliação de desempenho do ambiente construído. O estudo anterior das variáveis do clima e sua relação com o condicionamento interno dos ambientes é a base para tratar a ventilação natural em seus aspectos qualitativos e quantitativos, nas escalas urbana e do edifício. A experimentação em maquete urbana foi introduzida para auxiliar a análise qualitativa dos efeitos aerodinâmicos dos ventos em torno dos edifícios, servindo de base ao estudo da captação, distribuição e controle de velocidade dos fluxos internos de ar. A análise quantitativa objetiva dimensionar corretamente as aberturas para atender às exigências de ventilação para o conforto higrotérmico e/ou higiene das habitações. Os resultados obtidos são integrados à avaliação global de desempenho higrotérmico do ambiente. A aplicação dessa metodologia no desenvolvimento de trabalhos práticos tem sido positiva, apesar de seus limites, por oferecer aos estudantes um instrumental para a tomada de decisão em projeto.

ABSTRACT

This paper presents the experience on teaching the natural ventilation in the Discipline of Environmental Comfort of the UFMG School of Architecture. The course methodological structure emphasizes the evaluation of the constructed environment performance. A study of the climate variables and its relations with the indoor conditions of thermal comfort is the basis to consider natural ventilation in both qualitative and quantitative aspects, as well as in urban or building scales. Tests in urban models have been introduced to aid the qualitative analysis of the aerodynamics effects of wind around buildings. After these tests, a study of the indoor captation and direction of the air flows, its distribution and velocity control is done. The quantitative analysis has as objective to find the correct dimensions of openings to attend the ventilations exigences for thermal comfort and/or sanitation. The results are integrated to global evaluation of building thermal comfort and energy efficiency. This

methodology has been useful in practical works, in spite of its limits, since the students receive a tool to aid them in design decision making.

PALAVRAS-CHAVE

Conforto ambiental; conforto higrotérmico; ventilação natural; ensino

INTRODUÇÃO

A *ventilação natural* é um dos itens do programa da disciplina de Conforto Ambiental, abordado integradamente às demais questões do Conforto Higrotérmico, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo.

O programa da disciplina enfatiza o condicionamento térmico natural dos ambientes. A recomendação da antiga ementa ¹ de uma abordagem experimental foi preservada, sendo necessário, entretanto, criar as condições de infra-estrutura adequada para o cumprimento dessa recomendação. As atividades de experimentação em *ventilação natural* são ainda muito precárias e restritas à análise qualitativa da ventilação urbana, através do ensaio em maquetes. Está previsto, no projeto do Laboratório de Conforto Ambiental, a construção de um túnel de vento para ensaios de precisão.

Do ponto de vista metodológico, a disciplina está estruturada para a avaliação de desempenho do ambiente construído (em uso ou em fase de projeto). A opção por esta estrutura deveu-se à preocupação comum do tronco de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo em abordar as questões relativas às suas áreas de conhecimento dentro dos atuais conceitos de gestão da qualidade ambiental.

Do ponto de vista dos conteúdos programáticos, a abordagem da *ventilação natural* no contexto do Conforto Higrotérmico é respaldada pelo estudo das variáveis do clima (atmosféricas e geográficas) por um lado e, por outro, das exigências humanas para a salubridade e conforto, bem como dos impactos desse conjunto de condicionantes sobre o projeto. A análise quali-quantitativa da ventilação, nas escalas do urbano e do edifício, objetiva o atendimento daquelas exigências, através da adequada distribuição dos fluxos de ar e do dimensionamento de aberturas, segundo critérios e normas técnicas. Esses resultados são básicos para a avaliação do desempenho higrotérmico do ambiente, através do balanço de cargas térmicas.

Mais tarde, durante a abordagem do Conforto Acústico, são discutidos os problemas de compatibilização entre as questões da *ventilação natural* e o desempenho acústico dos ambientes, qualitativamente na escala urbana e com maior profundidade na escala do edifício.

Esses conteúdos estão apresentados nesse trabalho, que registra nossa experiência de ensino em graduação. O item 2 mostra, em linhas gerais, a integração do tema às demais questões do Conforto Higrotérmico. Os próximos itens mostram os conteúdos para um enfoque quali-quantitativo, bem como os impactos, do ponto de vista didático, da experimentação para o entendimento de fenômenos, por um

¹ Atualmente, a Escola de Arquitetura está em processo de transição para um currículo novo. A disciplina de Conforto Ambiental do antigo currículo tem uma carga horária de 60 horas-aula e ocorre no 7º período do curso de graduação. No currículo novo, serão três disciplinas de 45 horas-aula, num total de 135 horas-aula. A primeira delas dedicada ao Conforto Higrotérmico, ocorrendo no 3º período.

lado e, por outro, como método de trabalho, enquanto suporte para a análise qualitativa e para a seleção do modelo mais adequado à análise quantitativa, já na escala do edifício. Finalmente, nas conclusões, o potencial e os limites dessa experiência são avaliados. Apresentamos, também, a bibliografia sobre *ventilação natural* que utilizamos atualmente no curso.

A ABORDAGEM DA VENTILAÇÃO NATURAL NA DISCIPLINA DE CONFORTO AMBIENTAL

O processo de abordagem dos conteúdos adotado no curso é o de aproximações sucessivas, partindo do geral, ou seja, da macro-escala, para o particular (micro-escala). Nessa perspectiva, a questão da *ventilação natural* tem seu embasamento nos condicionantes climáticos para o conforto térmico, a partir da definição de *vento* e sua interrelação com as outras variáveis do clima, tais como temperatura, umidade, pressão e insolação; circulação atmosférica planetária e tipos mesoclimáticos, bem como efeitos locais, sob a influência da topografia, massas d'água e de vegetação. Também são mostrados os processos de medição e geração de dados, além das convenções sobre direção de vento.

A seguir, os alunos aprendem a usar métodos de elaboração de recomendações para concepção arquitetônica a partir de séries de dados climáticos e diagramas bioclimáticos, de modo a formar um quadro de referência para o correto comportamento higrotérmico dos ambientes. Como o desempenho do ambiente para o conforto é fortemente dependente do controle das trocas térmicas secas e úmidas, a ventilação natural é discutida principalmente em função de seus impactos sobre os processos de trocas térmicas, além do aspecto de manutenção das condições higiênicas do ar.

Na escala urbana, utilizam-se as relações empíricas pesquisadas por GANDEMER & GUYOT (1976) para a ocorrência de certos fenômenos de circulação local do ar, determinados pela forma e arranjo dos edifícios na malha urbana. Na escala do edifício, a análise qualitativa trata das questões da incidência dos ventos sobre as fachadas, localização das aberturas e distribuição dos fluxos internos em planta e corte, análise da tipologia das esquadrias e sua adequação ao controle da distribuição desses fluxos. A análise qualitativa tem como objetivo fazer o aluno perceber que o simples dimensionamento das aberturas não é suficiente para garantir qualidade ao ambiente, quanto à ventilação. Assim, antes mesmo de partir para a análise quantitativa, é necessário saber o que se vai dimensionar e qual a melhor condição de funcionamento da abertura para uma conveniente ventilação.

A análise quantitativa da *ventilação natural*, atualmente restrita ao edifício, objetiva a determinação da magnitude dos fluxos e o dimensionamento das aberturas. Uma série de modelos disponíveis na bibliografia, especificados no próximo item, é apresentada ao aluno, cabendo-lhe a seleção daquele que melhor se ajusta à situação em estudo.

Pode ser feito um diagnóstico dessa situação, se ela existe realmente, ou uma simulação de uma situação ainda em projeto. Se for constatada insuficiência das condições de ventilação do ambiente, uma proposta de ajuste e/ou correção é elaborada, segundo os critérios definidos nas normas técnicas ou na legislação de edificação local. Esses resultados são integrados à análise térmica do ambiente.

A experimentação em maquete, abordada no item 4, foi introduzida recentemente e ainda é puramente qualitativa. Tem como objetivo identificar, na escala urbana, aqueles fenômenos descritos pelas relações empíricas citadas e particularmente, mudanças de pressão sobre as fachadas ou na direção

predominante de ventos. Tais observações são levadas à análise quantitativa da ventilação no edifício, subsidiando a seleção de modelos.

ENFOQUE QUALI-QUANTITATIVO DA VENTILAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Escala Urbana. Nesse caso, a análise da ventilação natural fundamenta-se na identificação de efeitos aerodinâmicos do vento em contato com a rugosidade superficial do meio urbano (características geomorfológicas e de assentamento). Tais efeitos são identificados pelos alunos através da observação de semelhança entre os modelos empíricos (Quadro 1) e as proporções da estrutura urbana em estudo.

Uma vez identificados os efeitos, os alunos são capazes de inferir sobre os impactos gerados na ventilação das imediações do edifício em análise, tais como:

- alteração dos parâmetros de direção e velocidade do vento, coletados preliminarmente de dados de Estações Meteorológicas mais próximas;
- geração de fenômenos de circulação de ar, como correntes e turbulências; o alteração das zonas originais de alta e baixa pressão.

Além do estudo da situação atual, pode ser projetado um cenário da situação de saturação da área, em função da Lei de Uso e Ocupação do Solo da cidade. Assim, os alunos podem observar novos efeitos causados pela mudança do entorno que provavelmente afetarão o edifício construído ou em projeto. Esses fenômenos são identificados para subsidiar o estudo da *ventilação natural no edifício*.

Escala do Edifício. A análise inicia-se com a consideração dos fatores, fixos e variáveis, que influenciam a *ventilação natural* no edifício (MASCARÓ: 1985). Quanto aos fatores fixos (no caso do edifício já construído), observa-se:

- localização e orientação do edifício aos ventos;
- relação entre espaços abertos de entorno e espaços construídos;
- características construtivas do edifício;
- posição, tipo e tamanho das aberturas.

Quanto aos fatores variáveis, observa-se:

- direções predominantes e velocidade do vento, estimada localmente com o auxílio da Escala de Beaufort;
- efeitos aerodinâmicos dos ventos, observados na etapa anterior;
- diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

Quadro 1 - Efeitos Aerodinâmicos de Vento sobre Conjuntos de Edificações

Efeito	Definição	Características	Relações
Efeito Pilotis	escoamento através de pilotis que liguem as áreas em pressão positiva e negativa	entrada de ar difusa, saída localizada	$h \geq 15 \text{ m}$
Efeito de Canto	escoamento nos ângulos do edifício	gradiente horizontal elevado e desconfortável para o pedestre. Quanto mais alto o edifício, pior o efeito	$h \geq 15 \text{ m}$, para edifícios isolados; $h \geq 30 \text{ m}$, para conjuntos de edifícios
Efeito Esteira	circulação em turbilhão atrás do edifício	zona de turbulência incômoda na parte posterior do edifício	$15 \text{ m} \leq h \leq 35 \text{ m}$, o efeito persiste por cerca de 4h, por uma área de $2e$ de cada lado do edifício
Efeito Turbilhão ao Pé do Edifício	rolo turbilhonar ao pé da face do edifício exposta ao vento	zona de turbulência incômoda ao pé do edifício. O efeito é reforçado pela presença de um edifício mais baixo ($10 \leq h \leq 15 \text{ m}$), à frente (Efeito Wise)	$h \geq 15 \text{ m}$
Efeito Barreira	desvio em espiral do escoamento, ao cruzar um edifício com ângulo de incidência de cerca de 45°	zona de turbulência incômoda na parte posterior central do edifício. O efeito ocorre em edifícios com forma mais alongada	$h < 25 \text{ m}$; $c \geq 8h$; $d \leq h$; o efeito persiste por cerca de 2h
Efeito Venturi	um coletor formado pela disposição dos edifícios faz um ângulo aberto ao vento	saída em jato, muito incômoda, na área de estrangulamento	$h > 15 \text{ m}$; $c_1 + c_2 = 100 \text{ m}$
Efeito União de Zonas de Pressão Diferentes	escoamento entre zonas de pressão diferentes formadas pela disposição de edifícios paralelos	influência preponderante da altura dos edifícios; provoca alteração na direção do vento	$h \geq 15 \text{ m}$; $d' \leq h$; $a \geq h$; para $h > 100 \text{ m}$, $d' = e/4$
Efeito de Canalização	escoamento por um conjunto construído que forma um corredor aberto	não é, por si só, causa de incômodo, a não ser quando associado a outro efeito ou quando a velocidade do vento é muito grande	$h \geq 6 \text{ m}$; $d' < 2h$
Efeito Pirâmide	escoamento através de um conjunto de edificações destacado e de forma piramidal	esta forma dissipa o máximo da energia eólica, em qualquer direção de vento. Alta turbulência	áreas críticas são os cantos dos edifícios e os terraços ou varandas
Efeito de Malha	escoamento através de um arranjo de edifícios que forma pátios centrais ou bolsões	o pátio central pode ser protegido do vento, ou, pelo contrário, há interesse em que seja ventilado	$h > e$; $b \leq P/4$; $S/h^2 \leq 10$; para $15 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$, efeito de proteção

Legenda: h - altura média do edifício ou conjunto de edifícios; e - largura do edifício; c - comprimento do edifício ou comprimento total dos edifícios alinhados; d - distância entre edifícios alinhados; d' distância entre edifícios paralelos; a - diferença de comprimento entre dois edifícios paralelos; b comprimento da abertura do pátio; P - perímetro da malha; S - área do pátio central.

Tais considerações são básicas para a opção pelo modelo matemático mais adequado à análise quantitativa da ventilação do ambiente em estudo. Os modelos utilizados são de ventilação por ação de ventos, por "efeito chaminé" e por efeito combinado dos dois anteriores (Quadro 2).

O fluxo calculado deve satisfazer aos critérios de ventilação para salubridade do ambiente e conforto térmico. Desse modo, as áreas de aberturas podem ser dimensionadas a partir desses critérios. Os resultados dessa análise são integrados ao cálculo do balanço térmico do ambiente. Em função do resultado do balanço, plotado sobre um diagrama bioclimático adequado, providências de ajuste e/ou correção do ambiente devem ser tomadas, para seu melhor desempenho - uma dessas providências pode ser o redimensionamento da ventilação natural.

Quadro 2 - Modelos matemáticos utilizados na avaliação da Ventilação Natural

Tipo	Modelo	Variáveis	Referência
Ação de Ventos	$\phi_v = c_a \cdot A_0 \cdot v \cdot (c_e - c_s)^{1/2}$	ϕ_v - fluxo de ar, m ³ /s c_a - perda de carga na entrada A_0 - área equivalente de aberturas v - velocidade de vento externo resultante na abertura (m/s) c_e - coeficiente de pressão de entrada (gráficos de Irminger) c_s - coeficiente de pressão de saída (gráficos de Irminger)	1
	$\phi_v = c_1 \cdot c_2 \cdot A \cdot v \cdot (c_3)^{1/2}$	ϕ_v - fluxo de ar, m ³ /s c_1 - coef. efeito combinado de 2 a 3 aberturas em série (gráficos de Van Straaten) c_2 - coef. obstrução do entorno construído A - área necessária (m ²) v - velocidade de vento local (m/s) c_3 - coef. perda de carga devido ao ângulo de incidência do vento na fachada em estudo	3
Efeito Chaminé	$\phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (h \cdot \Delta T)^{1/2}$	ϕ_c - fluxo de ar, m ³ /s A - menor área de abertura, m ² h - distância entre eixos das aberturas ΔT - diferença entre temperatura externa e interna	1
Efeito Combinado	$\phi_e = y \cdot \phi_c$	ϕ_e - fluxo de ar, m ³ /s y - múltiplo de ϕ_c , função da relação $x = \phi_c / (\phi_c + \phi_v)$, lido no gráfico de Jorgensen	4

A EXPERIMENTAÇÃO COMO SUPORTE À VISUALIZAÇÃO DE FENÔMENOS

Os efeitos aerodinâmicos dos ventos no meio urbano são identificados através de ensaio em maquete, a partir do conhecimento básico das relações entre os edifícios que produzem tais efeitos (GANDEMER & GUYOT: 1976). Assim, apesar dos limites do ensaio, cumpre com objetivos didáticos de visualização dos fenômenos envolvidos na propagação dos ventos através dos recintos urbanos.

O conjunto de instrumentos que integram o ensaio são, para cada maquete, um ventilador axial equipado com veneziana para o controle da direção do fluxo de ar, que deve ser mantido o mais paralelamente possível ao plano horizontal da maquete. Uma régua de madeira suporta um conjunto de tiras finas de material leve (papel de seda, por exemplo) regularmente espaçadas; as tiras dão visibilidade ao fluxo de ar (figura 1).

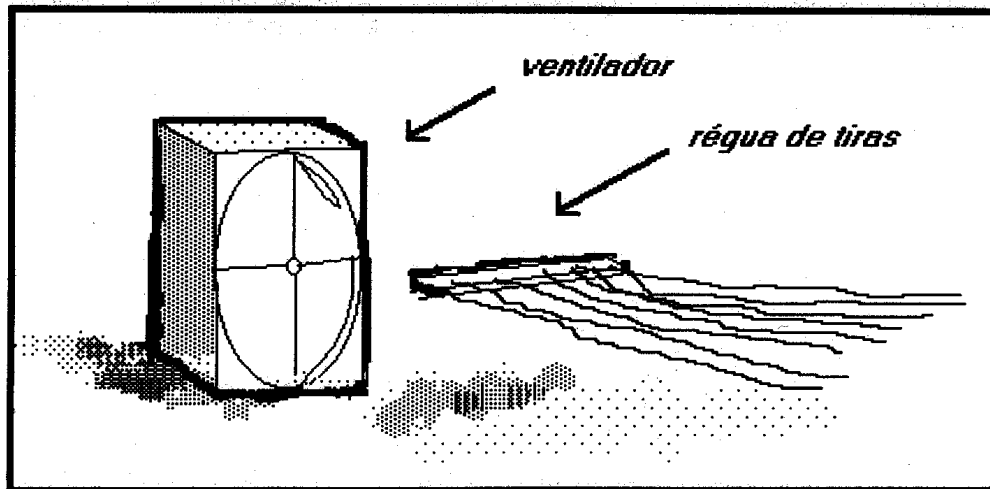


Figura 1 - Instrumentos básicos para o ensaio de ventilação natural.

Acionando-se o ventilador, um dos alunos mantém a 'régua' diante dele, de modo que as tiras, movimentadas pelo ar, configurem um fluxo o menos turbulento possível - o ideal é que se disponha 'm paralelamente ao plano horizontal da maquete; as áreas de turbulência devem ser evitadas durante o ensaio. A seguir, outro aluno "emerge" a maquete no fluxo de tiras, segundo a orientação dos ventos dominantes para o período em análise.

As tiras mostram, então, a configuração da circulação local do ar e os efeitos aerodinâmicos podem ser identificados. Um terceiro aluno faz o registro fotográfico do ensaio.

A seguir, apresenta-se alguns exemplos de ensaio em maquete desenvolvidos pelos alunos.

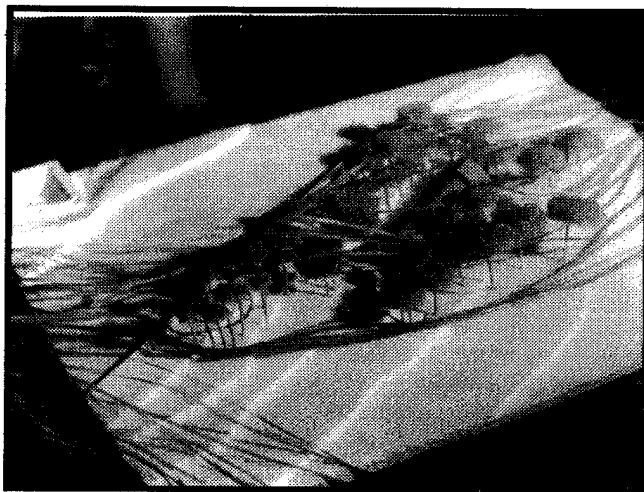


Figura 2 - Efeito de filtragem da vegetação de entorno ao Teatro Francisco Nunes, vento leste, Belo Horizonte.

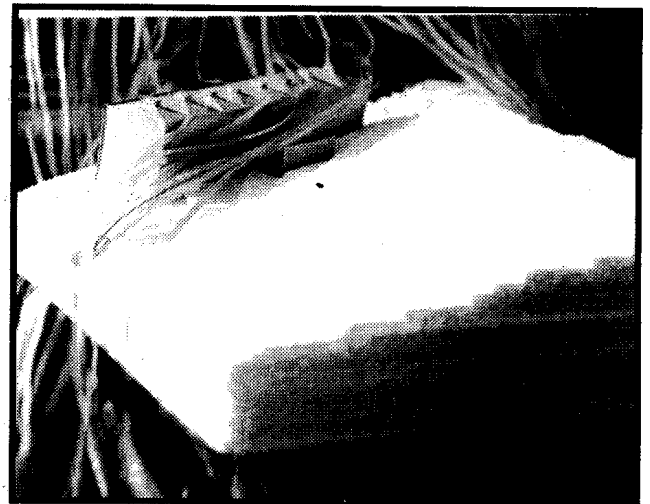


Figura 3 - Efeito barreira do edifício e de canalização pela topografia do terreno, Faculdade Milton Campos, Belo Horizonte.

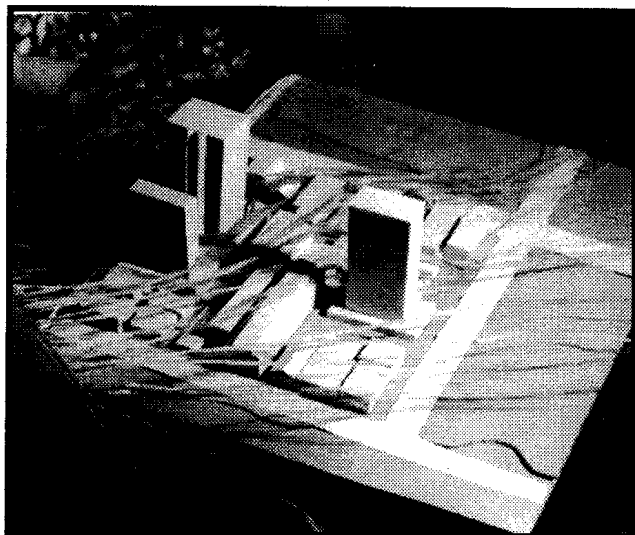


Figura 4 - Efeito esteira do edifício à direita na imagem causa desvio na direção dos ventos em sua parte posterior, onde se encontra o edifício em estudo, a Academia Shaping, vento nordeste, Belo Horizonte.

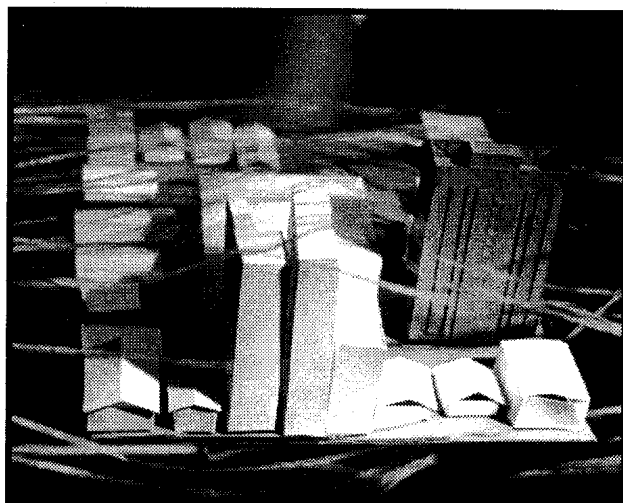


Figura 5 - Efeito esteira causado pelos edifícios que aparecem em primeiro plano recebe a interferência da implantação do Edifício Palladion (mais escuro), provocando efeito de união de zonas de pressão diferentes sobre sua fachada leste. Vento predominante leste, Belo Horizonte.

CONCLUSÕES

A ênfase na avaliação de desempenho dos ambientes como opção metodológica da disciplina de Conforto Ambiental tem se mostrado produtiva, considerando a restrição de carga horária do curso, porque traz um enfoque mais objetivo, oferecendo ao aluno uma linha clara de abordagem e a instrumentação necessária à aplicação dos conceitos. Nesse contexto, as questões relativas à ventilação natural ficam inseridas dentro de um processo de avaliação, que pode ser aplicado tanto à análise pós-ocupação, como em situação de concepção e projeto.

A introdução de métodos experimentais, utilizando maquetes, tem facilitado a compreensão de fenômenos e a assimilação da teoria. É também uma forma de integrar a disciplina àquelas da área de projeto, mostrando como o estudo em maquete, comum aos procedimentos naquela área, pode ser feito levando em conta condicionantes do clima.

Por outro lado, reconhecendo a importância da formação para a percepção tridimensional em Arquitetura e Urbanismo, a atividade experimental complementa a visão bidimensional desenvolvida no desenho de arquitetura e, mesmo, através da aplicação do computador na simulação de eventos.

No nosso caso, tem, além disso, a vantagem de gerar subsídios para a análise quantitativa, através da observação de efeitos de vento na malha urbana de entorno ao edifício em estudo.

O processo empregado de experimentação em *ventilação natural* é, entretanto, bastante grosseiro, embora simples e de fácil introdução nos cursos em geral. Espera-se melhores resultados com a construção do túnel de vento do Laboratório de Conforto Ambiental, o que deverá permitir o desenvolvimento de pesquisas para a modelagem e avaliação quantitativa de situações específicas, tanto na escala urbana, quanto na do edifício. Além disso, a introdução de programas computacionais já existentes para a análise das condições de ventilação nos ambientes deverá estimular a busca de

soluções otimizadas, pela possibilidade de observar com rapidez os impactos produzidos pela modificação das variáveis de projeto para uma dada situação.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Fotodocumentação da Escola de Arquitetura da UFMG, pelo apoio no desenvolvimento das atividades experimentais da disciplina de Conforto Ambiental; ao Núcleo de Informática (NIT/CEPEX), pelo suporte no processamento de textos e imagens. Em especial, a José Carlos Marins, pelo apoio técnico e de infra-estrutura de processamento das imagens que compõem esse trabalho.

REFERÊNCIAS

1. FROTA, Anésia B. & SCHIFFER, Sueli R. *Manual de Conforto Térmico*. São Paulo, Nobel, 1989.
 2. GANDEMER, J. & GUYOT, A. *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti*. Paris, Secrétariat Général du Group Central des Villes Nouvelles [Documentation Frangaise], C.S.T.B., 1976.
 3. MASCARÓ, Lucía R. de. *Energia nas Edificações: estratégias para minimizar seu consumo [Anexos]*. São Paulo, Projeto Editores Associados, 1º edição, 1985.
 4. MESQUITA, A. L. S. et alt. *Engenharia de Ventilação Industrial*. São Paulo, CETESB/ASCETESB, 1ª reimpressão da edição, 1977.
 5. FARIA, Cláudia M. et alt. *Análise de Desempenho Térmico do Teatro Francisco Nunes*. [Trabalho Prático da Disciplina de Conforto Ambiental]. Belo Horizonte, Dep. TAU/EAUFMG, 2º semestre de 1993.
 6. MOURÃO, Alessandra et alt. *Análise de Conforto Térmico da Faculdade Milton Campos*. [Trabalho Prático da Disciplina de Conforto Ambiental]. Belo Horizonte, Dep. TAU/EAUFMG, 2º semestre de 1993.
 7. SENA, Marcelo G. et alt. *Análise de Conforto Térmico do Edifício Palladion*. [Trabalho Prático da Disciplina de Conforto Ambiental]. Belo Horizonte, Dep. TAU/EAUFMG, 2º semestre de 1993.
 8. SOUZA, Alessandra B. et alt. *Análise de Conforto Térmico da Academia Shaping*. [Trabalho Prático da Disciplina de Conforto Ambiental]. Belo Horizonte, Dep. TAU/EAUFMG, 2º semestre de 1993.
- Trabalhos dos Alunos [créditos fotográficos]: