



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

DESENVOLVIMENTO DE EXPERIMENTOS DIDÁTICOS PARA VISUALIZAÇÃO DE VENTO: SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL EM TÚNEL DE VENTO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Patricia R. C. Drach (1); Virgínia M. N. de Vasconcellos (2); Oscar D. Corbella (3)

(1) Departamento de Programa de Pós-graduação em Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio de Janeiro – PROURB/FAU/UFRJ, Brasil – e-mail: patricia.drach@gmail.com

(2) Escola de Belas Artes – Universidade Federal do Rio de Janeiro – EBA/UFRJ, Brasil – Pesquisador CNPq - e-mail: virginia.vasconcellos@gmail.com

(3) Departamento de Programa de Pós-graduação em Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio de Janeiro – PROURB/FAU/UFRJ, Brasil – Pesquisador CNPq - e-mail: oscar.corbella@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma série de simulações experimentais e computacionais para observação e análise dos caminhos do vento na cidade. Estes resultados fazem parte do desenvolvimento de um conjunto de experimentos e de materiais didáticos que permitam a visualização de vento em maquetes arquitetônicas, urbanas e computacionais. As simulações experimentais em túnel de vento vêm sendo desenvolvidas pelo grupo de Urbanismo Bioclimático e Sustentável – URBIS no túnel de vento da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – FAU-UFRJ, utilizando técnicas de visualização, entre elas a do arrasto de areia. A visualização imediata do efeito do vento no nível do pedestre pode auxiliar os envolvidos no desenho urbano, sobretudo na especificação das variáveis projetuais visando ao conforto dos ambientes externos, como por exemplo, das áreas mais ou menos ventiladas, permitindo, ainda, apontar a possibilidade de formação das ilhas de calor. A simulação computacional contribui como outra forma de avaliação para acrescentar dados para o desenvolvimento de um “banco de experimentos” pautados na visualização do que ocorre nos espaços em termos de ventilação. Os resultados da simulação computacional são apresentados através dos campos de vetores e das isofaixas dos campos de vento. Os resultados obtidos, até o presente, indicam que a construção de um conjunto de documentos capaz de auxiliar os envolvidos no desenvolvimento de projetos é uma tarefa possível, inclusive de forma não presencial, uma vez, que imagens fotográficas, filmes e gráficos podem ser utilizados em aulas, seminários e apresentações.

Palavras-chave: Simulação experimental; túnel de vento; simulação computacional; ventilação; módulo habitacional; maquete urbanística.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados que fazem parte do desenvolvimento de um conjunto de experimentos e de materiais didáticos para visualização de vento em maquetes arquitetônicas e urbanas (DRACH; VASCONCELLOS; CORBELLA, 2009). Os resultados obtidos a partir de uma série de simulações experimentais e computacionais permitem a análise e comparação das diversas configurações de projeto propostas, auxiliando, portanto, na determinação das configurações mais adequadas.

As simulações experimentais em túnel de vento vêm sendo desenvolvidas pelo grupo de Urbanismo Bioclimático e Sustentável – URBIS que já conta com uma seleção de experimentos demonstrativos dos caminhos do vento tanto em espaços arquitetônicos quanto em espaços urbanos.

A visualização imediata do efeito das diferentes configurações de projeto na dinâmica de ventilação dos espaços externos pode contribuir para que um maior número de envolvidos na tarefa de projetar tome conhecimento de que, através da adoção de alternativas passivas, é possível interferir na ventilação buscando a adequação do projeto às necessidades locais. Os resultados podem ser avaliados a partir de alterações relacionadas ao posicionamento de aberturas e fechamentos e aquelas relacionadas às diferentes formas de ocupação dos espaços urbanos alterando a disposição de edificações nos lotes e dos demais elementos da morfologia urbana. Ao interferir na dinâmica de ventilação tem-se como meta o conforto dos usuários dos espaços. A identificação das áreas melhor ventiladas nos espaços estudados auxilia futuras intervenções que visem ao conforto dos ambientes. A previsão dos resultados, a partir de decisões de projeto, é uma meta para a redução de custos financeiros e ambientais e para a aplicação dos princípios urbanos sustentáveis. A identificação de áreas onde há pouca ventilação natural e, em seguida, de um estudo relacionado à insolação, permitem avaliar, também, a possibilidade de formação das ilhas de calor.

Os experimentos estão sendo realizados no túnel de vento (TV), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – FAU-UFRJ, utilizando técnicas de visualização, dentre elas a do arrasto de areia.

A simulação computacional foi introduzida como outra forma de avaliação buscando, através da associação com o trabalho desenvolvido em simulação experimental, contribuir com o desenvolvimento de um “banco de experimentos” pautados na visualização do que ocorre nos espaços. Os resultados da simulação computacional são apresentados através dos campos de vetores e das isofaixas dos campos de vento.

Para o desenvolvimento dos experimentos foram confeccionados modelos reduzidos para os testes no túnel de vento. Maquetes arquitetônicas e urbanísticas foram construídas pelos bolsistas de Iniciação Científica - UFRJ - associados ao Grupo de Pesquisa em Urbanismo Bioclimático Sustentável – URBIS - PROURB/FAU/UFRJ. Modelos computacionais similares às maquetes foram desenvolvidos para as simulações em computador.

2 OBJETIVO

O objetivo principal do estudo é o desenvolvimento de experimentos didáticos para visualização e análise dos caminhos do vento no espaço urbano. A partir das metodologias propostas visa a identificar/determinar as configurações capazes de adequar o projeto ao lugar, tendo como foco a avaliação dos projetos urbanos e paisagísticos, em diferentes arranjos morfológicos. Neste contexto, pretende auxiliar os estudos e os projetos que visam ao conforto e ao uso dos espaços livres urbanos de uso público em relação ao controle do vento, à poluição do ar e às ilhas de calor urbano.

3 METODOLOGIA

A metodologia visou à construção de elementos de comparação para as simulações computacionais e experimentais existentes.

Foram utilizados dois métodos de análise: um para a simulação computacional e outro para a simulação experimental, e, ambos os métodos, foram aplicados a duas situações: conjunto de blocos compactos de tamanhos variados e dispostos segundo três arranjos diferentes e uma maquete urbana.

O método aplicado para a análise computacional foi o de elementos finitos - MEF (HUGHES, 1987), por possibilitar a leitura pontual das variáveis de interesse, neste caso específico, a velocidade do vento em espaços urbanos.

Nas simulações experimentais foi adotado o método do arrasto de areia reconhecido em ensaios desta natureza, por permitir a visualização e registro digital dos caminhos do vento, no nível do pedestre, em simulações em maquetes, onde são detectadas as entradas e barreiras à circulação do ar.

3.1 Simulação Experimental

Nas simulações experimentais, o estudo das zonas onde a areia se acumula combinado com o estudo da insolação permite identificar possíveis ilhas de calor, assim como zonas de concentração de poluentes, entre outras.

Os resultados podem colaborar na determinação de estratégias de ação para os planejadores urbanos e paisagistas, no projeto dos espaços urbanos, sobretudo nos de uso público, onde o tempo de permanência é maior, minimizando situações indesejáveis (CARVALHO, 2006).

3.1.1 Túnel de Vento

O túnel de vento é uma ferramenta experimental que permite o entendimento da interação do escoamento do vento com as edificações e seu entorno, pela utilização de técnicas de visualização. Ele foi projetado pelo Laboratório de Aerodinâmica das Construções – LAC/DECIV/PPGEC – UFRGS em 2005. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, a planta baixa e a vista lateral do TV/FAU, na Figura 2b nota-se o detalhe do setor de gavetas visto sem a porta de acesso (imagens adaptadas do Projeto do Túnel de Vento FAU/UFRJ, 2005). Está localizado numa sala de 8,80m x 7,60m, no andar térreo da Faculdade e atende a velocidades superiores a 10 m/s, o que é o desejável para a realização dos ensaios de erosão eólica (CORBELLA, 2007). As Figuras 3a e 3b são imagens fotográficas das vistas lateral e frontal do TV, nelas pode ser observada a mesa de testes. Esta possui um mecanismo giratório o que permite que os modelos reduzidos sejam posicionados de forma adequada em relação à direção do vento que se deseja avaliar.

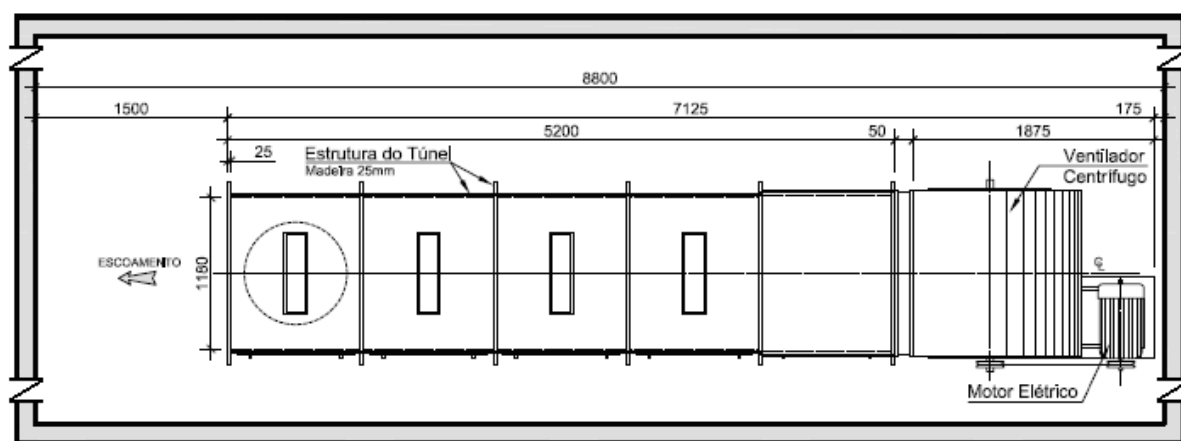


Figura 1. Planta baixa do túnel de vento da FAU/UFRJ (mm) – Imagem adaptada do Projeto do Túnel de Vento FAU/UFRJ, 2005.

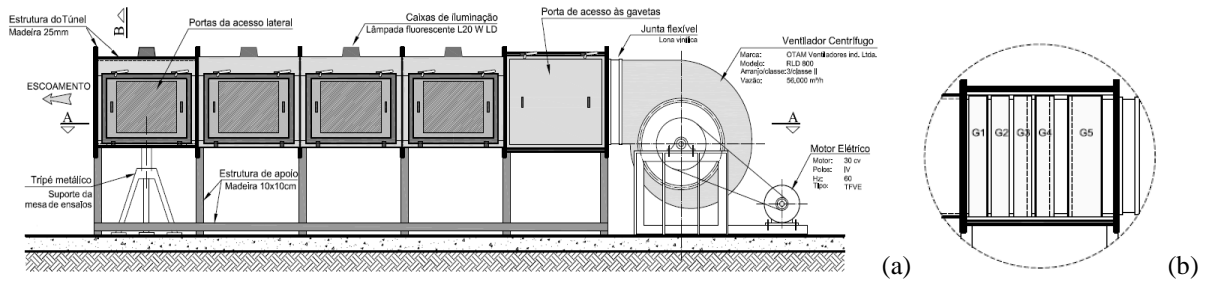


Figura 2. Vista lateral do túnel de vento da FAU/UFRJ (a) e detalhe do setor de gavetas visto sem a porta de acesso (b). Figura: Projeto do Túnel de Vento FAU/UFRJ, 2005.

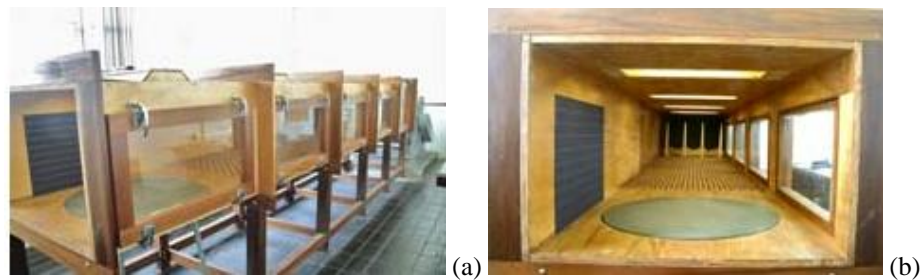


Figura 3. Vista lateral (a) e frontal (b) do túnel de vento da FAU/UFRJ.

No projeto de um túnel de vento de camada limite é desejável que ao menos uma parte do escoamento desenvolva-se sobre cobrimentos mínimos de diferentes tipos de rugosidades. Assim, o desenvolvimento do escoamento se dá através de uma longa superfície rugosa. Nas fotografias das Figuras 4a e 4b podem ser observados os obstáculos chamados de geradores de turbulência, com forma de aletas de tubarão (Figura 4a) e a superfície rugosa sobre a qual o escoamento é desenvolvido antes de atingir a mesa de testes.

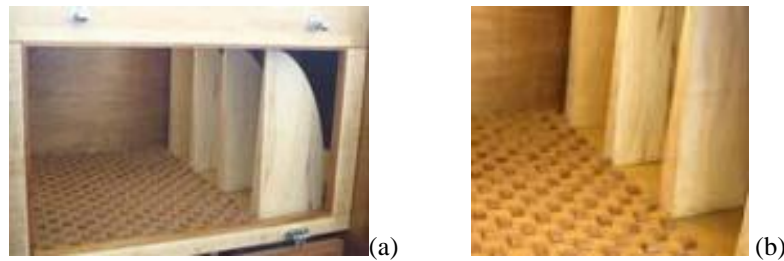


Figura 4. Obstáculos geradores de turbulência (a) e superfície rugosa (b) do túnel de vento da FAU/UFRJ.

3.1.2 Modelo Experimental

Inicialmente foi proposto um modelo experimental onde, a partir de uma situação hipotética, blocos de tamanhos variados foram dispostos lado a lado, sem espaçamento, formando, em planta, um grande “U” (Figuras 5a e 5d). Foram, ainda, propostas duas alterações na disposição dos blocos, sendo: a retirada de um dos blocos (Figuras 5b e 5e) abrindo um acesso ao interior do conjunto e a rotação de um dos blocos da parede lateral (Figuras 5c e 5f).

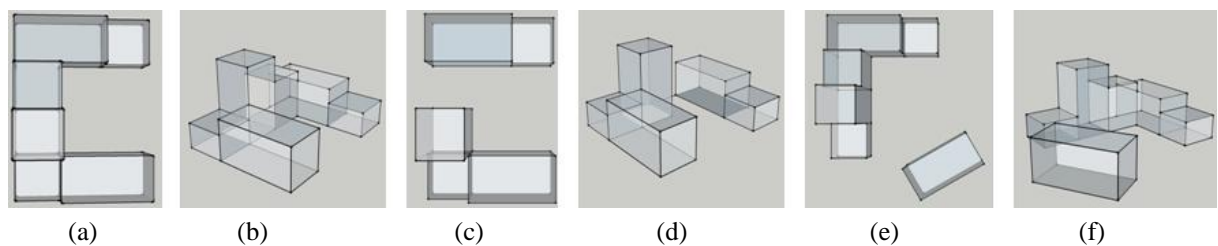


Figura 5. Blocos compactos: forma de “U” (a-b), “U” com abertura (c-d) e com um dos blocos e ângulo (e-f).

Outra situação testada foi a maquete do Largo do Machado, (Figura 6), que faz parte do acervo do grupo de pesquisa. As maquetes experimentais foram desenvolvidas pelos estudantes de Iniciação Científica - UFRJ. O Largo do Machado está situado no Bairro do Catete, na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro, Brasil, pouco acima da Linha do Trópico de Capricórnio (22° 54' de latitude sul e 43° 10' de longitude oeste). A esta latitude, a trajetória solar garante à Cidade, uma intensa insolação durante todo o ano. No verão, apresenta ventos de nordeste, à noite. Devido à sua proximidade com o mar, durante o dia a Cidade é afetada pelas brisas marinhas que sopram do mar para a terra e, à noite, pelas brisas que vêm da terra para o mar, com maior intensidade no verão (VASCONCELLOS: 2006).

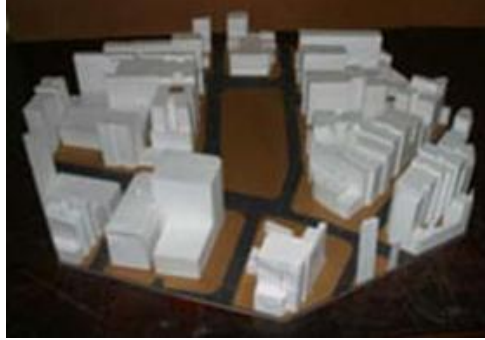


Figura 6. Maquete urbana: Praça do Largo do Machado, RJ.

3.2 Simulação Computacional

Para as simulações computacionais foi adotado o modelo matemático desenvolvido a partir das equações de conservação de massa e de momento linear usualmente adotado para descrever o fenômeno da ventilação (DRACH, 2007). A simulação foi desenvolvida em 2D, sendo possível utilizar um esquema 3D em camadas.

3.2.1 Formulação Matemática

A circulação de ar pode ser modelada a partir da determinação da solução da equação de conservação da massa e das equações de conservação do momento linear em velocidade e pressão. No caso do ar as equações do momento se transformam nas equações de Navier-Stokes. Assim, a formulação matemática do problema pode ser escrita como: Determinar \mathbf{u} e p que satisfaçam ao seguinte sistema de equações

$$\text{div}(\mathbf{u}) = 0, \text{ em } \Omega \times [0, T], \quad (\text{eq.1})$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\nabla \mathbf{u}) \mathbf{u} - 2\mu \text{div} \varepsilon(\mathbf{u}) + \nabla p = 0, \text{ em } \Omega \times [0, T], \quad (\text{eq.2})$$

com suas condições iniciais e de contorno,

$$\nabla(\mathbf{u}) \cdot \vec{\mathbf{n}} = 0 \text{ em } \Gamma_v \times [0, T], \quad \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \vec{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, t) \text{ em } \Gamma_u \times [0, T] \text{ e } \mathbf{u}(\mathbf{x}, 0) = \mathbf{u}_0$$

onde: $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$ é o vetor velocidade, $p = p(\mathbf{x}, t)$ é a pressão, μ é a viscosidade, ρ é a massa específica,

$\vec{\mathbf{n}}$ é o vetor normal, $\varepsilon(\mathbf{u}) = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)$, Ω é o domínio com contorno $\Gamma = \Gamma_v \cup \Gamma_u$ e o tempo $t \in [0, T]$.

No caso específico da equação de Navier-Stokes incompressível, depara-se com a dificuldade de construir espaços de aproximação com divergente nulo quando métodos tradicionais são usados, como o método de Galerkin que pode gerar oscilações espúrias na solução. O método de elementos finitos (MEF) foi aplicado como procedimento de solução, uma vez que possibilita a leitura pontual das variáveis de interesse, neste caso específico, a velocidade do vento em espaços urbanos. Para lidar com os problemas decorrentes da instabilidade numérica presente nos casos de convecção dominante e, ainda, com as restrições internas do campo de velocidade, foi implementado o método misto estabilizado de elementos finitos, tipo Petrov-Galerkin (FRANCA; FREY, 1992). Para a discretização no tempo o método adotado foi o de diferenças finitas, Euler atrasado (Backward Euler). O processamento foi desenvolvido em código de elementos finitos em linguagem Fortran, baseado no

código apresentado por Hughes (1987), as sub-rotinas de ligação entre o programa de visualização e o programa de processamento foram desenvolvidas também em linguagem Fortran (DRACH, 2007).

3.2.2 Modelo Computacional

Simultaneamente foram desenvolvidas “maquetes computacionais¹”, sobre as quais foram impostas as condições de contorno e iniciais para as simulações em computador. A seguir foram geradas, para cada um dos modelos, as malhas de elementos finitos que permitem a obtenção de valores pontuais de velocidade.

A “maquete computacional” pode ser observada na Figura 7a. A seta azul indica a direção de entrada do vento (ventilador centrífugo); em relação ao vento, a posição do bloco principal (U) foi mantida em todos os experimentos, inclusive, nos computacionais, para permitir comparações. Na Figura 7b a malha de elementos finitos gerada para o cálculo da velocidade do vento pode ser observada e é possível ver, no detalhe desta figura, os nós ou pontos nos quais a velocidade é calculada. As Figuras

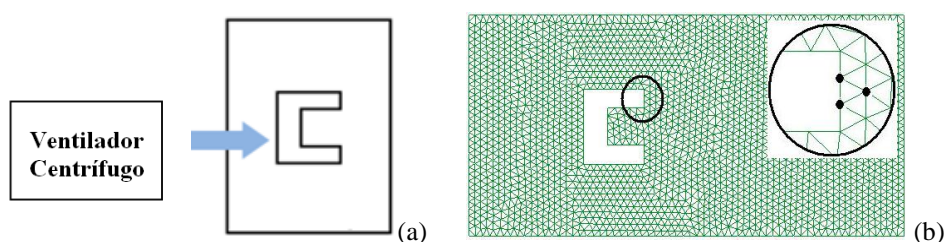


Figura 7. (a) “Maquete computacional” – a seta azul indica a direção do vento. (b) Malha e detalhe gerados a partir da maquete computacional.

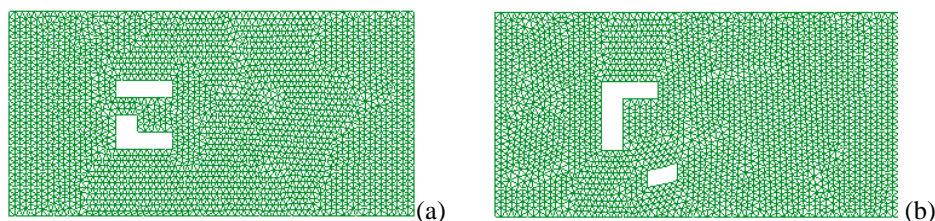


Figura 8. (a) “Maquete computacional” e (b) Malha de elementos finitos.

Para maquete urbana também foi desenvolvido um modelo computacional (Figura 9b) construído a partir da planta do local (Figura 9a). A Figura 10a apresenta a malha de elementos finitos gerada para a simulação computacional e o detalhe da região de interesse. A seta azul da Figura 9c indica a direção de vento adotada nos experimentos urbanos. Os valores de velocidade de vento foram definidos de modo a representar um vento equivalente a uma brisa (valor adotado 1m/s e direção nordeste - NE), de acordo com a Escala Beaufort. A opção por trabalhar com ventos mais fracos possibilita o estudo em situações de ventilação mais desfavoráveis.

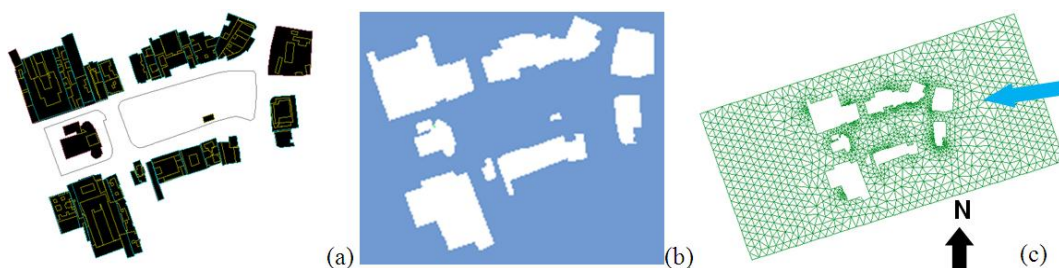


Figura 9. (a) Planta do local, (b) “Maquete computacional” e (c) malha de elementos finitos. A seta azul indica a direção de vento adotada nos experimentos.

¹ No estudo, são consideradas maquetes computacionais os desenhos gerados pelos programas utilizados (AUTOCAD e GID).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Blocos Compactos

Para simulação experimental da situação hipotética, o conjunto de blocos compactos, foi disposto na mesa de ensaios do túnel de vento e, uma camada de areia fina foi depositada sobre todas as superfícies expostas da maquete. Inicialmente os blocos foram dispostos formando um grande “U” em planta. Posteriormente, alguns blocos foram retirados e/ou relocados em posições variadas, criando vazios e paredes com inclinações distintas. Na Figura 10 podem ser observadas as vistas frontal e superior do conjunto em forma de “U” e nas Figuras 11 e 12, as mesmas vistas para as duas alterações sugeridas.

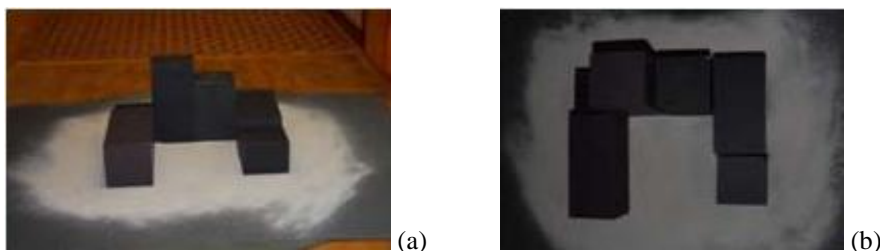


Figura 10. Vista frontal (a) e vista superior (b) do conjunto em forma de “U”.

Os primeiros testes utilizando a técnica de arrasto de areia, no túnel de vento, tiveram como foco a seleção do material que melhor se adequasse aos ensaios. Foram feitos testes com areias de diferentes granulometrias, argila, talco, cimento entre outros. A areia mais fina foi a aquela que se apresentou como mais adequada aos experimentos, levando em conta a facilidade de obtenção, de limpeza e de ausência de riscos para a saúde.

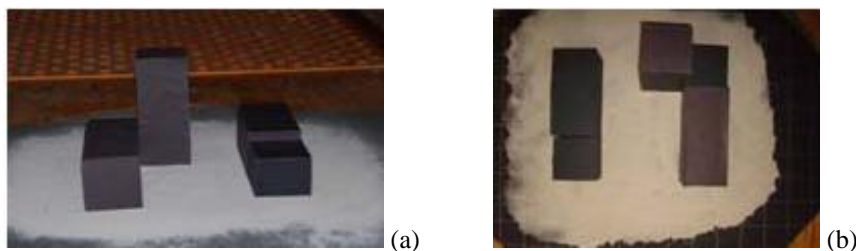


Figura 11. Vista frontal (a) e vista superior (b) do conjunto com uma abertura a barlavento.

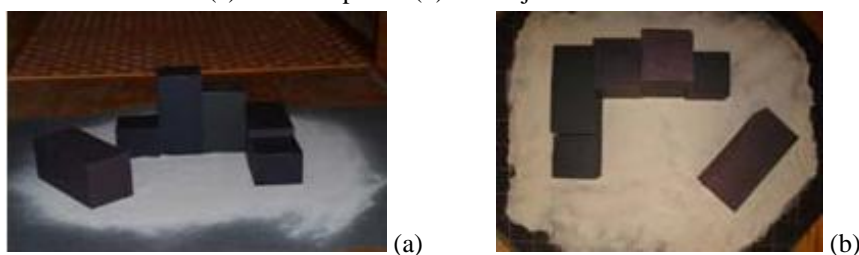


Figura 12. Vista frontal (a) e vista superior (b) do conjunto com um bloco inclinado.

Os resultados obtidos para o espaço urbano hipotético, com os blocos compactos, permitiram a observação dos caminhos do vento e sua avaliação qualitativa permite, ainda, observar as alterações resultantes das mudanças na configuração do conjunto. Para que tal observação pudesse ser feita, três conjuntos de blocos foram localizados na mesa de testes obedecendo ao mesmo posicionamento em relação à entrada do vento e, foram submetidos às mesmas condições de vento dominante, ou seja, mesma velocidade e direção para os três experimentos. No caso das simulações computacionais as mesmas condições de contorno e iniciais foram aplicadas aos experimentos.

Os experimentos foram efetuados em série e permitiram ao observador posicionado na sala do TV a visualização das alterações desenhadas pela areia nas três situações. No conjunto que forma o grande “U” (Figura 13a) observa-se o acúmulo de resíduos no interior do conjunto resultante da ausência de vento capaz de promover a ventilação neste local. Na Figura 14a, a retirada de um dos blocos a barlavento permite o acesso do vento ao interior do conjunto, resultando numa nova configuração dos

resíduos, com estes empurrados para uma faixa posterior. A Figura 15a, com a rotação de um dos blocos da parede lateral, mostra uma alteração do perfil de distribuição da areia. Estas alterações podem ser observadas de forma imediata na Figura 16, onde as regiões menos ventiladas aparecem contornadas, confirmando que a dinâmica do vento variou apenas com a alteração do posicionamento dos blocos.

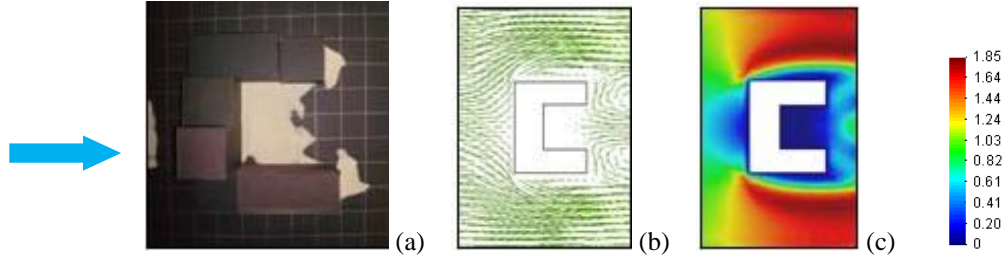


Figura 14. Resultados dos experimentos com os blocos compactos: técnica do arrasto de areia (a) e simulação computacional, com o campo de velocidades (b) e as isofaixas de velocidade (c).

Nas Figuras 13b, 14b e 15b onde estão os campos de velocidades, pode-se observar que as regiões com menor presença de vetores são as regiões menos ventiladas. Nas imagens que apresentam as isofaixas de velocidade, estas áreas estão representadas nas Figuras 13c, 14c e 15c, em azul escuro e aquelas com presença de valores mais altos de velocidade estão representadas em tons de vermelho. Assim, na Figura 13c o azul intenso presente no interior do "U" indica a ausência de vento.

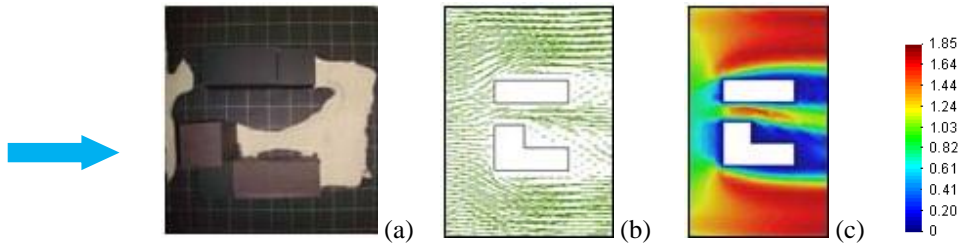


Figura 15. Resultados dos experimentos com os blocos compactos: técnica do arrasto de areia (a) e simulação computacional, com o campo de velocidades (b) e as isofaixas de velocidade (c).

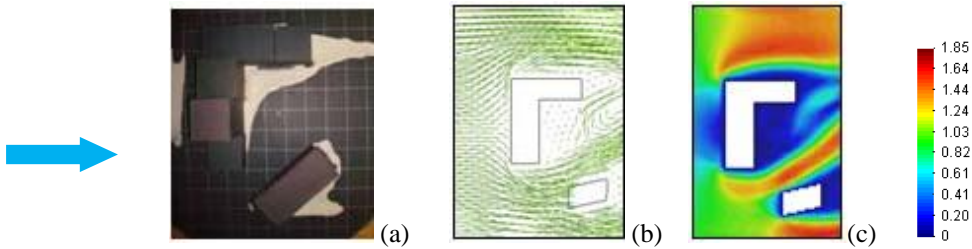


Figura 16. Resultados dos experimentos com os blocos compactos: técnica do arrasto de areia (a) e simulação computacional, com o campo de velocidades (b) e as isofaixas de velocidade (c).

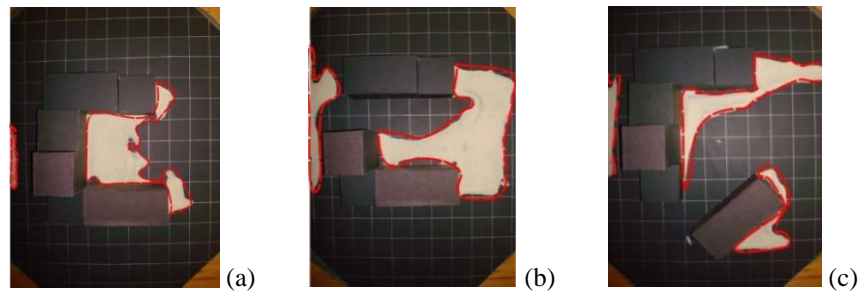


Figura 17. Resultados dos experimentos com os blocos compactos: técnica do arrasto de areia, onde as regiões menos ventiladas aparecem contornadas.

4.2 Maquete Urbana

Os resultados obtidos com a maquete urbana do Largo do Machado também permitiram a observação dos caminhos do vento e diferenciar as regiões em mais e menos ventiladas. A Figura 17a traz a maquete coberta pela fina camada de areia e a Figura 17b apresenta o resultado com a areia restante ao final do experimento.



Figura 17. Maquete coberta com fina camada de areia (a) e resultados do experimento com a areia permanecendo nas regiões menos ventiladas.

Na Figura 18 é possível observar os resultados obtidos através das duas técnicas de simulação: a experimental e a computacional. É interessante notar a presença de alguns pontos coincidentes, ou seja, regiões com a presença de areia, que podem ser definidas como pouco ventiladas coincide com regiões, na simulação computacional, onde há pouca presença ou ausência de vetores, indicativo de pouca ventilação. As linhas vermelhas grifam as regiões pouco ventiladas.



Figura 18. Resultados para o Largo do Machado: arrasto de areia (a) e simulação computacional (b).

Em estudos anteriores, Vasconcellos (VASCONCELLOS, 2008) observou que apesar de estar localizada em uma área densamente urbanizada o Largo do Machado permanece proporcionando conforto ambiental satisfatório e, é uma praça bastante freqüentada pela população local e por pessoas que por ela circulam ao longo do dia. Esta observação da autora é condizente com os resultados aqui encontrados com ambas as técnicas de simulação. Grande parte da praça aparece nos resultados com ventilação suficiente para eliminar grande parte da areia e com uma distribuição intensa de vetores. Na Figura 19 os resultados com as isofoixas de velocidade permitem observar as regiões menos ventiladas em azul escuro.

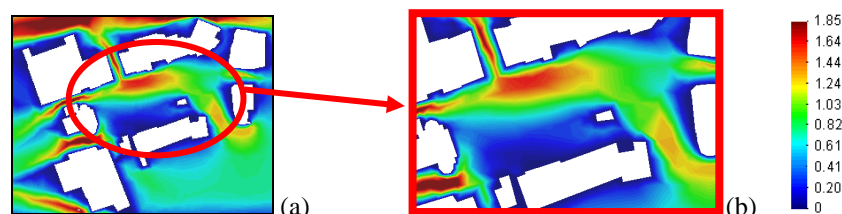


Figura 19. Resultados para o Largo do Machado com isofoixas de velocidade (a) e seu detalhe (b).

5 CONCLUSÕES

A partir das imagens geradas nas simulações, pode-se verificar as zonas ventiladas ou estanques do interior de um conjunto urbano, em função dos ventos dominantes. É possível testar ventos secundários, bastando para tal, girar a mesa de testes do túnel de vento. Isto possibilita estudar os melhores arranjos dos conjuntos, para diferentes épocas do ano e horários, bem como, sugerir a

inserção ou retirada de obstáculos de acordo com a necessidade de ventilar mais ou menos uma determinada região. Estas escolhas podem admitir o incremento do conforto ambiental e da qualidade do ar respirado.

Os experimentos apresentados permitiram observar o campo de vento e a identificar as áreas mais ou menos ventiladas no conjunto de blocos e na praça. Outros experimentos estão em andamento e os resultados aqui apresentados estão sendo selecionados para a elaboração de uma documentação que auxilie arquitetos e urbanistas a compreender os caminhos do vento para a análise e o projeto dos espaços externos, visando ao conforto ambiental, minimizando os erros e reduzindo gastos com material e trabalho, por permitir simular situações em diferentes modelos antes da implementação do projeto.

A observação destes efeitos traz, ainda, uma grande contribuição no aprendizado das mais diversas disciplinas dos cursos relacionados à construção de espaços, uma vez que permite a identificação imediata dos caminhos percorridos pelo vento e do nível de interferência que podem representar, até mesmo simples obstáculos, nos mais diversos espaços. No caso de países de clima quente é importante trabalhar na formação de profissionais capazes de reconhecer a importância de ventilar e a necessidade de efetuar escolhas que permitam obter níveis razoáveis de conforto ambiental. Para trabalhar em arquitetura e urbanismo bioclimáticos essas medidas passivas auxiliam na redução do consumo de energia e da produção de poluição.

6 REFERÊNCIAS

CARVALHO, H. J. M. **Metodologia para a análise das interações entre a forma urbana e o clima: aplicação a uma cidade brasileira de clima litorâneo com baixa latitude**. 2006. Programa de Pós-graduação em Urbanismo - PROURB/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

CORBELLA, O. D.; LOREDO-SOUZA, A. M.; PALUCH, M. J. Apresentação do Túnel de Vento da FAU/UFRJ. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E V ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC/ENLACAC, 2007. v.1. p. 1-1.

DRACH, P. R. C. **Computational Modelling and Numerical Simulation in Architecture Aiming at Comfort of Building Environments**. 2007. 286 f. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional) – Laboratório Nacional de Computação Científica – LNCC/MCT, Rio de Janeiro, 2007.

DRACH, P. R. C.; VASCONCELLOS, V. M. N.; CORBELLA, O. D. A study of ventilation in the urban space around Largo do Machado: a Square in Rio de Janeiro City - Brazil. In: 1er CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CIUDADES SUSTENTABLES, 2009, Morelia, Michoacán, **Proceedings...** Michoacán: 2009. 5p. Cópia magnética (CD).

FRANCA, L. P.; FREY, S. L. Stabilized finite element methods: II. The incompressible Navier-Stokes equations. **Computer Methods in Applied Mechanics Engineering**, n. 99. p. 209-233, 1992.

HUGHES T. J. R. **The Finite Element Method: Linear static and dynamic finite element analysis**. Prentice Hall, 1987.

LOREDO-SOUZA, A. M.; PALUCH, M. J. **Projeto do Túnel de Vento FAU – UFRJ**. Porto Alegre: Laboratório de Aerodinâmica das Construções – LAC - DECIV/PPGEC – UFRGS, 2005.

VASCONCELLOS, V. M. N. de. **O entorno construído e o microclima de praças em cidades de clima tropical quente e úmido. Uma contribuição metodológica para o projeto bioclimático**. 2006. Tese (Doutorado em Arquitetura). Programa de Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Patricia R C Drach agradece também à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ.