

A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos

The influence of wind-catchers on natural ventilation of popular housing schemes located in warm humid climates

Denise Gonçalves Ferreira Lôbo
Leonardo Salazar Bittencourt

Resumo

Grande parte do território brasileiro é coberta por regiões de clima quente e úmido. Nessas regiões, a ventilação natural, associada à proteção solar, constitui o meio mais eficiente de se obter conforto térmico por vias passivas. Uma das estratégias existentes para incrementar a ventilação natural em edificações é o uso de captadores de vento, que consistem em dispositivos localizados acima do nível da cobertura, visando incrementar a ventilação natural no interior dos edifícios. Esta estratégia já vem sendo empregada com sucesso há bastante tempo em edificações localizadas em regiões de clima quente e seco da África e Oriente Médio. Através do estudo de unidades habitacionais de dois conjuntos residenciais localizados em Maceió/AL, este trabalho investiga o potencial do uso de captadores de vento em habitações populares de regiões quentes e úmidas, visando a obtenção de conforto térmico nos ambientes internos. Para isso foram realizadas simulações computacionais utilizando o programa PHOENICS 3.2. Os resultados, apresentados sob a forma de vetores, comprovam que há um grande potencial para o uso desta estratégia em regiões com clima quente e úmido.

Palavras-chave: conforto térmico, ventilação natural, captadores de vento.

Abstract

Warm humid regions cover great part of the Brazilian territory. In those regions, natural ventilation associated to solar protection is the most efficient building design strategy to reach thermal comfort by passive means. One of the strategies to increase natural ventilation in buildings is the use of wind-catchers, which consist of shafts with openings located above the roof, designed to improve air circulation inside the buildings. This strategy has successfully been used for a long time in buildings located in warm dry regions of Africa and the Middle East. This paper examines the cooling potential of wind-catchers in two housing schemes located in Maceió, in the State of Alagoas, through the increase of air movement inside buildings to reach thermal comfort. The research was carried out by simulations using the computational fluids dynamics (CFD) software PHOENICS 3.2. The results, presented as vectors, suggest that there is enough scope to use this design strategy in warm humid regions.

Keywords: thermal comfort, natural ventilation, wind-catchers.

Denise G.F. Lôbo

Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Universidade Federal de Alagoas
R. Empresário Carlos Silva Nogueira, 1256, apto 302
Jatiúca, Maceió, AL - BRASIL
CEP 57036-540
Tel./Fax 82 3255850
E-mail: denisegfl@globo.com

Leonardo S. Bittencourt

Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal de Alagoas
Campus A. C. Simões
Tabuleiro dos Martins
Centro de Tecnologia - CTEC
Maceió, AL - BRASIL
CEP 57072-970
Tel. 82 2141285
Fax 82 2141625
E-mail: ls@ctec.ufal.br

Recebido em 23/06/03

Aceito em 03/10/03

Introdução

A população do globo terrestre vem crescendo aceleradamente nas últimas décadas. O avanço da tecnologia e a incorporação de novos equipamentos ao cotidiano dos indivíduos têm provocado um significativo crescimento no uso de energia, aumentando a demanda por usinas geradoras, apesar do elevado custo e impacto produzido no ambiente natural decorrente da implantação das mesmas (OLIVEIRA, 1998). Uma mudança de atitude torna-se necessária. É fundamental desenvolver o uso de recursos renováveis, reduzir o indiscriminado despejo de resíduos no ambiente natural e eliminar o desperdício de energia. Por essas razões, a sustentabilidade tornou-se uma questão de extrema importância no mundo atual (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991).

A questão energética, de forma mais abrangente que os outros segmentos relacionados à sustentabilidade, possui interfaces com todo o conjunto de atividades econômicas e sociais. A diversificação das atividades de produção, distribuição e consumo de bens e serviços requer a utilização de quantidades cada vez maiores de energia, como resultado do crescente desenvolvimento material. Indicadores confiáveis da sustentabilidade do desenvolvimento de uma nação deveriam avaliar a disponibilidade de energia, seu acesso pela população e o nível de sustentabilidade de sua geração (SACHS, 1993).

A opção entre as diversas fontes disponíveis e a decisão sobre a intensidade de sua utilização estão condicionadas por uma série de fatores, tais como: a dotação de recursos naturais renováveis e não-renováveis; a geração de emprego e renda; a destinação alternativa de recursos hídricos para fins energéticos; os níveis de poluição e de mudanças climáticas, locais e em escala global. A opção energética afeta o modelo econômico, a qualidade de vida e o meio ambiente.

A partir da crise de energia da década de 70, o consumo de energia elétrica passou a constituir uma grande preocupação em vários setores da economia, particularmente em relação ao espaço construído. Para superar a crise, a produção de eletricidade precisou crescer muito. Essa alternativa, entretanto, acarreta impactos econômicos e ambientais causados por novas usinas geradoras de energia (OLIVEIRA, 1998). Entre os impactos ambientais, estão as possíveis inundações e deslocamentos de populações (no

caso de hidrelétricas), a poluição e os riscos com a segurança pública (no caso de termelétricas e usinas nucleares). Pelos motivos acima expostos, tem-se buscado cada vez mais uma diminuição do consumo de energia através de uma maior eficiência energética, reduzindo o desperdício e fazendo uso de técnicas passivas para o controle ambiental, aproveitando os recursos climáticos para economizar energia e aumentar o bem-estar da população através do incremento do conforto térmico. Entre os grandes focos de desperdício no espaço construído, encontram-se os materiais de construção e a energia necessária para operar os edifícios. Este trabalho se concentra na redução do desperdício da energia operacional das edificações, que pode ser alcançada através de projetos mais adequados ao meio ambiente onde essas construções se encontram inseridas. A redução do desperdício, além de diminuir os gastos com a manutenção dos edifícios, implica na redução dos pesados investimentos públicos necessários à geração de energia elétrica.

Uma parte significativa do uso de energia em edificações está associada ao condicionamento de ar e à iluminação artificial. Devido ao clima ameno existente em grande parte do território nacional, a construção de edificações adequadas ao clima local pode resultar num consumo de energia substancialmente menor. Cabe salientar que é na fase de projeto da edificação que as decisões mais importantes ligadas ao consumo futuro da mesma são tomadas. A elaboração de projetos que considerem adequadamente o clima da região na qual a edificação está inserida resulta na melhoria da eficiência energética da mesma.

As habitações de caráter popular geralmente apresentam-se bastante deficientes em relação ao conforto térmico dos usuários. Sabe-se que muitos problemas que acarretam o desconforto térmico nos conjuntos habitacionais são resultado das soluções arquitetônicas adotadas, que visam atender a uma política de minimização de custos sem maiores preocupações com o conforto ambiental dos habitantes dessas construções. Entre os principais problemas detectados nos conjuntos habitacionais do litoral Nordeste, está a insuficiente circulação de ar nos ambientes internos, demandando soluções que aumentem a ventilação natural nos mesmos.

Uma das estratégias existentes para incrementar a ventilação natural em edificações pode ser o uso de *captadores de vento*, que consistem em

dispositivos situados acima do nível da cobertura das edificações, podendo funcionar tanto como coletores, quanto como extratores do fluxo de ar, dependendo da configuração dos mesmos e da posição de suas aberturas em relação à direção dos ventos incidentes (CHANDRA, 1989).

Este trabalho investiga o potencial do uso de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em edificações situadas em regiões de clima quente e úmido, através do estudo de caso de dois conjuntos habitacionais de Maceió: Conjunto Salvador Lyra e Conjunto Graciliano Ramos.

Esses dois conjuntos foram escolhidos para análise pelo fato de suas unidades habitacionais possuírem uma distribuição dos ambientes internos bastante diferenciada, possibilitando diferentes situações em relação à implantação dos captadores de vento.

O clima quente e úmido

O clima quente e úmido domina grande parte do Brasil, como é o caso da cidade de Maceió. Nesse clima, as oscilações das temperaturas diárias e sazonais são pequenas e o nível de umidade relativa do ar é bastante alto. A temperatura do ar raramente ultrapassa a temperatura do corpo (GOULART et al., 1997). Também é típica a existência de céu parcialmente nublado, produzindo uma grande quantidade de radiação difusa. Nessas regiões, as edificações devem evitar ganhos de calor externo, enquanto dissipam aquele produzido no seu interior (BAKER, 1987).

Nesse tipo de clima, a ventilação pode ser usada para duas finalidades complementares. A primeira é resfriar o edifício, aquecido pela radiação solar e por ganhos internos de calor (através da ocupação, iluminação artificial, etc.), onde altas taxas de ventilação podem fazer com que a temperatura interna se aproxime da externa. A segunda finalidade da ventilação consiste no resfriamento fisiológico e se refere à evaporação do suor e trocas de calor por convecção, quando as correntes de ar estão em contato com o corpo humano. O resfriamento fisiológico é particularmente importante nas regiões quentes e úmidas, já que o suor é, geralmente, uma importante causa de desconforto.

Nesse clima, a ventilação também tem uma função higiênica de extrema importância, pois as áreas que mais eliminam vapor de água em uma edificação necessitam constantemente da renovação do ar, que deve ser feita mesmo através de baixas taxas de renovação do ar, pois, caso contrário, a umidade relativa do ar ficará muito

alta, causando condensação nos fechamentos, provocando, dessa maneira, a destruição de pinturas e outros materiais e propiciando a proliferação de microorganismos nocivos à saúde. Entretanto, a mais importante função atribuída à ventilação natural é a de acelerar as trocas de calor do indivíduo com o meio ambiente (DREYFUS, 1960).

O clima em Maceió

A cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas, está localizada na latitude 9°45' ao sul da linha do Equador, às margens do oceano Atlântico, sendo margeada ainda pela Lagoa Mundaú, integrante do complexo lagunar Mundaú-Manguaba. A proximidade de grandes massas d'água é responsável pelos altos índices de umidade relativa do ar verificados na região. Esse índice de umidade relativa é de 81% em média, sendo freqüente a saturação do ar nos meses frios.

A temperatura média anual é de 25,1°C e a amplitude anual é 3,2°C. O mês mais quente é fevereiro, onde a média das máximas é 31,3°C e a média das mínimas é de 22,7°C, produzindo uma amplitude diária de 8,6°C. O mês mais frio é julho, com uma amplitude diária de 8,2°C, onde a média das mínimas é 19,8°C e a média das máximas é 28°C. As maiores variações no clima dizem respeito à incidência de chuvas e à umidade relativa, mais alta no inverno. Quanto aos demais elementos, a variação é pouco significativa.

A direção sudeste é a que apresenta a maior freqüência, porém as máximas velocidades são registradas na direção nordeste (LOUREIRO et al., 1986). A Figura 1 mostra a freqüência e direção dos ventos em quatro períodos do dia: madrugada, manhã, tarde e noite, na cidade de Recife. Os diferentes períodos do dia foram analisados, considerando-se os dados horários em torno da hora central apresentada na Figura 1. Como não existem dados suficientes para Maceió, foram considerados aqueles relativos a Recife, que, por sua proximidade (270 km), foram considerados como válidos para os fins desse trabalho.

A Figura 2 apresenta os dados médios da velocidade do vento nos doze meses do ano, nos quatro períodos considerados. Na elaboração da média de cada mês, foram excluídos os períodos de calmaria, já apresentados na Figura 1, uma vez que aqui o interesse é examinar o desempenho dos captadores na presença de ventos, desconsiderando-se a ventilação por efeito chaminé.

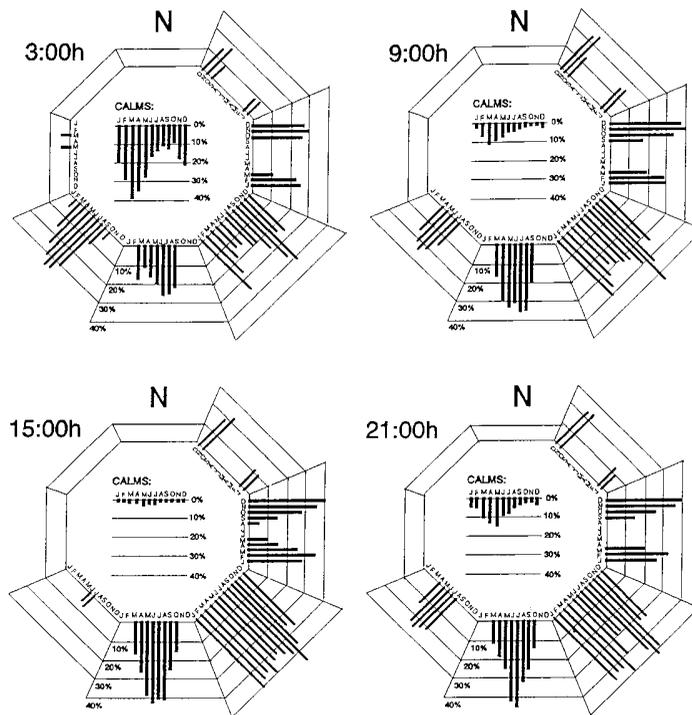


Figura 1 - Direção e freqüência dos ventos em quatro diferentes períodos do dia

É interessante observar que a velocidade do ar é maior nos períodos mais quentes do dia, favorecendo a adoção da ventilação como estratégia bioclimática na região.

Ventilação e conforto em climas quentes e úmidos

A ventilação diminui a temperatura efetiva, atuando na evaporação do suor e acelerando as trocas de calor por convecção entre o fluxo de ar e o corpo (GIVONI, 1994). Com ventos de baixa velocidade, a temperatura radiante e a temperatura do ar produzem efeitos semelhantes na sensação de conforto térmico; mas, com ventos de alta velocidade, a temperatura do ar domina a percepção de conforto (CLARK, 1989).

A velocidade do vento aceitável em interiores varia de 0.5 a 2.0 m/s (BOUTET, 1991). Este limite é baseado em problemas práticos, como desordem de papéis sobre mesas, por exemplo, ao invés de ser baseado em exigências de conforto. Em regiões de clima quente e úmido, é provável que o poder de resfriamento da ventilação com

velocidades maiores possa compensar essas desvantagens.

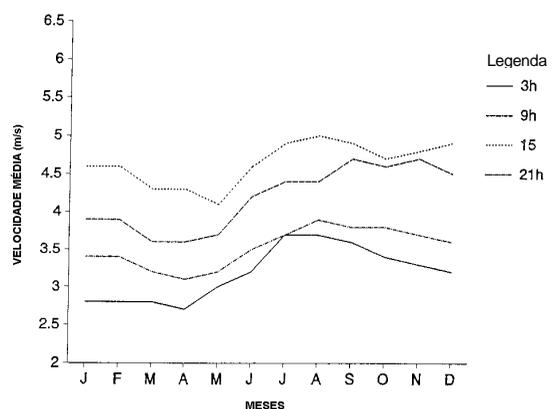


Figura 2 - Velocidade média do vento ao longo do ano, em quatro períodos do dia

Os benefícios da ventilação parecem ser independentes da direção do vento em relação ao corpo, porém a turbulência do vento foi reconhecida, há algum tempo, como uma importante variável do conforto (HANZAWA et al., 1987). Também a existência de uma ventilação turbulenta e de qualidade variável dentro das

edificações pode aumentar as trocas de calor por convecção, e é concebível que isto também possa afetar a sensação de conforto humana (FANGER; CHRISTENSEN, 1986).

A importância da ventilação natural se acentua nas edificações que não têm a possibilidade de utilizar equipamentos mecânicos de climatização para a obtenção de conforto térmico, como é o caso das “habitações populares”, que dependem basicamente de um bom projeto bioclimático.

Os captadores de vento

Uma das estratégias existentes para incrementar a ventilação natural em edificações é o uso de *captadores de vento*, que consistem em dispositivos na forma de dutos verticais que possuem aberturas situadas acima do nível da cobertura das edificações, podendo funcionar tanto como entrada (coletores), quanto como saída do fluxo de ar (extratores), dependendo da configuração dos mesmos e da edificação em relação à direção do fluxo de ar.

Os captadores de vento já vêm sendo empregados há bastante tempo em edificações de regiões de clima quente, como partes da África e do Oriente Médio, com bastante sucesso (LECHNER, 1991), pois, acima da cobertura, o vento tem velocidade maior que a encontrada no nível do solo. A Figura 3 mostra captadores de vento encontrados em Yzad, no Irã, numa foto de autoria do doutorando Rajat, da Universidade Oxford Brookes, na Inglaterra.

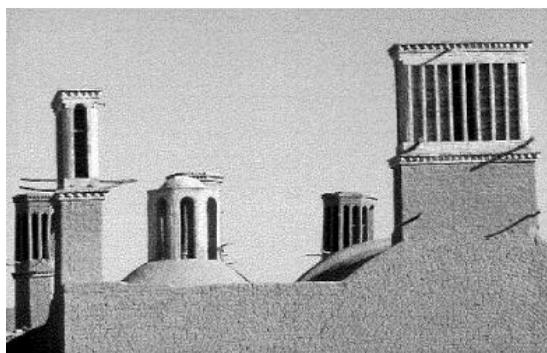


Figura 3 - Captadores de vento em Yzad, Irã¹

Os captadores de vento também são eficientes na redução da areia e poeira tão frequentes nos períodos secos, pois o fluxo de ar captado acima da cobertura contém menos material sólido do que aquele no nível da superfície. A exemplo do que ocorre na província de Sind, no Paquistão, o uso de

captadores de vento se apresenta como engenhosa alternativa para assentamentos urbanos que apresentem alta densidade construtiva (FATHY, 1986). Nestes ambientes, a velocidade do vento tende a ser muito baixa na altura das janelas dos edifícios, em função da ausência de espaços adequados para a circulação do vento no interior da malha urbana. Como nas regiões quentes e úmidas o conforto térmico depende, em elevado grau, do adequado aproveitamento da ventilação natural, os captadores de vento localizados acima das cobertas dos edifícios se apresentam como interessante solução, uma vez que captam o vento em local onde a velocidade do vento é maior (devido à maior altura) e onde a densidade das obstruções à circulação do vento é menor (CHANDRA, 1989).

A eficácia dos captadores de vento foi examinada, visando explorar o potencial desses componentes para melhorar a ventilação no interior das edificações, mostrando que os mesmos podem ser incorporados em edificações modernas de maneira eficiente e esteticamente adequada (BAHADORI, 1981; BOWEN, 1981).

Apesar das características do nosso clima apontarem o aproveitamento da ventilação natural como um dos instrumentos mais eficientes na obtenção de conforto térmico, percebe-se que, no Brasil, a estratégia dos captadores de vento não é empregada, provavelmente devido ao pouco conhecimento científico dessa estratégia por parte dos projetistas.

É interessante notar que, embora muitas construções do Nordeste brasileiro possuam caixas d'água elevadas (a fim de obter boa pressão nas torneiras), não se observa nenhuma tentativa no sentido de associar as torres desses reservatórios a captadores de vento, que poderiam ser incorporados a custos reduzidos (Figuras 4 e 5).



Figura 4 - Torres de caixas d'água existentes em muitas residências do Nordeste brasileiro

¹ foto tirada por Rajat em 2002

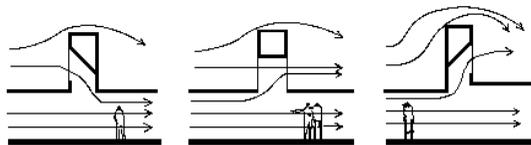


Figura 5 - Captadores de vento adaptados às torres de caixas d'água (BITTENCOURT, 1993)

Metodologia

Apesar da importância do tema, a literatura sobre ventilação natural é escassa e, muitas vezes, baseada em estudos realizados em túneis de vento da Inglaterra (KOENIGSBERGER et al., 1977), França (GANDEMER, 1992) e dos Estados Unidos (OLGYAY, 1963; EVANS, 1980; GIVONI, 1976). Esses estudos se apresentam como importantes contribuições ao conhecimento da ventilação no interior das edificações, do ponto de vista da velocidade média do vento em determinados pontos escolhidos para as medições. Entretanto, no que se refere à distribuição do fluxo de ar nos espaços interiores, os registros eram feitos através de filmes e fotos de filetes de fumaça colocados no interior dos modelos testados. Desse modo, não se obtinha, em um único conjunto gráfico, as informações relativas à velocidade e padrão de distribuição do vento. Os mais recentes avanços da informática viabilizaram o uso de programas baseados na Mecânica dos Fluidos Computacional (*Computer Fluid Dynamics-CFD*). Esses programas ficaram conhecidos como CFD e permitem a simulação de problemas relacionados à ventilação nas edificações e em conjuntos urbanos. Esta técnica, uma das mais avançadas no estudo de problemas ligados à ventilação, foi utilizada para o desenvolvimento das investigações neste trabalho.

Com o desenvolvimento dos programas CFD, parte das pesquisas em dinâmica dos fluidos passou a ser realizada fazendo uso de computadores de grande porte. O avanço dos equipamentos de computação permitiu que esses programas passassem a ser produzidos em versões para computadores pessoais. Esses programas, hoje largamente validados através de comparações dos resultados simulados com resultados medidos em situações reais, permitem maior flexibilidade e rapidez nos estudos sobre ventilação (ALAMDARI, 1991).

Neste trabalho foram realizadas simulações tridimensionais utilizando o programa computacional PHOENICS 3.2, baseado na CFD, desenvolvido de modo a tornar mais simples a análise e cálculo de questões relativas à Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor. Tal

programa faz uso do método dos elementos finitos na construção dos modelos e dos métodos numéricos para resolver as equações fundamentais da Dinâmica dos Fluidos.

Pode-se identificar quatro módulos básicos no programa. O primeiro, chamado *Satellite*, trata da construção do modelo, incluindo a configuração geométrica do edifício, o tipo de análise que será executada (estado permanente ou transitório), as propriedades físicas do fluido que será estudado (no caso da ventilação, o ar), as entradas de ar, aberturas e os obstáculos, além das demais variáveis.

Algumas dessas variáveis, tais como o modelo de turbulência, o método utilizado na simulação e o fator de relaxamento, são bastante complexas e exigem um certo conhecimento na área de Mecânica dos Fluidos, sem o qual o usuário poderá fazer com que as simulações ocorram em mais tempo do que deveriam, ou até mesmo que sejam gerados resultados errados.

Esses dados geram arquivos que são utilizados no segundo módulo, conhecido como *Earth*, onde são realizados os cálculos relativos ao fluxo do fluido e transferência de calor. Nesta fase, enquanto os cálculos são realizados, o usuário pode observar a evolução dos erros residuais e do processo de convergência, que podem ser interrompidos a qualquer momento, se assim o usuário desejar.

O terceiro e quarto módulos, *Photon* e *Phoenix-VR*, correspondem a interfaces para apresentar graficamente os valores resultantes do processo de cálculo, através de vetores, propiciando a visualização da direção e intensidade (velocidade) do fluxo de ar nos diversos pontos dos modelos estudados, fato que não ocorre nos métodos tradicionais que usam o túnel de vento como instrumento de investigação.

Dessa maneira, pôde-se analisar a influência dos captadores de vento em edificações do ponto de vista da circulação do ar no interior das habitações estudadas, através de simulações no referido programa computacional.

Definição dos modelos

Os modelos estudados são compostos por duas tipologias construtivas, representando as unidades residenciais dos conjuntos analisados. Esses modelos foram simulados com suas configurações originais (sem captador de vento) e também com a incorporação de aberturas nas torres de caixa d'água, a fim de transformá-las em captadores (ou extratores) do vento.

Foram considerados dois ângulos de incidência do vento em relação às aberturas implantadas nas torres de caixa d'água:

- (a) incidência perpendicular à abertura implantada (0° em relação à normal da abertura);
- (b) incidência de 180° em relação à normal da abertura implantada.

No primeiro caso, as torres funcionam como coletores do vento incidente. No segundo caso, as aberturas funcionam com extratoras de ar, resultando num total de oito modelos computacionais.

A velocidade do vento adotada nas simulações foi calculada de forma a considerar os efeitos produzidos no gradiente do vento devido à rugosidade típica de uma área urbana, a partir dos dados meteorológicos medidos a 10 m de altura e apresentados na Figura 2, conforme sugerido pelo Building Research Establishment (1979). Uma vez considerada a redução proporcionada pelo entorno urbano, característico dos locais onde se encontram implantados os conjuntos habitacionais examinados, esse perfil da velocidade do vento foi adotado, desconsiderando-se a existência de outras obstruções a barlavento ou sotavento.

A Figura 6 mostra os modelos correspondentes às unidades habitacionais dos conjuntos Salvador Lyra e Graciliano Ramos, respectivamente, nos quais foram consideradas as configurações originais das edificações, sem captadores nas torres de caixas d'água, como também com a incorporação de captadores às respectivas torres.

Resultados e discussão

Os modelos simulados foram construídos em três dimensões, apesar dos resultados estarem apresentados em planos bidimensionais horizontais (plantas) e verticais (cortes) dos edifícios, para facilitar a visualização dos mesmos.

Nas figuras subsequentes, esses planos bidimensionais mostram os resultados no interior e regiões próximas às construções examinadas, embora os modelos simulados apresentem áreas externas livres, situadas tanto a barlavento como a sotavento das edificações, a fim de proporcionar um adequado escoamento do fluxo em torno das edificações estudadas. Nas duas laterais das construções, foram estabelecidos eixos de simetria, que consideram a existência de unidades habitacionais em ambos os lados do modelo estudado.

Os resultados das simulações são apresentados em forma de vetores, que indicam a direção e intensidade do fluxo de ar, permitindo uma boa avaliação das alterações ocorridas no padrão de ventilação entre os modelos simulados, assim como dos incrementos produzidos na velocidade do ar em diversas partes do interior das edificações estudadas. Os vetores representados em planta correspondem ao plano horizontal localizado a um metro de altura acima do piso das construções.

Para visualização da velocidade do ar (representada pela dimensão dos vetores) em determinados pontos dos planos bidimensionais,

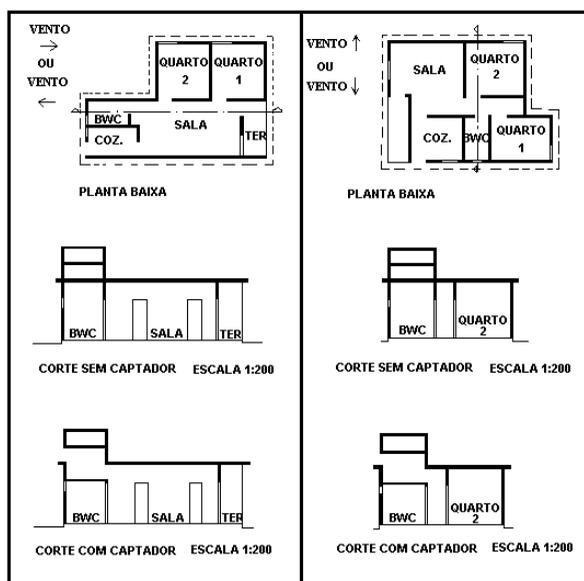


Figura 6 - Planta baixa e cortes das unidades habitacionais dos conjuntos Salvador Lyra e Graciliano Ramos, respectivamente

deve-se tomar como base o vetor de referência mostrado na parte inferior esquerda de cada figura, que, neste caso, corresponde à velocidade de 8 m/s.

Vale salientar, ainda, que os modelos simulados apresentam porosidade total de suas aberturas, ou seja, as portas e janelas encontram-se completamente abertas, mostrando sempre as melhores condições possíveis para a circulação do ar.

Considerou-se, ainda, para efeito de análise, que a velocidade mínima do ar para obtenção de conforto térmico nos meses de verão de Maceió é de 0,6 m/s para atividades sedentárias e roupas leves. Este valor foi obtido através da plotagem dos dados climáticos de Maceió no diagrama sugerido por Szokolay (1985).

Conjunto Residencial Salvador Lyra

O desempenho da ventilação natural na residência original está apresentado nas Figuras 7 e 8.

As modificações implementadas nas torres de caixa d'água para transformá-las em captadores de vento conseguiram dobrar a velocidade média do ar na sala da residência e produziram um aumento de 20% e 25% nos quartos 1 e 2, respectivamente, quando o vento incide perpendicularmente à abertura dos captadores (Figuras 9 e 10). Além do aumento da velocidade do ar, também foram observadas melhorias em relação ao padrão de distribuição do fluxo, diminuindo as áreas de estagnação de ar, como a que ocorria no centro da sala do modelo com configuração original (sem captador de vento). Isto beneficia, além do conforto térmico, a higienização dos ambientes, pois remove o ar saturado e os microorganismos nocivos à saúde através de uma renovação do ar mais eficiente.

Analisando quantitativamente os resultados dos modelos 1 e 2 (Figuras 7 e 9) em planta, observou-se que, na sala, a área considerada confortável (com velocidades de vento superiores a 0,6 m/s, conforme citado anteriormente), que antes, com configuração original, abrangia 70% da mesma, passou a corresponder a 95% após a adaptação do captador à torre de caixa d'água. Em relação aos quartos, também foram verificadas melhorias expressivas: no quarto 1, a área de conforto passou de 15% para 30% e, no quarto 2, cresceu de 15% para 50%.

Quando as unidades residenciais são rebatidas e, portanto, o vento incide na direção oposta, a

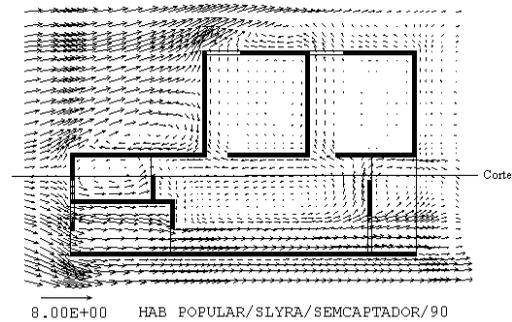


Figura 7 - Planta da unidade habitacional do conjunto Salvador Lyra, com configuração original e vento a 0°

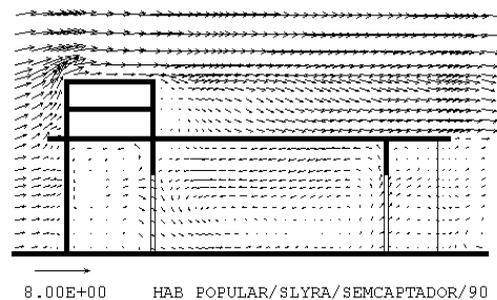


Figura 8 - Corte da unidade habitacional do conjunto Salvador Lyra, com configuração original e vento a 0°

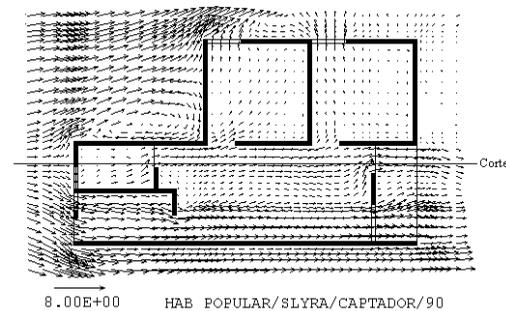


Figura 9 - Planta da unidade habitacional do conjunto Salvador Lyra, com captador de vento a 0°

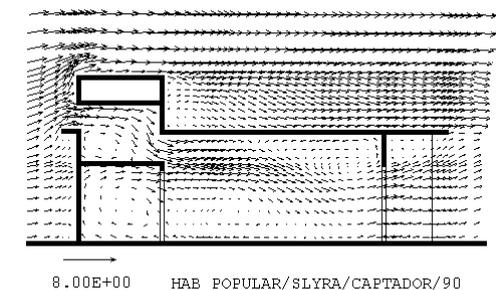


Figura 10 - Corte da unidade habitacional do conjunto Salvador Lyra, com captador de vento a 0°

abertura introduzida na caixa d'água funciona como extrator de ar, uma vez que as mesmas ficam orientadas a sotavento. Nesses casos, o aumento da velocidade média na sala permanece o mesmo, mas cai para 15% nos dois quartos, em comparação à configuração original. Isso ocorre devido ao posicionamento das janelas e portas, que não favorece uma distribuição uniforme do fluxo de ar no interior dos quartos, pois proporciona uma diferença de pressão pequena, fazendo com que o vento tenha velocidades menores.

Conjunto Residencial Graciliano Ramos

O desempenho da ventilação na configuração original das casas desse conjunto é muito pobre, apresentando baixas velocidades e uma distribuição do fluxo que produz várias zonas de estagnação do ar no interior dos ambientes, provocadas pela localização das aberturas em relação aos ventos incidentes, mostradas nas Figuras 11 e 12.

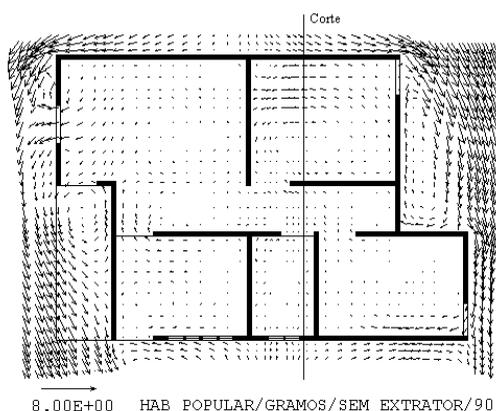


Figura 11 - Planta da unidade habitacional do conjunto Graciliano Ramos, com configuração original e vento a 180°

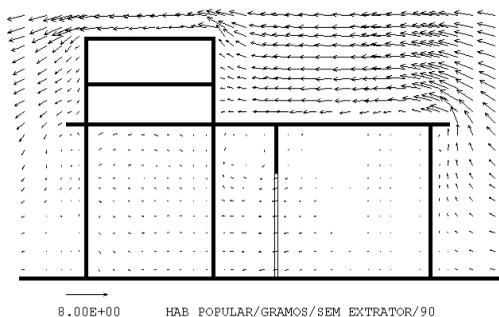


Figura 12 - Corte da unidade habitacional do conjunto Graciliano Ramos, com configuração original e vento a 180°

A implantação dos captadores nessas construções produziu um aumento na velocidade média do ar na sala da ordem de 90%, de 20% no quarto 1 e 30% no quarto 2. Produziu também uma significativa melhoria na distribuição do fluxo de ar, particularmente na sala e no quarto 1. Quanto à distribuição do fluxo de ar, verificou-se que, na sala, a área dentro da zona de conforto, que correspondia a 50% da mesma, aumentou para 75%. No quarto 1, a área confortável passou de 15% para 75% do mesmo, já no quarto 2, essa área aumentou de 25% para 35% deste ambiente.

Quando as unidades residenciais do conjunto são rebatidas em relação aos ventos dominantes, as aberturas dos captadores funcionam como extratoras do ar interior. Nesse caso, o desempenho da edificação em relação à ventilação natural é pobre, tanto do ponto de vista da velocidade média como da distribuição do fluxo de ar, conforme as Figuras 13 e 14, ocorrendo ainda algumas áreas de estagnação.

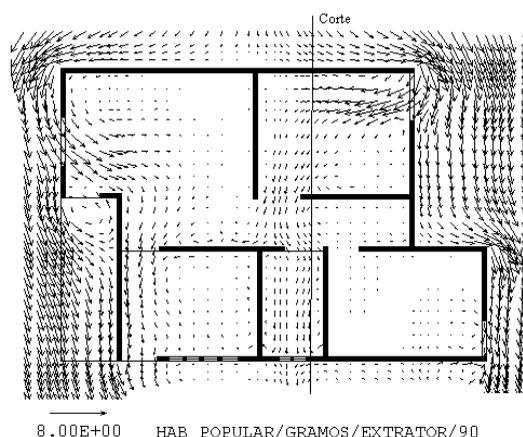


Figura 13 - Planta da unidade habitacional do conjunto Graciliano Ramos, com captador de vento a 180°

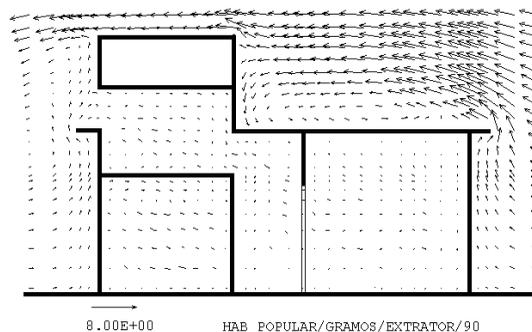


Figura 14 - Corte da unidade habitacional do conjunto Graciliano Ramos, com captador de vento a 180°

Localização	Modelo	Captador	Sentido do vento	Incremento na sala	Incremento no quarto 1	Incremento no quarto 2
Conjunto Salvador Lyra	Modelo 1	Sem captador	Barlavento	-	-	-
	Modelo 2	Com captador	Barlavento	100%	20%	25%
	Modelo 3	Sem captador	Sotavento	-	-	-
	Modelo 4	Com captador	Sotavento	100%	15%	15%
Conjunto Graciliano Ramos	Modelo 5	Sem captador	Barlavento	-	-	-
	Modelo 6	Com captador	Barlavento	20%	90%	30%
	Modelo 7	Sem captador	Sotavento	-	-	-
	Modelo 8	Com captador	Sotavento	30%	0%	30%

Tabela 1 - Resumo dos resultados das simulações, mostrando o incremento de ventilação natural média em relação à configuração original das unidades habitacionais (sem captador de vento)

Analisando os resultados apresentados, constata-se que há uma melhora considerável do padrão de distribuição do fluxo de ar no interior das habitações que possuem captador de vento nos dois conjuntos investigados. A velocidade do ar aumenta em todos os ambientes da edificação, principalmente nas salas e quartos, o que é bastante desejável por serem estes locais de maior permanência.

A implantação dos captadores promoveu uma melhoria da ventilação natural mais significativa no Conjunto Residencial Salvador Lyra do que no Conjunto Residencial Graciliano Ramos, onde o incremento foi menos expressivo. A melhor localização das janelas em relação aos ventos dominantes, verificada no primeiro conjunto, favorece a circulação do ar no interior das unidades residenciais. A ventilação nas edificações do Conjunto Graciliano Ramos poderia ser melhorada com modificações simples nas posições de suas janelas.

Os resultados demonstram que, nos modelos investigados, os captadores apresentaram melhor desempenho quando utilizados como insufladores de ar do que quando funcionaram como extratores.

Conclusão

O trabalho examinou o potencial de melhoria do desempenho térmico de habitações populares localizadas no litoral nordestino do Brasil, através do incremento da ventilação natural proporcionado pela implantação de captadores de vento nas mesmas.

Verificou-se que o uso de captadores de vento, posicionados adequadamente em relação aos ventos dominantes, pode gerar um aumento significativo da ventilação natural em edificações de climas quentes e úmidos, chegando a dobrar a velocidade média do fluxo de ar em alguns ambientes, acelerando, assim, as trocas de calor

entre o ar e o corpo humano. Esses benefícios são alcançados sem custos adicionais importantes, uma vez que os referidos captadores se constituem em adaptações às torres de caixas d'água já existentes nas edificações examinadas. Melhores resultados poderão ser obtidos em projetos arquitetônicos que considerem a implantação desses dispositivos, em conjunto com as demais aberturas, de forma a explorar ao máximo o potencial dos mesmos para promover uma adequada ventilação nos espaços projetados.

A aplicação prática dos captadores de vento deverá considerar outros aspectos não tratados neste estudo, tais como a incidência de chuvas e poeira, bem como a redução no fluxo de ar proporcionada por diferentes elementos de fechamento das aberturas dos captadores (janelas, grades, cobogós, etc.).

Referências

- ALAMDARI, F. Thermo-fluid analysis in the built environment: expectations and limitations. In: INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS SEMINAR, 1991, London. **Computational fluid dynamics for the environment and services engineer: tool or toy?:** proceedings. London: Mechanical Engineers, 1991.
- BAHADORI, M.N. Pressure Coefficients to Evaluate Air Flow Pattern in Wind Towers. In: INTERNATIONAL PASSIVE AND HYBRID COOLING CONFERENCE, 1981, Newark. **Proceedings...** Newark: American Section of ISES, 1981.
- BAKER, N. **Passive and low energy building design for tropical island climates.** London: Commonwealth Science Council, 1987.
- BITTENCOURT, L.S. **Ventilation as a cooling resource for warm humid climates:** an

- investigation on the influence of geometric aspects of perforated block walls to improve ventilation inside low-rise buildings. London: Architectural Association Graduate School/Environment and Energy Studies Programme, 1993.
- BOUTET, T.S. **Controlling air movement**: a manual for architects and builders. New York: MacGraw-Hill, 1991.
- BOWEN, A. **Classification of Air Motion Systems and Patterns**. In: INTERNATIONAL PASSIVE AND HYBRID COOLING CONFERENCE, 1981, Newark. **Proceedings...** Newark: American Section of ISES, 1981.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Thermal, visual and acoustic requirements in buildings**. Garston: BRE Digest 226, 1979.
- CHANDRA, S. Ventilative cooling. In: COOK, J. (Ed.) **Passive cooling**. Cambridge: MIT, 1989.
- CLARK, G. Passive cooling systems. In: COOK, J. (Ed.) **Passive cooling**. Cambridge: MIT, 1989.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- DREYFUS, J. **Le Confort dans l'Habitat Tropical**. Paris: Eyrolles, 1960.
- EVANS, J. M. **Housing climate and comfort**. London: Architectural, 1980.
- FANGER, P.O.; CHRISTENSEN, N. K. Perception of draught in ventilated spaces. **Ergonomics**, Basingstoke, v. 29, n. 2, p. 215-235, 1986.
- FATHY, H. **Natural energy and vernacular architecture**: principles and examples with reference to hot arid climates. Chicago: The University of Chicago, 1986.
- GANDEMER, J. et al. **Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide**. Nantes: CSTB, 1992.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Applied Science Publishers, 1976.
- _____. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- GOULART, S.V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: UFSC, 1997.
- HANZAWA, H.; MELIKOW, A.K.; FANGER, P.O. Air flow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces. In: ASHRAE Trans. New York, 1987. v. 93, Chapter 1.
- KOENIGSBERGER, O.; INGERSOL, T.G.; MAYHEW, A.; SKOKOLAY, S. Climatic Design. In _____. **Manual of Tropical Housing**. London: Longman Group, 1977.
- LECHNER, N. **Heating, Cooling, Lighting**: Design Methods for Architects. New York: John Wiley, 1991.
- LOUREIRO, C. et al. **Sistematização de dados climatológicos do Recife**. Recife: SUDENE/UFPE, 1986.
- OLGYAY, V. **Design with climate**. Princeton: University Press, 1963.
- OLIVEIRA, A. (Coord.) **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1998.
- SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel, 1993.
- SZOKOLAY, S.V. Passive and low energy design for thermal and visual comfort. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ECHOTECHNIQUES APPLIED TO HOUSING (PLEA), 1984, Mexico. **Proceedings...** Oxford: S. Yannas, 1985.