

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ADENSAMENTO URBANO E CONDIÇÕES AMBIENTAIS INTERNAS: A INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA SOBRE A RADIAÇÃO SOLAR E O VENTO PARA O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO¹

LEITE, Renan C. V. (1); FROTA, Anésia B. (2)

(1) UNIFOR, e-mail: renancid@bol.com.br; (2) FAUUSP, e-mail: arfrota@uol.com.br

RESUMO

A manutenção de condições ambientais adequadas no espaço construído é, em grande parte, determinada pelas prescrições edilícias. A limitação ou permissividade construtiva de planos diretores e códigos de obra impõem formas ao tecido urbano, alterando a permeabilidade ao vento e a maior ou menor incidência solar, constituindo o objeto desta pesquisa. Tais aspectos têm reflexos diretos sobre a envoltória de edifícios, questionando-se, portanto, sua influência combinada sobre o desempenho termoenergético de edificações. Objetivou-se comprovar a hipótese de que o maior adensamento urbano através da verticalização é compatível com o conforto térmico em edifícios residenciais naturalmente ventilados durante a maior parte do ano. Partiu-se da avaliação da ventilação urbana em quatro níveis de adensamento construtivo através de CFD, que forneceu dados para simulação do comportamento dos fluxos e renovação do ar em edifício modelo. Avaliou-se o total de horas dentro da zona de conforto segundo o modelo adaptativo da ASHRAE (2004). Em alguns casos, cenários mais verticalizados apresentaram maiores quantidades de horas em conforto mesmo com vazões de ar 40% mais baixas. Desde que mantidas condições para ventilação e resfriamento dos ocupantes, é possível compatibilizar maiores níveis de densidade e condições ambientais satisfatórias em edifícios residenciais.

Palavras-chave: Adensamento urbano. Condições ambientais. Ventilação natural.

ABSTRACT

Maintaining appropriate environmental conditions within the built environment is mainly determined by constructive prescriptions. The limitation or building permissiveness of urban master plans and building codes impose forms to the urban fabric, modifying wind permeability and higher or lower solar incidence, which constitutes the object of this research. These aspects directly affect the building's envelope, questioning its combined influence on building's thermal and energetic performance. The aim is to prove the hypothesis that higher urban density thru tall buildings is compatible with thermal comfort in free running buildings during most part of the year. The research started evaluating urban natural ventilation in four constructive density levels using a CFD code, which provided data to simulate indoor natural ventilation and airflow rates in a model building. Total hours within the thermal comfort zone based on ASHRAE (2004) adaptive model were analyzed. In some cases, more verticalized scenarios pointed out more hours within the comfort zone even with 40% lower airflow rates. Since natural ventilation conditions and occupants refreshing

¹ LEITE, Renan C. V.; FROTA, Anésia B. Adensamento urbano e condições ambientais internas: a influência da morfologia urbana sobre a radiação solar e o vento para o conforto no ambiente construído. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

possibilities are maintained it is possible to match higher density levels and proper environmental conditions in buildings.

Keywords: *Urban densification. Environmental conditions. Natural ventilation.*

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano constitui desafio na agenda de governos e para o cotidiano dos cidadãos. Sob outro viés, no entanto, a urbanização pode ser um meio para alcançar a sustentabilidade. Ao criar espaços de interação social e efervescência cultural, alivia, também, as pressões do crescimento populacional sobre remanescentes rurais. Uma população mais concentrada significa melhor prestação de serviços ao aproveitar a infraestrutura instalada, reduzindo investimentos, deslocamentos e o consumo energético (UNFPA, 2011).

Diversas correntes do urbanismo contemporâneo são categóricas ao afirmar os benefícios do adensamento urbano. Contudo, a relação entre densidade e conforto térmico em edifícios é um complexo equilíbrio entre parâmetros climáticos locais, organização espacial urbana e características arquitetônicas. Mesmo considerando as vantagens da maior concentração urbana, o adensamento tem efeitos diretos sobre o uso e ocupação do solo, por sua vez, determinantes para a qualidade ambiental de edifícios.

O desempenho térmico, as condições de conforto e o consumo de energia em edifícios são, em grande parte, determinados pelas trocas térmicas que ocorrem entre sua envoltória e o entorno imediato. Na maioria dos casos, esse meio é o contexto urbano, com suas formas, dimensões, materiais e tipologias, responsáveis pelas características físicas, térmicas e aerodinâmicas que definirão a qualidade ambiental em edificações.

Nas grandes cidades, a temperatura tende a ser mais elevada e o comportamento dos fluxos de ar é significativamente alterado. A complexa morfologia dos centros urbanos torna imprevisível o comportamento do vento, impedindo a determinação de quais formas comprometerão ou mesmo incrementarão o movimento do ar. Adicione-se a obstrução provocada pelos edifícios, impedindo a incidência de parcelas da radiação solar sobre suas superfícies.

Atuando em conjunto, tais aspectos têm reflexos diretos sobre a envoltória, seja na dificuldade para ventilar as fachadas ou devido ao sombreamento provocado pelo entorno, cabendo o questionamento da sua influência combinada sobre a performance termo-energética de edificações. A forma urbana adensada através da verticalização, recorrentemente abordada sob o viés dos impactos negativos sobre a ventilação natural, poderia contribuir para a melhoria das condições ambientais internas, sendo necessário avaliar diferentes arranjos espaciais urbanos para determinar sua influência.

1.1 Objetivo

Avaliam-se, através de metodologia empreendida, os efeitos combinados

da obstrução ao sol e aos ventos que inevitavelmente resultam do processo de adensamento urbano na qualidade ambiental de edifícios residenciais.

O método vale-se de simulações computacionais em diferentes escalas de abordagem, em etapas sucessivas e complementares, refinando as análises e fornecendo condições de contorno mais precisas para o estágio seguinte.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Atualmente, tem-se buscado não somente a utilização e o desenvolvimento de fontes de energia renovável, mas também, e principalmente, a diminuição do consumo através do uso de estratégias naturais para condicionamento ambiental com objetivo de produzir ambientes mais sustentáveis, confortáveis e saudáveis para os usuários e energeticamente eficientes em seus contextos.

A despeito de sua influência negativa sobre outras variáveis do conforto ambiental, o adensamento através da verticalização pode influenciar significativamente o desempenho térmico de edificações. Ao reduzir parcelas visíveis de céu e sol devido à presença de obstáculos no entorno imediato, diminui-se, também, a radiação solar incidente e absorvida por suas superfícies do edifício. Os impactos dessa obstrução variam de acordo com a latitude e as necessidades de condicionamento local.

Em clima quente, a diminuição da quantidade de radiação solar absorvida pode ser válida para a melhoria das condições ambientais internas. Gupta (1987) investigou a relação entre a forma urbana mais protegida em comparação à ocupação mais aberta em clima quente e seco, enfatizando os benefícios da primeira. A possibilidade efetiva de reduzir a demanda por resfriamento em edifícios comerciais em condições mais adensadas valendo-se de simulações computacionais foi avaliada por Lam (2000) e, mais tarde, por Li & Wong (2007). O aumento nos ângulos de obstrução do céu são acompanhados pela redução na carga térmica interna. Martins; Adolphe; Bastos (2014) abordaram o tema, porém sob a ótica da diminuição no potencial de geração fotovoltaica. A investigação lidava com dois aspectos conflitantes para uma cidade de clima quente e úmido: a redução no potencial para geração de energia e o aumento no consumo devido aos indesejáveis ganhos de calor em edifícios devido ao sol.

A motivação destas pesquisas deve-se ao fato de que o sol constitui a principal fonte de ganhos de calor em edifícios residenciais na região tropical. Nessas localidades não é a temperatura do ar a principal causa de desconforto térmico, mas a temperatura radiante, resultado da incidência solar sobre as superfícies, que irradiam energia para o interior do edifício. Assim, a densidade construída poderia constituir estratégia de resfriamento.

Edifícios mais altos situados em determinados contextos desviam fluxos e elevam a turbulência, podendo gerar zonas de recirculação do ar e criar condições mais favoráveis à ventilação natural se comparadas a trechos nos quais os edifícios possuem a mesma altura, podendo atingir o nível de

pedestre e as aberturas de edifícios mais baixos (GOLANY, 1996; GIVONI, 1998; DUARTE; SERRA, 2003; GONÇALVES, 2003; BRANDÃO, 2010).

O planejamento criterioso da verticalização da paisagem urbana pode determinar, inclusive, maiores velocidades aos fluxos, imprimir maior intensidade ao campo de pressões devido ao vento sobre as fachadas, aumentando as taxas de renovação do ar e contribuindo para a qualidade do ar em edifícios (ALLARD; GHIAUS; SZUCS, 2010). As avaliações em túneis de vento ou através de simulações das correntes em meio urbano representam uma realidade cada vez mais incorporada aos estudos ambientais, porém o avanço consiste na sua incorporação às prescrições edilícias, como em Ng (2008; 2009).

No presente estudo, a opção por uma cidade de clima tropical quente e úmido deve-se ao fato de que, nessas localidades, as principais estratégias passivas para o conforto térmico consistem na ventilação natural associada à proteção solar (FROTA; SCHIFFER, 2003). Ademais, no processo de adensamento através da verticalização pelo qual atravessam a maioria das cidades litorâneas nordestinas, e Fortaleza não foge à característica, é possível identificar, numa série de formas urbanas, situações que retratam as condições de obstrução de parte do percurso solar e ao fluxo de ar que são determinantes para o desempenho térmico de edificações.

Em edifícios residenciais, a carga térmica interna devido à ocupação, iluminação e equipamentos é inferior comparada a outros tipos de edificações, o que contribui para a adoção de diretrizes passivas como forma de reduzir o consumo de energia.

3 MÉTODO

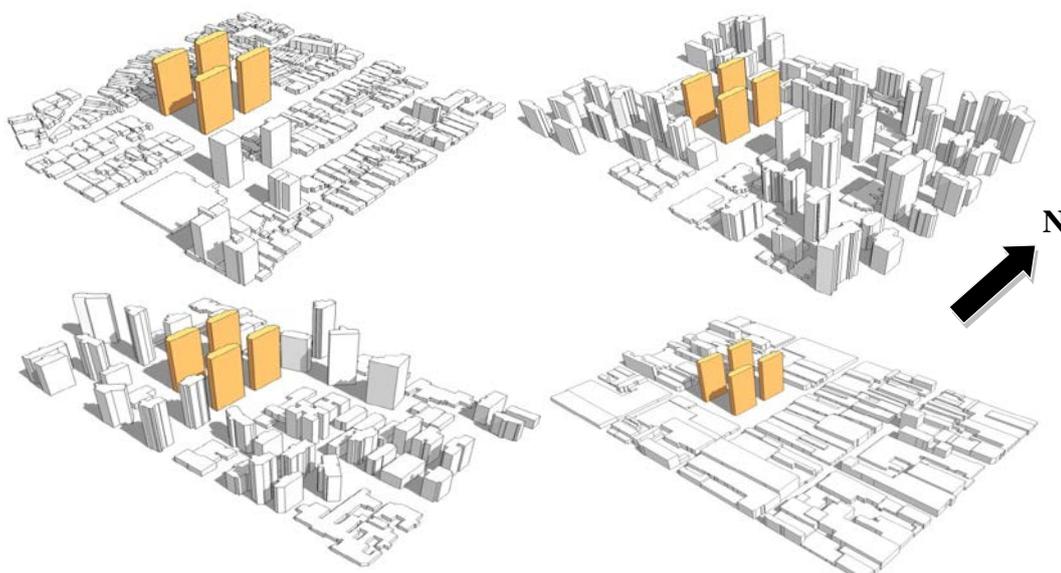
Um dos principais produtos da investigação, a metodologia elaborada teve papel fundamental ao permitir analisar algumas das variáveis que influenciam o conforto térmico de edifícios naturalmente ventilados em escalas de abordagem mais adequadas. Especificamente, para atender o objetivo, empreendeu-se um método para avaliar os impactos da forma urbana adensada sobre o vento e a radiação solar desde a dimensão da cidade até seus reflexos nos fluxos internos e, conseqüentemente, no desempenho térmico de edificações residenciais.

Diferentemente de outras pesquisas, a abordagem é considerada utiliza diferentes ferramentas de simulação computacional de acordo com o potencial específico de cada uma, em etapas sequenciais e que se complementam a partir dos dados obtidos na fase anterior, fornecendo condições de contorno mais definidas e precisas para o estágio seguinte.

Nesse sentido, a reconhecida qualidade dos modelos CFD foi empregada para analisar o comportamento dos parâmetros ambientais envolvidos no processo de ventilação natural. Simularam-se os fluxos de ar desde o contexto urbano formado por cada um dos quatro diferentes cenários urbanos espalhados pela cidade de Fortaleza. Duas direções de vento

principais (leste e sudeste) foram simuladas, resultando em oito análises. Os cenários, contendo doze quadras, foram modelados num arranjo 3 x 4 (3 quadras de largura e 4 na profundidade) e foram escolhidos devido à sua representatividade quanto à morfologia urbana (figura 1).

Figura 1 – Quatro cenários representativos da densidade urbana escolhidos



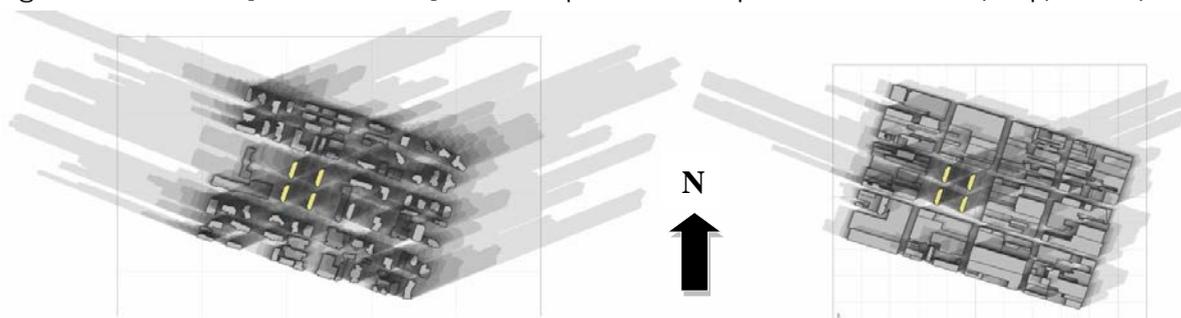
Fonte: o autor

As simulações da ventilação urbana determinaram um campo de pressões diferente sobre as aberturas do apartamento em três pavimentos do edifício modelo formulado. Estes dados determinaram vinte e quatro simulações dos fluxos internos, com diferentes vazões de ar cada.

Finalmente, os dados de trocas de ar por hora obtidos em cada simulação da ventilação interna alimentaram as simulações anuais de desempenho térmico dos ambientes de permanência prolongada (sala, suite casal e dormitório) nos pavimentos primeiro, décimo primeiro (intermediário) e vigésimo terceiro (abaixo da cobertura).

Utilizou-se o programa *DesingBuilder* 3.2.0, interface gráfica do *EnergyPlus*. Adotou-se o arquivo TMY (8.760 horas). Todos os elementos do entorno foram modelados como elementos adiabáticos, resultando em maior ou menor obstrução à radiação solar, como demonstra a figura 2.

Figura 2 – Diferença de obstrução solar provocada pelos cenários 2 (esq.) e 4 9(dir.)

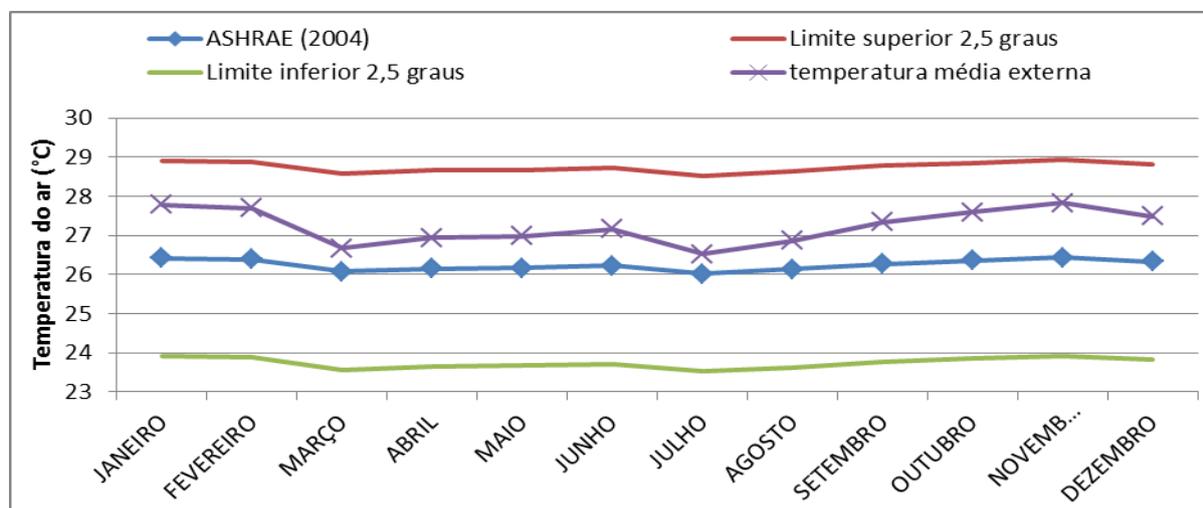


Fonte: o autor

A envoltória é em alvenaria convencional (15 cm) revestida por peças cerâmicas ($U = 2,356 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) e as janelas de correr com vidro simples ($FS = 0,86$). O padrão de cargas internas considerou a rotina de ocupação de uma família de quatro membros em atividade sedentária, com carga térmica de 6 W/m^2 devido à iluminação artificial e equipamentos. A ventilação natural permaneceu ativa durante todo o ano.

Os dados de temperatura operativa na suíte, no dormitório e na sala foram comparados ao índice adaptativo da ASHRAE (2004) (gráfico 2). Os resultados são analisados em termos da quantidade de horas dentro dos limites da zona de conforto. Adotou-se o intervalo de 2,5 graus a mais e a menos para retratar o rigor da condição de umidade relativa elevada.

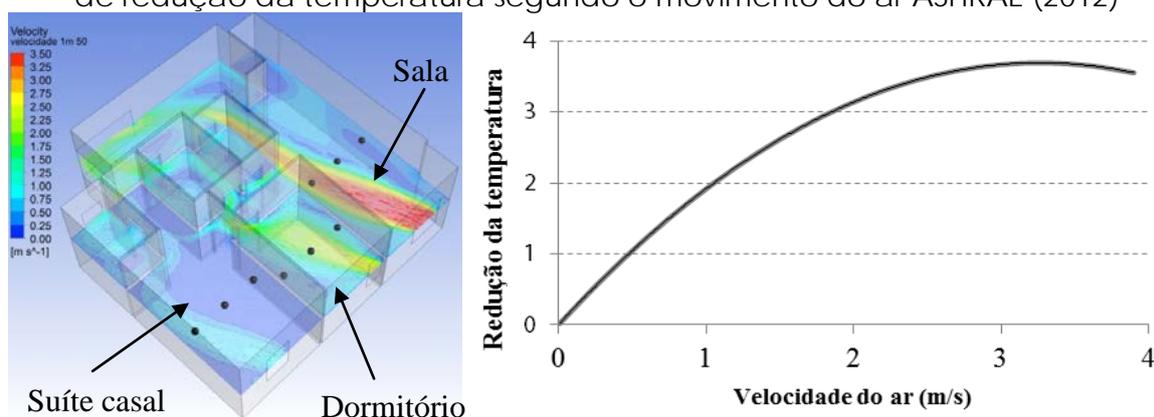
Gráfico 1 – Limites da zona de conforto estabelecida para a cidade de Fortaleza segundo o modelo adaptativo da ASHRAE (2004)



Fonte: adaptado de ASHRAE (2004)

A velocidade do ar no interior dos ambientes foi incorporada à análise dos resultados, calculada como a média entre três pontos alinhados na largura do ambiente, a 1,5 m do solo, como demonstra a figura 4, evitando que correntes concentradas em partes do ambiente segundo a direção do vento no exterior apontassem valores muito elevados ou muito baixos. O potencial para resfriamento fisiológico dos ocupantes, capaz de estender os limites aceitáveis de operativa, foi reconhecido em adendo à norma ASHRAE 55, que definiu valores (ASHRAE, 2012). O gráfico a seguir (figura 3) prevê a ampliação na temperatura operativa aceitável a partir da velocidade do ar.

Figura 3 – Contornos de velocidade do ar em simulação no apartamento modelo e de redução da temperatura segundo o movimento do ar ASHRAE (2012)

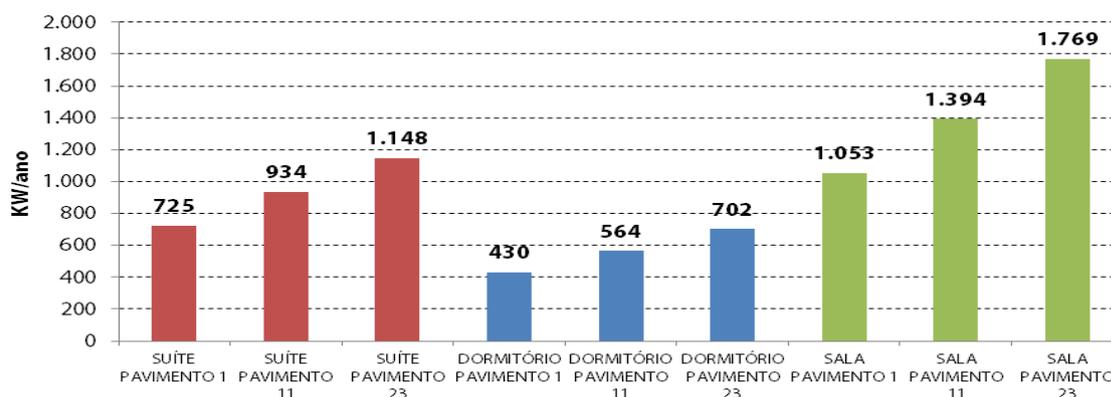


4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, era fundamental confirmar a sensibilidade do programa à obstrução causada pelo entorno, expressando uma redução dos ganhos de calor devido à radiação solar. Paralelamente, a redução da temperatura operativa com o aumento nas taxas de renovação de ar deveria ocorrer. Uma série de testes atestou a capacidade dos algoritmos inseridos no programa quanto aos dois aspectos fundamentais à pesquisa.

No verticalizado cenário 2, por exemplo, a carga térmica anual devido à radiação solar no apartamento no vigésimo terceiro pavimento é 27% maior do que no pavimento intermediário e até 68% a mais comparando-se com o primeiro pavimento, mais obstruído, como resume o gráfico 2.

Gráfico 2 - Ganhos de calor devido à insolação entre os pavimentos no cenário 2



Fonte: o autor

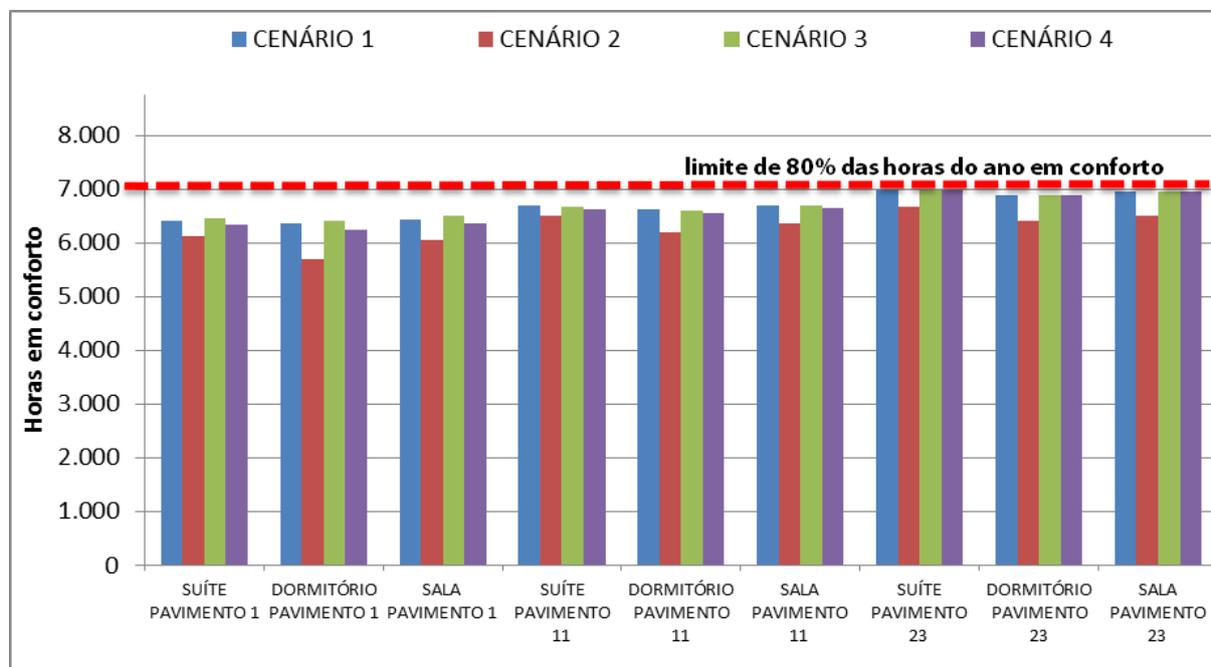
Após a confirmação da influência da obstrução do entorno na redução dos ganhos de calor devido à radiação solar, avaliam-se as horas de conforto em cada caso de acordo com as vazões de ar determinadas às simulações do desempenho térmico.

Os resultados do conjunto de simulações foram exportados para uma planilha eletrônica, reunindo-os segundo a incidência de vento (leste e sudeste), e apresentando-os sob a forma de gráfico. Nestes destaca-se a linha de 80% das horas como o objetivo para representar a maior parte do ano em situação de conforto térmico.

De maneira geral, os ambientes nos quatro cenários obtiveram a maioria das horas do ano dentro da zona de conforto. Os casos fora dos limites estabelecidos como confortáveis somente ocorrem em função do calor e, predominantemente, durante o período da tarde (entre 70% e 90% dos períodos em desconforto). Credita-se a maioria expressiva de horas dentro dos limites da zona de conforto térmico às vazões de ar elevadas em grande parte dos casos simulados. Além das altas taxas de renovação do ar, a menor transmitância térmica das paredes externas, dotadas de revestimento cerâmico, contribui para a qualidade térmica nos ambientes internos.

Analisando os resultados por ambiente, o mais agravado registrou 65% de horas em situação de conforto térmico, enquanto quatorze superaram 79% das horas do ano em que as condições foram satisfatórias, despontando como as melhores situações. Contudo, sem considerar a velocidade do ar para resfriamento dos ocupantes, nenhum destes atingiu o objetivo de 80% do ano (7.008 horas) em conforto, como resume o gráfico 3.

Gráfico 3 – Total de horas em conforto por ambiente nos quatro cenários com vento leste



Fonte: o autor

Com o vento leste, as mais baixas quantidades de renovações do ar ocorrem no cenário 2. Neste cenário, de elevada densidade construída, os ambientes situados no primeiro pavimento alcançaram os piores resultados.

No cenário 1, em contrapartida, os ambientes do no vigésimo terceiro pavimento obtiveram maiores percentuais de horas dentro da zona de conforto, em torno de 79%. Os valores alcançados pelos cômodos nos cenários 3 e 4, nesse mesmo nível, foram bastantes próximos, como pode-se perceber no gráfico 3.

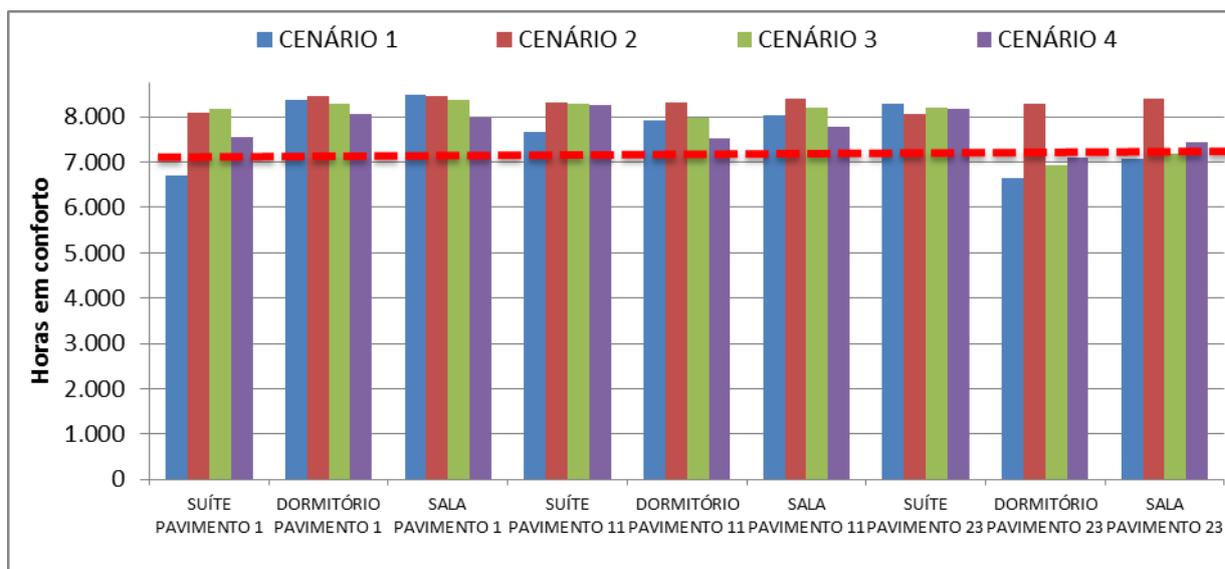
Conclui-se que a obstrução à radiação solar não influencia significativamente a quantidade horas em conforto quando as taxas de vazão de ar são mais expressivas. No entanto, quando se analisam os três ambientes no primeiro pavimento dos cenários 1, 3 e 4, observa-se uma discreta diferença na quantidade de horas em conforto. Entre todos os casos neste nível, o cenário 3 apresentou os melhores resultados. As diferenças na vazão de ar neste cenário são menos de 10% menores do que nos cenários 1 e 4. É possível afirmar, portanto, que o melhor desempenho dos ambientes em meio ao cenário 3 ocorre devido a maior obstrução à radiação solar determinada por esse cenário, cuja verticalização é bem mais expressiva do que nos arranjos 1 e 4.

Com o vento sudeste, as situações em conforto térmico obedecem relações semelhantes àquelas verificadas com o vento leste. Os maiores períodos de conforto foram anotados nos ambientes de pavimentos mais altos, sofrendo reduções nos pavimentos baixos, uma vez que são menores as taxas de vazão de ar.

O que se destaca é a maior quantidade de horas em conforto em todos os ambientes nos pavimentos primeiro e décimo primeiro do cenário 2 em comparação aos demais cenários. Com o vento sudeste, as taxas de vazão de ar no cenário 2 foram significativamente superiores ao vento leste e aproximam-se dos valores dos demais cenários, ainda que mais baixos.

No cenário 2, o primeiro pavimento apresenta taxa de renovação do ar 33% menor do que o verificado no mesmo nível no cenário 3 e 43% inferior em comparação ao cenário 4. No pavimento intermediário persistem tais diferenças, agora 31% menores em relação ao cenário 3 e 41% abaixo do cenário 4. Mesmo diante das menores vazões de ar registradas, o cenário 2 apresenta entre 150 e 370 horas a mais em conforto entre os casos envolvendo ambientes nos pavimentos primeiro e décimo primeiro, como percebe-se no gráfico 4. Tais valores atestam melhores condições ambientais neste contexto devido à redução da carga térmica em função da forma urbana mais obstruída, que promove maior sombreamento.

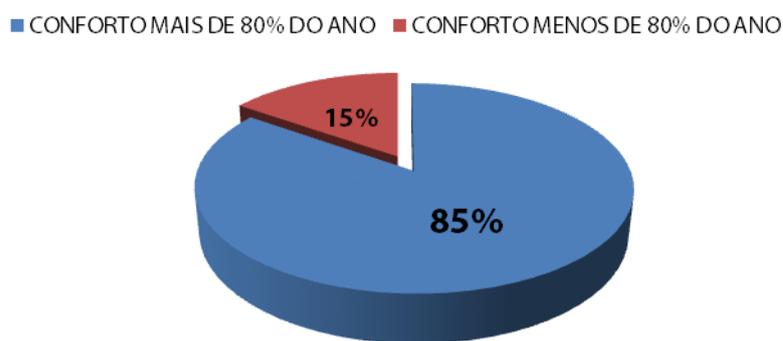
Gráfico 4 – Total de horas em conforto por ambiente nos quatro cenários com vento sudeste



Fonte: o autor

Após rodar a série de simulações de desempenho térmico, acrescentou-se aos resultados os dados de velocidade do ar nos ambientes. A alteração na sensação de desconforto por calor no interior do apartamento é evidente e em 85% dos casos é possível atingir pelo menos 80% do ano em conforto térmico, como indica o gráfico 5.

Gráfico 5 - Percentual de casos com mais de 80% das horas do ano em conforto térmico considerando o movimento do ar nos ambientes



Fonte: o autor

5 CONCLUSÕES

O conjunto de simulações CFD, não detalhadas neste artigo, mas que integram o estudo, indicaram condições específicas de circulação do ar em cada cenário e reforçaram a imprevisibilidade do comportamento da ventilação natural em meio urbano, reforçando a necessidade de avaliar

precisamente as especificidades que o dinamismo formal inerente às cidades determina.

A análise isolada dos ganhos de calor solar atestou reduções significativas devido à obstrução de cada cenário urbano, como esperado. Apesar de impedir que parcelas significativas de radiação solar atingissem as superfícies verticais dos ambientes situados nos pavimentos mais baixos, sobretudo nos cenários 2 e 3, a ventilação natural mostrou-se fator de maior peso sobre o desempenho térmico e, conseqüentemente, o conforto nos ambientes avaliados.

Contudo, tomando como base seis casos do cenário 2 com vento sudeste, apresentados pelo gráfico 4, e mais quatro casos do cenário 3 com vento leste, expostos pelo gráfico 3, pode-se concluir que, em climas quentes e úmidos, sob condições de ventilação natural semelhantes ou até mesmo um pouco mais baixas, a obstrução ao sol provocada pelo entorno passa a ser fator importante para a melhoria das condições ambientais internas. Os resultados indicam que mesmo que a ventilação natural em contextos urbanos mais verticalizados atinja valores abaixo daqueles verificados em um meio menos obstruído, como as diferenças na vazão de ar entre 30% e 40% menores no cenário 2 em relação aos arranjos urbanos 1 e 4, dentro de certos níveis, o sombreamento pode compensar a ausência de fluxos mais intensos e garantir condições ambientais semelhantes àquelas possíveis em situações urbanas de baixa densidade.

Como visto, o maior nível de obstrução à radiação solar devido aos edifícios altos no entorno não implicou na redução direta da temperatura operativa, uma vez que, em todos os cenários, os pavimentos mais baixos do edifício modelo apresentaram menores períodos de conforto térmico comparados aos apartamentos em níveis mais elevados. Por outro lado, considerando os casos em que não houve diferenças significativas na vazão de ar entre os pavimentos intermediário e o mais alto, como em grande parte das situações envolvendo os cenários 1, 3 e 4, as diferenças na qualidade ambiental interna fundavam-se somente na quantidade de carga térmica devido ao sol acumulada e perdida durante o ciclo diário.

De maneira geral, os resultados corroboram a afirmação de Givoni (1994) quanto à necessidade de priorizar a ventilação natural em relação à orientação solar em regiões quentes e úmidas, uma vez que a vazão de ar mais elevada nos casos em que os ambientes estavam mais expostos sobrepôs-se à influência da quantidade de radiação solar absorvida durante o ano.

Além de outros aspectos não descritos aqui, como valores da diferença de Coeficientes de Pressão (ΔC_p) entre as fachadas leste e oeste próximos entre os cenários simulados e baixas correlações entre a vazão de ar e a altura média dos edifícios, a quantidade expressiva de horas dentro da zona de conforto térmico obtida mesmo nos cenários mais verticalizados reforça a hipótese de que maiores níveis de densidade urbana são compatíveis com a manutenção de condições térmicas adequadas em edifícios residenciais.

A inserção dos dados de cada etapa foi realizada manualmente. Acredita-se ser possível desenvolver uma sistematização dos dados para alimentar o estágio de simulação seguinte de forma automatizada, através de interfaces integradas aos programas como forma de aprimorar a metodologia aqui empreendida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, F.; GHIAUS, C.; SZUCS, A. **Natural ventilation in high-density cities**. In: Designing high-density cities for social and environmental sustainability. Edward Ng (org.). Earthscan: Londres, 2010.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55-2004: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2004.
- _____. **Addendum to ANSI/ASHRAE standard 55 – 2010: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2012.
- BRANDÃO, R. S. **Urban microclimate**. In: GONÇALVES, J. C. S. UMAKOSHI, E. M. The environmental performance of tall buildings. London: Earthscan, 2010.
- DUARTE, D. H. S., SERRA, G. G. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador**. Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 3: 7 – 20, 2003.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Editora Nobel, 7 ed., São Paulo, 2003.
- GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley and Sons, 1994.
- _____. **Climate considerations in buildings and urban design**. New York: John Wiley e Sons, 1998.
- GOLANY, G. S. **Urban design morphology and thermal performance**. Atmospheric Environment, 30: 455 – 465, 1996.
- GONÇALVES, J. C. S. **A sustentabilidade do edifício alto**. (Tese). Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

GUPTA, V. **Thermal efficiency of building clusters: an index for non airconditioned buildings in hot climates**. In: D. Hawkes (Ed.), *Energy and Urban Built Form*, Butterworths, UK, 1987.

LAM, J. C. **Shading effects due to nearby buildings and energy implications**. *Energy Conversion & Management* 41: 647 – 659, 2000.

LI, D. H.W.; WONG, S. L. **Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings**. *Applied Energy* 84: 1199 – 1209, 2007.

MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. E. G. **From solar constraints to urban design opportunities: optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city**. *Energy and Buildings* 76: 43 – 56, 2014.

NG, E. **An investigation into parameters affecting an optimum ventilation design of high density cities**. *International Journal of Ventilation*, n. 4. V.6, 2008.

_____. **Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong**. *Building and Environment* 44: 1478–1488, 2009.

UNFPA (United Nations Population Fund). **People and possibilities in a world of 7 billion**. United Nations. New York, 2011.