

# Simulações de vento e sua aplicação no planejamento urbano

Daniele Gomes Ferreira\*  
Eleonora Sad de Assis\*\*

8

Ur

n. 8 | Junho 2015

## Resumo

O uso de metodologias de simulação física e computacional para o estudo dos ventos são ferramentas complementares para a investigação dessa variável climática em áreas urbanas. No presente artigo o emprego dessas técnicas para a cidade de Belo Horizonte, Brasil, permitiu avaliar as áreas que naturalmente não são bem ventiladas. Comparando essas áreas ao zoneamento urbano, verificou-se que muitos locais onde o adensamento e a verticalização são permitidos e/ou incentivados correspondem a regiões em que a velocidade dos ventos é naturalmente baixa. Por meio de simulação computacional também foram identificados os locais em que a velocidade do vento sofreu redução com a ocupação urbana. Os resultados foram comparados à legislação urbanística, o que apontou a necessidade da revisão do zoneamento urbano de Belo Horizonte do ponto de vista da condição de ventilação da cidade.

## 1. Introdução

Muitos estudos em climatologia urbana são pouco aplicáveis à prática do planejamento urbano devido ao seu caráter pouco preditivo. Tal característica é importante para o planejamento urbano pela necessidade de se identificar o melhor cenário de desenvolvimento para uma região, considerando concomitantemente a evolução espacial das áreas urbanas e a proteção ao ambiente, em especial o clima local.

Sabe-se que a urbanização causa efeitos em escala local, regional e mesmo global. A transformação da paisagem natural pelo tecido urbano provoca mudanças nos balanços de energia, carbono e água nos níveis local e regional que resultam no clima urbano. Uma das variáveis climáticas que sofre alteração com o processo de urbanização é o vento, cuja velocidade média, em geral, é reduzida em função do aumento do atrito criado pela rugosidade das áreas urbanas (Cleugh e Grimmond, 2012). Para uma cidade hipotética de um milhão de habitantes, localizada em latitude média, estima-se que a magnitude do vento, a 10 m de altura, pode ser reduzida em 30 a 57% (Oke, 1994 *apud* Cleugh e Grimmond, 2012) em decorrência dos

\* Universidade Federal de Minas Gerais

processos urbanos.

Para a avaliação de problemas ambientais em áreas urbanas é necessário o uso de modelos que podem ser físicos ou numéricos e ambos têm vantagens e limitações. No caso dos modelos físicos, a simulação em túneis de camada limite é adequada para aplicação em muitos estudos do clima urbano, pois o fluxo de ar na camada limite ao longo do túnel representa uma versão reduzida da camada limite atmosférica em condições de estratificação neutra (Plate, 1999).

Os modelos numéricos resolvidos por simulação computacional, por sua vez, também são uma alternativa para a avaliação das condições de vento em áreas urbanas. Geralmente, a escolha do modelo computacional está associada à escala de análise dos estudos e ao desempenho dos programas. Vários são os modelos empregados nas diferentes escalas de análise. Na escala microclimática, em investigações de poluição do ar, conforto de pedestres e fluxo no entorno de edifícios, os programas do tipo CFD (*Computational Fluid Dynamics*) são extensamente utilizados (Souch e Grimmond, 2006). Outros modelos mais sofisticados em termos dos métodos numéricos, da estrutura da malha que os compõe e dos modelos de abordagem de turbulência estão cada vez mais desenvolvidos e são capazes de prever o comportamento do ar em outras escalas. É o caso, por exemplo, dos modelos LES (*Large Eddy Simulation*), RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation*), dentre outros (Cleugh e Grimmond, 2012).

Quando se pretende analisar o comportamento dos fluxos de ar em uma área que corresponde a uma cidade inteira, depara-se com o problema de falta de ferramenta preditiva adequada para essa escala de estudo. Os programas disponíveis ora exigem um detalhamento muito grande dos elementos que compõem o meio urbano, sendo mais apropriados à análise de frações urbanas (como os tipo CFD por exemplo), ora abordam escalas maiores para fins de previsão do tempo ou estudo de fenômenos macroclimáticos, não sendo capazes de lidar com a influência da cidade na escala do planejamento urbano. Para simulações que envolvem a extensão de um município ou de áreas menores, como bairros, foram empregados aplicativos de previsão de potencial eólico para estimativa das condições de vento. Exemplos destes programas são o WAsP - Wind Atlas Analysis and Application Program (Lopes, 2003; Prata, 2005) e o WindMap™ (Ferreira e Assis, 2010).

Estudos comparativos demonstram que não há um modelo numérico único que represente perfeitamente as condições climáticas, por isso uma abordagem que reúna um conjunto de modelos é indicada (Cleugh e Grimmond, 2012). Ao mesmo tempo, simulações

em túnel de vento e modelagens numéricas, além de investigações em campo, são ferramentas complementares para o planejamento urbano, devendo-se considerar as limitações de cada método (Plate, 1999).

Em vários países as questões relativas ao clima urbano são consideradas pelos planejadores urbanos na proposição do zoneamento das cidades. É o caso, por exemplo, da Alemanha (Baden-Württemberg Innenministerium, 2004) que desde a década de 1970 tem iniciativas nesse sentido. No Brasil, a legislação federal que estabelece as diretrizes gerais da política urbana é o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001), que tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana. Esse documento estabelece como princípios associados ao meio ambiente que o direito a cidades sustentáveis deve ser garantido, assim como a ordenação e controle do uso do solo devem evitar a poluição e a degradação ambiental. Contudo, não há previsão de instrumentos que associem diretamente o clima ao interesse público para o planejamento urbano, como existe no caso da Alemanha.

Aliado à falta de regulamentação da legislação federal, os estudos em clima urbano no país geralmente são pouco aplicados ao planejamento urbano (Assis, 2006). Na tentativa de estreitar essa lacuna, o presente artigo busca integrar metodologias de estudo do vento aplicadas à cidade de Belo Horizonte, relacionando-as à legislação urbanística do município. Por meio do emprego de simulações físicas e computacionais foi avaliada a condição de vento na área de estudo e posteriormente comparada à lei de uso e ocupação do solo local.

## 2. Área de Estudo

A cidade de Belo Horizonte está delimitada pelas latitudes 19°46'35" e 20°03'34" Sul, e longitudes 43°51'27" e 44°03'47" Oeste de Greenwich. O município tem área equivalente a 331 km² e faz parte da Macrorregião Central do estado de Minas Gerais. O clima da cidade é classificado como Cwa (temperado de inverno suave), de acordo com a classificação climática de Köppen, marcado pelo período seco no inverno, porém, em razão de sua localização, pode ser considerado mais como um clima tropical de altitude. A temperatura média local foi de 21,1°C no período entre 1961 e 1990. O vento predominante na cidade tem direção leste durante todo o ano e velocidade média de 1,4 m/s (Assis, 2000)<sup>1</sup>. A média de precipitação total anual é de 1.491,3 mm.

As condições climáticas da cidade são marcadas pela diferença

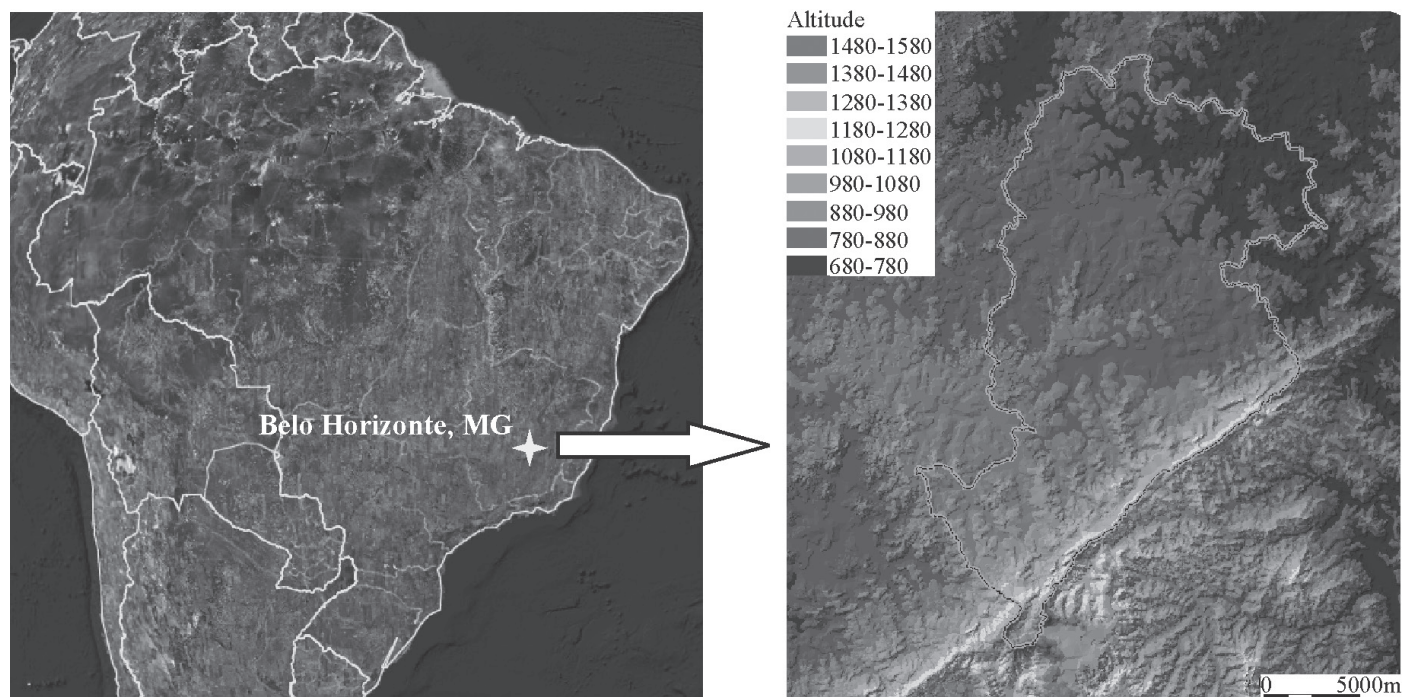


Figura 1 | Localização e topografia da cidade de Belo Horizonte. A linha tracejada representa o limite do município  
Fonte: Ferreira e Assis, 2010

entre o inverno e o verão e as condições de estabilidade atmosférica. Durante o inverno, predomina a influência da Frente Polar Atlântica e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), sendo que este causa forte estabilidade. No verão, as linhas de instabilidade ocorrem com maior frequência e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), configurada como um amplo eixo de intensa atividade convectiva de orientação NW-SE, contribui para altas taxas de precipitação com dias consecutivos de chuva – 4 dias, no mínimo (Moreira, 1999).

Quanto às características topográficas (Figura 1), o território de Belo Horizonte é marcado por relevo ondulado, que se diferencia basicamente em duas áreas: as porções central e norte do município são mais planas, com altitudes variando entre 680 e 980 metros; a sul, por sua vez, a cidade apresenta topografia acidentada, com variações de altitude entre 1.100 e 1.500 metros e concentração dos pontos mais altos no conjunto de montanhas denominado Serra do Curral (Belo Horizonte, 1995).

Em relação à urbanização, a cidade se destaca por ter sido projetada pelo engenheiro Aarão Reis para ser a capital do estado de Minas Gerais. Foi inaugurada em 1897 como um símbolo da modernização urbana do Brasil na passagem do século XIX para o XX, representando a negação das estruturas urbanas coloniais

estabelecidas nesse período (Segawa, 2002). Apesar desse avanço no planejamento urbanístico inicial da cidade, somente após quase 80 anos da sua inauguração foi aprovada a primeira lei com a regulamentação do uso e da ocupação do solo urbano municipal (Lei nº 2.662, de 29 de novembro de 1976). Posteriormente, em 1985 (Lei nº 4.034, de 25 de março de 1985) e 1996 (Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996), foram aprovadas novas diretrizes para o parcelamento, ocupação e uso do solo no município. Esta última foi alterada por leis posteriores, contudo ainda está em vigor.

De acordo com a legislação urbanística atual, todo o território do município é considerado área urbana e está dividido nas seguintes zonas (Art. 5º):

- I - Zona de Preservação Ambiental - ZPAM;
- II - Zona de Proteção - ZP;
- III - Zona de Adensamento Restrito - ZAR;
- IV - Zona de Adensamento Preferencial - ZAP;
- V - Zona Central - ZC;
- VI - Zona Adensada - ZA;
- VII - Zona de Especial Interesse Social - ZEIS;
- VIII - Zona de Grandes Equipamentos - ZE.

Tais zonas se diferenciam pelos potenciais de adensamento e pelas demandas de preservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística. Um dos parâmetros urbanísticos que refletem diretamente o adensamento urbano e apontam a tendência à verticalização é o coeficiente de aproveitamento (CA). Esse parâmetro é definido para cada zona (Tabela 1) e, quando multiplicado à área total do terreno, resulta no potencial construtivo do lote.

As Zonas Centrais (ZCBH, ZCBA, ZCVN, ZHIP) e ZAP são, respectivamente, “centros de polarização” e zona passível de adensamento. Ao mesmo tempo, são as zonas que apresentam os maiores valores de CA e, portanto, são mais suscetíveis à verticalização e ao adensamento urbano. As ZAs também têm alto coeficiente de aproveitamento, contudo são áreas em que o adensamento deve ser contido por apresentarem alta densidade demográfica e intensa utilização da infraestrutura urbana. As ZPAMs, por suas características e pela tipicidade da vegetação, destinam-se à preservação e à recuperação de ecossistemas. As ZPs são regiões de interesse público de proteção ambiental e preservação do patrimônio cultural, cujos parâmetros urbanísticos determinam a ocupação com baixa densidade.

Houve uma alteração dos valores do coeficiente de aproveitamento por zona em 2010, quando a lei de uso do solo sofreu mudanças, contudo no presente estudo serão utilizados os valores referentes à Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996, por esta ter equivalência com o período de análise da ocupação urbana.

Zoneamento	Coeficiente de Aproveitamento*
ZPAM	0,05
ZP-1	0,3
ZP-2	1,0
ZP-3	1,5
ZAR-1	1,0
ZAR-2	1,0
ZA	1,5
ZAP	1,7
ZHIP	3,0
ZCBH	3,0
ZCBA	2,0
ZCVN	2,0
ZEIS	-
ZE	-

\* Valores extraídos do Anexo VI da Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996 (sem a atualização da Lei em 2010)

3. Metodologia

O fluxo de vento para a cidade de Belo Horizonte foi determinado pela aplicação de duas metodologias de simulação: teste qualitativo de modelo físico de terreno em túnel de vento e simulação computacional. Por meio da comparação desses dois modelos foi possível identificar as áreas que naturalmente não são bem ventiladas e as áreas que correspondem à condição média de vento para a cidade. Em seguida, verificou-se a relação do zoneamento urbano (áreas de verticalização, potencial de adensamento urbano e tipo de uso), definido na Lei de Uso e Ocupação do Solo, com as áreas de baixas velocidades de vento.

3.1. Simulação física (teste qualitativo)

A simulação física foi realizada no túnel de vento de camada limite atmosférica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo (Figura 2). O objetivo da simulação, que utilizou a técnica de figuras de erosão, foi identificar as áreas onde o fluxo de vento é reduzida (baixa ação erosiva), o que possivelmente corresponde a áreas naturalmente mal ventiladas.

O modelo reduzido foi confeccionado na escala 1:40.000, com a representação da topografia da cidade de Belo Horizonte e entorno imediato em curvas de nível com intervalos de 40 m (Ferreira e Assis, 2006). Foi posicionado no túnel de vento considerando o vento dominante na região, que é leste. O registro fotográfico correspondente ao ensaio com rotação da turbina em 360 rpm e areia de granulometria de 0,15mm foi utilizado para comparação com os resultados da simulação computacional.

3.2. Simulação computacional

A simulação computacional foi realizada no programa WindMap™, aplicativo desenvolvido pela empresa americana Brower and Company para a previsão de áreas com potencial de geração de energia eólica. Como dados de entrada para o programa, foram necessários três parâmetros: 1) modelo digital de terreno (MDT), em que se reproduziu a topografia da área de estudo com resolução equivalente a 114 metros; 2) modelo digital de elevação (MDE), que representou o tipo de uso do solo. Esse foi elaborado com base na classificação de imagem de satélite LANDSAT do ano de 2006 e a esta classificação foram incorporados valores de comprimento de rugosidade ( $z_0$ ), determinados por método morfométrico, conforme a classe de cobertura do solo (Ferreira *et al.*, 2008); 3) dados de vento de superfície e de vento geostrófico, coletados respectivamente de estações meteorológicas fixas e de sondagens do Aeroporto Internacional de Confins, situado a 40km da cidade de Belo Horizonte.





Figura 2 | Modelo com o relevo da cidade de Belo Horizonte (a) e montagem do experimento no interior do túnel de vento (b)  
Fonte: Ferreira e Assis, 2006

Esses dados representaram a condição média da velocidade e da direção predominante do vento, considerando o tratamento estatístico dos dados correspondentes ao período de cinco dias consecutivos do mês de junho de 2007<sup>2</sup>. A altura estabelecida para os testes foi de 10 metros.

Foram realizados dois experimentos: o primeiro considerou apenas a topografia (MDT), atribuindo um valor fixo para  $z_0$  para toda a área de estudo, e, no segundo, verificou-se o efeito da ocupação urbana e da cobertura do solo incorporando o MDE à simulação (MDT + MDE). Os resultados dos testes foram mapas de velocidade do vento para a área de estudo (Ferreira e Assis, 2010), os quais foram utilizados para comparação com a simulação física e para avaliação da relação com o zoneamento urbano de Belo Horizonte. Para melhor visualização, os resultados foram representados em dois mapas de velocidade do vento: 1) com intervalo entre 0 e 1,5 m/s, representando as áreas onde as condições de ventilação são ruins, e 2) com intervalo

entre 2,0 e 2,5 m/s, reproduzindo a condição média de vento da cidade de Belo Horizonte.

### 3.3 Comparação dos resultados das simulações e sua relação com a legislação urbanística

A comparação entre os resultados das simulações foi feita com a sobreposição do registro fotográfico da simulação física e dos testes computacionais, utilizando o programa ArcGis®. Inicialmente comparou-se a simulação física com o teste computacional que considerou apenas a influência da topografia, o que permitiu identificar as áreas que naturalmente não seriam bem ventiladas pela ocorrência de baixas velocidades do vento e pelo acúmulo de areia no modelo físico. A partir da constatação da similaridade dos resultados, passou-se à análise dos intervalos de velocidade da simulação computacional que correspondiam às áreas onde não havia acúmulo de areia no modelo físico, com o objetivo de identificar os locais que

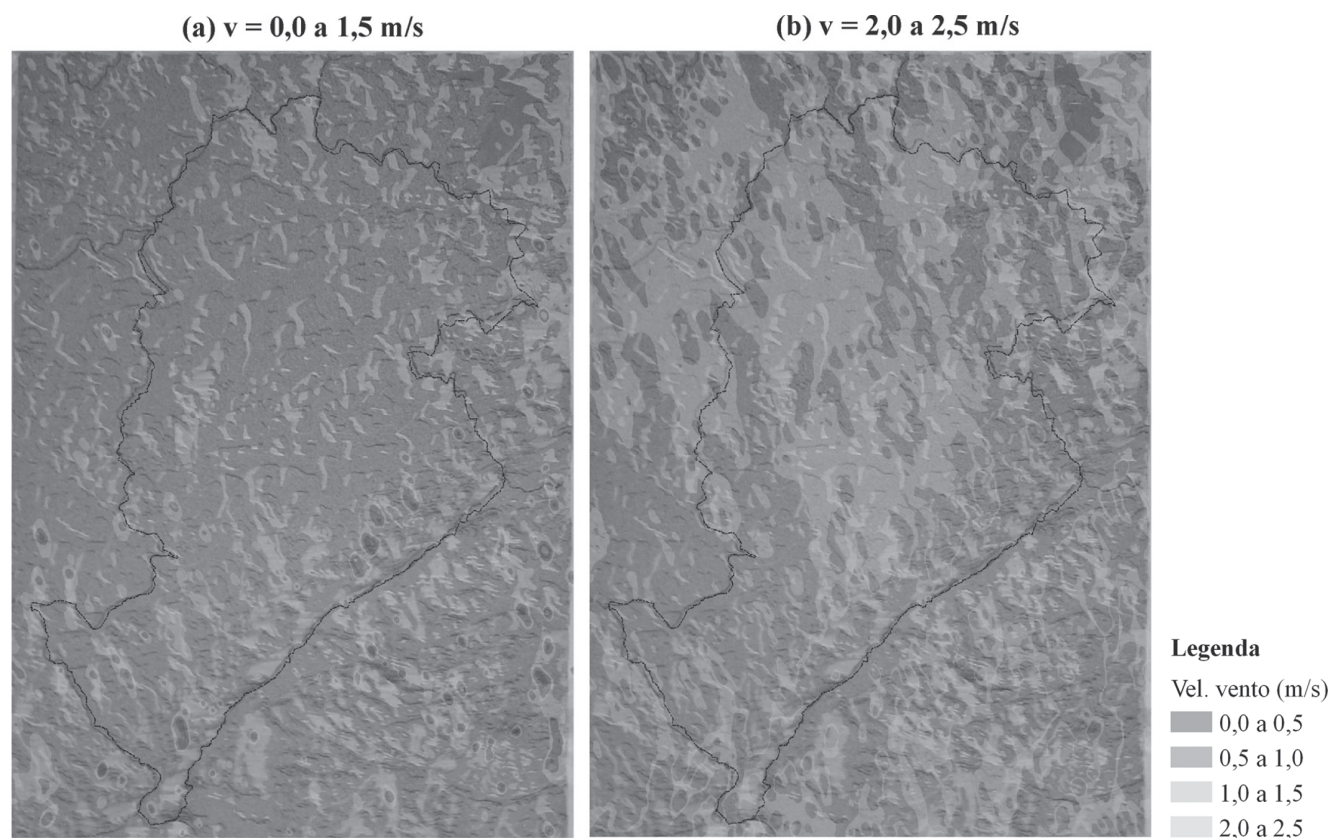


Figura 3 | Sobreposição dos resultados das simulações física e computacional: representação das áreas de baixas velocidades do vento (a); representação da condição média de vento para Belo Horizonte (b). A linha tracejada representa o limite do município. Originalmente as imagens foram produzidas em cores

poderiam corresponder às velocidades médias de vento na área de estudo.

Em seguida partiu-se para a avaliação da relação do zoneamento urbano, disposto na Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) de Belo Horizonte e suas atualizações até o ano de 2006 (período em que se avaliou a ocupação urbana), com os resultados da simulação computacional. Por meio da sobreposição do mapa de zoneamento com as manchas de velocidade do vento resultantes da simulação com a influência da topografia (MDT) foi possível verificar quais zonas seriam mais afetadas pelas baixas velocidades, ou seja, onde a ocupação urbana deveria ser controlada. Posteriormente, ao mapa de zoneamento foi sobreposto o resultado da simulação considerando o efeito da ocupação urbana (MDT + MDE) para avaliar as áreas em que o adensamento urbano deveria ser desestimulado. O coeficiente de aproveitamento (CA) foi o parâmetro urbanístico da LUOS utilizado para analisar a possibilidade de verticalização da cidade e que, concomitantemente, contribui para um maior adensamento urbano.

#### 4. Análise dos Resultados

A simulação em túnel de vento produziu resultados qualitativos que apontaram as áreas que naturalmente não possuem boas condições de ventilação, representadas pelos locais onde houve acúmulo de areia. A simulação computacional, ao mesmo tempo, também permitiu a verificação dessa condição quando se avaliou as manchas de baixas velocidades do vento.

No intervalo de velocidade de vento de 0 a 1,5 m/s foi possível identificar uma similaridade de resultados entre as simulações física e computacional (Figura 3a). Nota-se que a região sul do modelo foi a que apresentou concomitantemente manchas de baixas velocidades e áreas de maior acúmulo de areia. A complexidade do relevo pela presença do conjunto de montanhas da Serra do Curral contribui para as condições desfavoráveis de ventilação, principalmente nos fundos de vale e a sotavento das barreiras orográficas, o que demonstra a influência da topografia na caracterização das condições de vento na área de estudo.



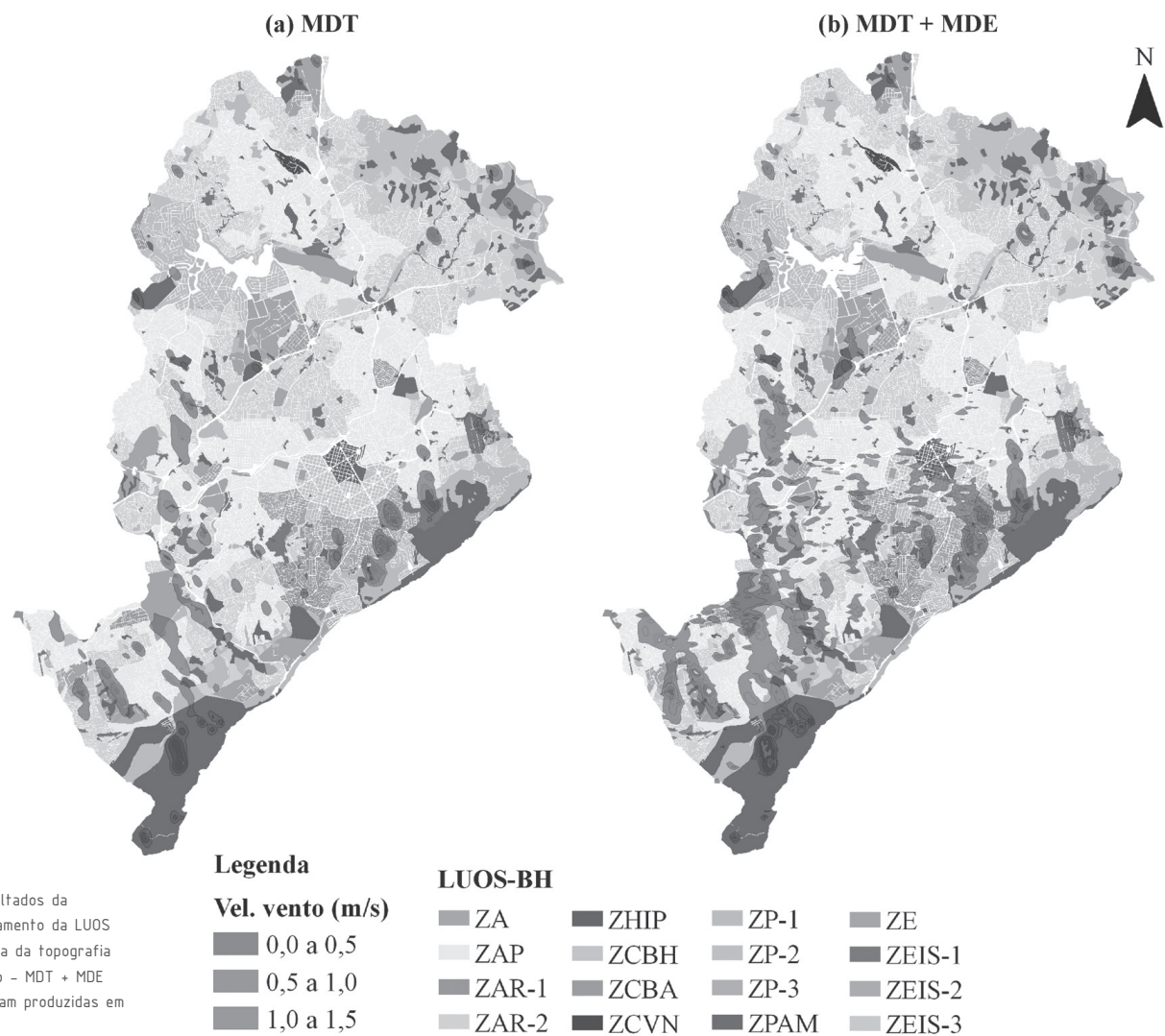


Figura 4 | Sobreposição dos resultados da simulação computacional ao zoneamento da LUOS de 2006, considerando a influência da topografia - MDT (a) e o efeito da ocupação - MDT + MDE (b). Originalmente as imagens foram produzidas em cores

As manchas de velocidade de vento correspondentes ao intervalo de 2 a 2,5 m/s (Figura 3b) cobriram praticamente todo o território e se aproximam do resultado da simulação física para áreas em que não houve acúmulo de areia. As regiões norte e central do modelo são as que concentram velocidades dessa ordem e, ao mesmo tempo, apresentam topografia menos acidentada, o que facilita o deslocamento do ar.

Esse intervalo de velocidade do vento pode ser considerado o valor médio da magnitude do fluxo de ar na área de estudo. Durante o tratamento estatístico dos dados de vento coletados das estações meteorológicas, considerou-se que a incerteza de leitura

dos dados era de  $\pm 0,5$  m/s (Ferreira e Assis, 2010). Assim, o intervalo de velocidades se aproxima da velocidade média do vento da série histórica para a cidade de Belo Horizonte. Dessa forma, nota-se uma forte correspondência entre os resultados das simulações física e computacional, o que demonstra que ambos os testes podem ser utilizados para uma avaliação da condição geral da ventilação natural em áreas onde a influência da topografia é considerável.

É preciso ressaltar que o modelo físico produzido neste estudo teve limitações quanto à escala, por isso só foi possível extrair resultados qualitativos. Além disso, a maquete foi confeccionada com curvas de nível planas e a própria modelagem produzia rugosidades

que dificultavam a movimentação das partículas de areia. O modelo computacional, por sua vez, teve uma representação mais próxima da realidade, pois as formas do relevo foram reproduzidas com maior exatidão por meio do Modelo Digital de Terreno.

A avaliação dos resultados da simulação computacional e sua relação com o zoneamento urbano de Belo Horizonte pode ser extraída da Figura 4.

A Figura 4a apresenta os locais que naturalmente têm baixas velocidades de vento considerando apenas a influência da topografia (MDT). Ou seja, são áreas onde a ocupação urbana deveria ser controlada ou até mesmo evitada. Nota-se que ao sul do município as manchas de baixas velocidades se sobrepõem às seguintes zonas: Zona de Grandes Equipamentos (ZE), Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), Zona de Adensamento Restrito 2 (ZAR-2) e Zona de Preservação Ambiental (ZPAM). Ao centro do município, as baixas velocidades estão concentradas também sobre a Zona Adensada (ZA). Na porção sul da cidade as manchas de baixas velocidades estão sobrepostas principalmente às zonas passíveis de adensamento (ZAP) e/ou que permitem usos não residenciais (ZE), como os polos industriais. À norte, as ZEs também interceptam as áreas de baixas velocidades.

Verifica-se então que locais que já são naturalmente frágeis quanto à ventilação podem ficar ainda mais vulneráveis quando se permite a instalação de equipamentos que contribuem para o aumento da poluição do ar (fábricas e aumento do trânsito associado ao adensamento urbano), o que consequentemente compromete a qualidade do ar. O agravamento da condição de ventilação pela ocupação do solo é comprovado na Figura 4b, que mostra o aumento das manchas de baixas velocidades do vento no resultado da simulação computacional realizada considerando o efeito da urbanização (MDT + MDE), quando comparada à Figura 4a. Dessa forma, confirma-se que a velocidade média do vento é reduzida em função do aumento do atrito criado pela rugosidade das áreas urbanas, como apontaram Cleugh e Grimmond (2012).

Na Figura 4b, verifica-se que sobre as Zonas Hipercentral (ZHIP) e Central de Belo Horizonte (ZCBH), áreas em que a verticalização era mais evidente no ano de 2006, surgiram manchas de baixas velocidades de vento que não eram visualizadas na Figura 4a. Fica evidente então que a magnitude do vento foi reduzida diante da ocupação urbana nas zonas que possuem os maiores coeficientes de aproveitamento (CA = 3,0). A Zona Adensada (ZA), adjacente ao centro de Belo Horizonte e que também tem ocupação verticalizada (CA = 1,5), também apresentou aumento das áreas de baixas velocidades do ar. O mesmo efeito foi observado nas ZEs, ZAPs e na Zona de Adensamento Restrito

2 localizadas ao sul e a oeste do município. É interessante observar que a Zona de Preservação Ambiental (ZPAM) situada no extremo sul da cidade e que não tem ocupação urbana, também sofreu influência direta do efeito da urbanização, sendo visível o aumento das manchas de baixas magnitudes do vento nessa área.

Cabe ressaltar que as simulações computacionais foram realizadas a 10 metros de altura. Assim, as condições de vento observadas nos resultados dos testes podem ser ainda piores se avaliadas ao nível do pedestre. Consequentemente a qualidade do ar, que também está associada à magnitude do vento, deve ter níveis piores em planos mais baixos da camada urbana no nível das coberturas (UCL), onde o atrito criado pela rugosidade dos elementos construídos pode ter efeitos maiores que contribuem para a redução da velocidade do vento.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que áreas com condições de ventilação naturalmente ruins estão incluídas em zoneamentos que permitem o adensamento urbano e a verticalização (ZAP, ZA e ZC). As regiões de baixas velocidades de vento também são ocupadas por grandes equipamentos (ZE) que podem contribuir para a elevação da emissão de poluentes. Ou seja, o zoneamento proposto pela Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte, atualizada até o ano de 2006, não considera a condição do vento na cidade. Ao contrário, contribui para a redução de suas velocidades, que já são baixas na região.

## 5. Considerações Finais

A aplicação de duas metodologias no estudo dos ventos em Belo Horizonte – simulação física e computacional – demonstrou-se viável para a identificação de locais onde as condições de ventilação são naturalmente ruins. As simulações física e computacional produziram resultados semelhantes, apesar das limitações de cada modelo. Na avaliação do zoneamento disposto na Lei de Uso e Ocupação do Solo do município, verificou-se que várias áreas onde o adensamento e a verticalização são permitidos e/ou incentivados correspondem a regiões de baixas velocidades dos ventos. Assim, a legislação urbanística municipal parece contrária ao que dispõe o Estatuto da Cidade, que prevê a garantia a cidades sustentáveis onde a ordenação e o controle do uso do solo devem evitar a poluição e a degradação ambiental.

As análises indicam, então, a necessidade da revisão do zoneamento urbano de Belo Horizonte do ponto de vista da condição de ventilação da cidade. Além disso, é preciso maior investimento em estudos do clima urbano aplicados ao planejamento de cidades na



indicação de diretrizes para a ocupação de novas áreas urbanas e/ou o desenvolvimento de áreas já urbanizadas.

6. Agradecimentos

As autoras gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas - FAPEMIG pela Bolsa de Incentivo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico, Destinada a Servidor Público Estadual e pelo apoio ao Programa de Bolsas de Mestrado; ao 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5º DISME/INMET) pela cessão dos dados climáticos e orientação no seu tratamento e interpretação; ao Sr. Michael Brower, pela licença para utilização do programa WinMap™ e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) pelos ensaios realizados no túnel de vento.

\_Nota: Originalmente as imagens foram produzidas a cores.

## Referências

Assis, E. S. (2000) Impactos da forma urbana na mudança climática: métodos para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano, Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Assis, E. S. (2006) Urban climate applications on city planning: reviewing the Brazilian studies Proceedings of the 6th International Conference on Urban Climate, Urban Climate Group; Dep. Geoscience; Göteborg University, 1, 663-666.

Baden-Württemberg Innenministerium (2004) Climate booklet for urban development. Stuttgart: Ministry of Economy Baden-Württemberg; Environmental Protection Department of Stuttgart. Disponível em: <[http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/Climate\\_Booklet/index-1.htm](http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/Climate_Booklet/index-1.htm)>. Acesso em: dez. 2007.

Belo Horizonte (Prefeitura Municipal) (1995) Plano Diretor de Belo Horizonte: Lei de Uso e Ocupação do Solo - estudos básicos. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

Cleugh, H. e Grimmond, S. (2012) Urban Climates and Global Climate Change. In: Henderson-Sellers, A. e McGuffie, K. The Future of the World's Climate, Elsevier, Oxford, UK.

Ferreira, D. G. e Assis, E. S. (2006) Natural ventilation in urban areas: the case of Belo Horizonte city, Brazil, Proceedings of the 6th International Conference on Urban Climate, Urban Climate Group; Dep. Geoscience; Göteborg University, 1, 623-626.

Ferreira, D. G. e Assis, E. S. (2010) A influência da cidade sobre os padrões locais do vento analisada a partir de simulação dinâmica do clima, Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG. Online), 3, 179 -. Disponível em: <[http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum\\_patrimonio/article/view/44](http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/44)>. Acesso em: jun. 2014.

Ferreira, D. G.; Ferreira, C. M. O.; Costa, S. M. M. e Assis, E. S. (2008) Comparação entre métodos morfométricos para determinação de parâmetros de rugosidade para a cidade de Belo Horizonte, Brasil, Anales 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento, Montevideo, 1-8.

Lopes, A. M. S. (2003) Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor de superfície e balanço energético, Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Moreira, A. A. M. (1999) A influência da circulação de macro-escala sobre o clima de Belo Horizonte, Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo

Horizonte.

Oke, T. R. (1994) Change and Urban Climates. Proceedings 13th Intern. Congr. Biometeor., 12-18 Sept. 1993, Calgary, Canada, 123-134.

Plate, E. J. (1999) Methods of investigating urban wind fields-physical models, Atmospheric Environment, 33 (24-25), October 1999, 3981-3989.

Prata, A. R. (2005) Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano, Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Segawa, H. (2002) Arquiteturas no Brasil: 1900-1990. São Paulo: Edusp.

Souch, C. e Grimmond, S. (2006) Applied climatology: urban climate, Progress in Physical Geography, 30 (2), 270-279.

<sup>1</sup> Estes valores são resultado da compilação de registros anemométricos do 5º DISME/INMET do período entre 1961 e 1990.

<sup>2</sup> A diferença de data entre os dados de vento e da imagem de satélite deve-se à disponibilidade de informações, ao comportamento climático do ano e à escolha de período que não estava sob a influência de anomalias climáticas (Ferreira e Assis, 2010).