

A influência de diferentes arranjos construtivos no comportamento da ventilação natural

The influence of different constructive arrangements in natural ventilation

Raffaela Germano de Lima, Leonardo Salazar Bittencourt

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil

Resumo

Regiões de clima quente úmido, como a cidade de Maceió, situada no nordeste brasileiro, são caracterizadas climaticamente por apresentarem pequenas flutuações diárias de temperatura do ar e alta umidade. Para a obtenção de um melhor desempenho térmico, as construções devem evitar ganhos de calor pela radiação solar e dissipar o calor produzido internamente, assim como o absorvido pelo seu envelope, e a ventilação natural exerce função fundamental para essa dissipação. Este trabalho analisou a ventilação natural no meio urbano em diferentes arranjos construtivos considerando um recorte da cidade de Maceió. Utilizaram-se simulações com o programa Envi-Met 4.0, em uma quadra típica exposta às condições climáticas. Foram simulados oito modelos, variando os parâmetros gabarito, recuos progressivos e forma dos edifícios. Resultados indicam no modelo Compacto 4 e Linear 4 reduções da esteira de vento e melhor distribuição da ventilação natural, influenciada pela combinação entre elevado gabarito e recuos do edifício. Fato que vem sendo desconsiderado na legislação urbanística da maioria das cidades brasileiras.

Palavras-chave: Ventilação natural. Arranjos construtivos. Gabarito. Recuos progressivos. Forma dos edifícios.

Abstract

Regions of hot and humid climate, like Maceio, located in the northeast of Brazil, are climatically characterized by presenting small daily fluctuations in air temperature and high humidity. In order to obtain a better thermal performance, the constructs should avoid heat gain by solar radiation and dissipate heat generated internally, such as the heat absorbed by its envelope, thereby natural ventilation plays a fundamental role for

RGL é Arquiteta e Professora do Instituto Federal de Alagoas, Mestre, e-mail: lelagermano@yahoo.com.br
LSB é Arquiteto e Professor da Universidade Federal de Alagoas, Doutor, e-mail: lsb54@hotmail.com



this dissipation. This study analyzed the natural ventilation in urban areas in different constructive arrangements considering a cutout of Maceió. Simulations with the program Envi-Met 4.0 were used in a typical block exposed to weather conditions. Eight models were simulated, varying parameters of height and form of the building and its progressive retreat. Results indicate, in the model Compact 4 and Linear 4, reductions of currents of wind and better distribution of natural ventilation, influenced by the combination of high-level height and retreats of the building. Fact that has been disregarded in the urban legislation in most Brazilian cities.

Keywords: *Natural ventilation. Constructive arrangements. Height of a building. Progressive retreat. Shape of buildings.*

Introdução

Em climas quentes e úmidos, a ventilação se constitui na estratégia bioclimática de maior eficiência para a obtenção de conforto térmico, uma vez que depende principalmente de decisões arquitetônicas relativamente simples que não implicam no aumento do custo da construção civil.

Considerando que a maioria da população brasileira é constituída por trabalhadores com baixa renda, por esse motivo, a ventilação nas edificações se constitui em aspecto relevante para essa parte da população, que não possui recursos financeiros para a aquisição e manutenção de equipamentos mecânicos de condicionamento do ar, dependendo fundamentalmente de meios passivos para a obtenção de conforto térmico no ambiente construído.

Além disto, a energia que é utilizada pelos sistemas de ar condicionados demanda um elevado investimento financeiro nas usinas de geração de energia, que poderiam ser direcionados para a satisfação de necessidades mais urgentes, tais como saúde e educação da população do país.

Sabe-se que tecidos urbanos com alta densidade construtiva contribuem para o compartilhamento de infraestrutura e serviços urbanos. Esta condição em um primeiro momento pode contribuir para reduzir o consumo per capita de energia em relação a áreas menos adensadas, uma vez que haveria a utilização da infraestrutura urbana de forma mais eficiente.

Em áreas marcadas pela forte verticalização, quando associadas à alta densidade construtiva, podem causar efeitos negativos no microclima local, afetando o desempenho térmico das edificações e a qualidade dos espaços urbanos,

sobretudo no que tange à ventilação da malha urbana. Entretanto, a verticalidade nem sempre é sinônimo de alta densidade, mesmo no caso de edifícios com grande número de pavimentos, esta configuração pode estar entre as configurações com menor densidade, quanto à taxa de ocupação do solo, e podem contribuir para a melhoria do sombreamento dos edifícios circunvizinhos.

Além da verticalização, outros fatores como a compacidade, rugosidade e porosidade podem afetar a circulação de ar no tecido urbano bem como influenciar o desempenho térmico e a qualidade ambiental, dos espaços urbanos e consequentemente de seus edifícios. Tais fatores afetam de maneira significativa a permeabilidade dos ambientes construídos ao vento, resultando em áreas com fortes correntes de vento ou em zonas de estagnação do escoamento de ar, o que, por sua vez, pode afetar o conforto térmico do pedestre ao ar livre e a dispersão de poluentes gerados pelo tráfego urbano (Ng et al., 2011).

Quando a corrente de ar entra em contato com superfícies com diferentes rugosidades, sofre diferentes efeitos de fricção. O grau de rugosidade das superfícies que compõem a cidade determina a intensidade de tais efeitos. Ao analisar o aumento da velocidade do vento ao longo de um eixo vertical, observa-se que essa velocidade varia de zero (na superfície terrestre), até uma velocidade idêntica à do fluxo livre de obstruções, gerando o que se chama de gradiente da velocidade do vento. O ponto mais alto, onde já não existe a influência do atrito da terra é chamado de altura do gradiente e esta altura é definida em relação à rugosidade do entorno. Áreas de campos abertos, áreas suburbanas ou cidades, apresentam diferentes alturas de gradientes. Sendo assim, a velocidade do vento na

altura das construções varia de acordo com o entorno circundante (Bittencourt & Cândido, 2005; Oke, 1987).

Segundo Sacre (1983), para uma mesma altura, de cerca de 20m acima do solo, pode-se observar uma velocidade média, em torno de 20 a 30% menor na cidade, em relação a áreas menos adensadas. Por outro lado, a turbulência aumenta na ordem de 50 a 100%. Fatores como a orientação das ruas e das quadras urbanas também podem influenciar o comportamento do escoamento do ar na malha urbana.

Oke (1987), mostrou o efeito da orientação e também do prospecto médio (altura e largura) em cânions urbanos. Em malhas urbanas extremamente densas e rugosas, onde há a existência de grandes prospectos, a velocidade do vento é reduzida e o calor mais dificilmente dissipado.

A edificação pode proporcionar forte impacto no seu entorno imediato e cabe à legislação municipal, em seus códigos de edificações incluir restrições construtivas capazes de garantir o melhor aproveitamento das características ambientais positivas, a exemplo do acesso a luz e a ventilação natural, para cidades com clima quente e úmido (Bittencourt, 2015).

Na cidade de Maceió, no seu atual Código de Urbanismo e Edificações (Maceió, 2007), quanto maior a altura das edificações maiores serão os recuos mínimos em relação aos limites do terreno, conforme Tabela 1. Mas a relação entre a taxa de ocupação (TO) e o coeficiente de aproveitamento (CA) é estabelecida de forma a condicionar o número de pavimentos do edifício a um percentual de ocupação do lote. Ou seja, considerando a TO para o recorte urbano estudado de 20% e que seu CA é de 4 vezes a área do terreno, observa-se um limite máximo de 20 de pavimentos para os edifícios na região da cidade estudada.

Entender o comportamento da ventilação natural no meio urbano, diante dos parâmetros construtivos definidos para o edifício, é de grande importância para o planejamento urbano. No entanto, a magnitude do impacto dessas configurações da velocidade do vento, se constitui em informação preciosa no que se refere à avaliação do impacto real proporcionado por diferentes arranjos construtivos. É nesse ponto que reside a contribuição do presente artigo. E o uso de simulações

computacionais se constitui um instrumento metodológico eficiente para a investigação do comportamento de tais fenômenos. Essa ferramenta possibilita análises paramétricas de diferentes cenários, a exemplo do presente artigo, que estudou a relação entre gabaritos, recuos e formas do edifício no desempenho da ventilação natural, para uma fração urbana, na área litorânea da cidade de Maceió, Brasil.

Metodologia

Caracterização do Objeto de Estudo

A cidade de Maceió está localizada às margens do Oceano Atlântico, no litoral da região nordeste do Brasil, na latitude sul 9°39'57" e longitude oeste 35°44'07". Abrangendo uma área total de 512 km².

A legislação municipal que rege o ato de construir na cidade de Maceió estabeleceu o seu Mapa de Zoneamento Urbano. Para o presente estudo, considerou-se um recorte da Zona de Uso Residencial 5 - ZR 5, por se tratar de uma área em processo de expansão na cidade.

Segundo os parâmetros urbanísticos para esta zona, construções verticais não devem exceder o limite de 10 a 20 pavimentos, para as respectivas taxas de ocupação máxima de 50% e 20%. Outro parâmetro restritivo é o afastamento do edifício em relação aos limites do lote. Esses afastamentos são determinados pelos recuos mínimos obrigatórios (frente, fundo e laterais) progressivos — variando em função do número de pavimentos do edifício, e calculados a partir das fórmulas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo dos recuos mínimos obrigatórios, em metros.

FÓRMULAS PARA OS RECUOS PROGRESSIVOS (m)	FRONTAL (m)	POSTERIOR (m)	LATERAL (m)
	$5 + \frac{n-2}{2}$	$3 + \frac{n-2}{2}$	$1,5 + \frac{n-2}{2}$

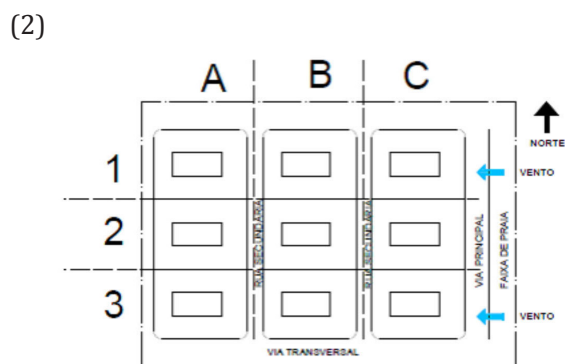
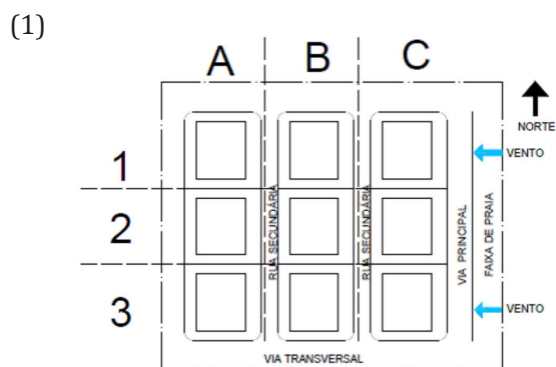
Fonte: Maceió (2007).

Definição dos cenários

O presente trabalho foi baseado em análises paramétricas visando examinar o impacto das variáveis “forma do edifício, gabarito e recuos” no escoamento do vento na malha urbana. Para tal, foram realizadas simulações computacionais utilizando o software Envi-Met, versão 4 (Bruse, 2015). Trata-se de um software que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente a partir de modelos tridimensionais de clima urbano.

Definição dos modelos computacionais

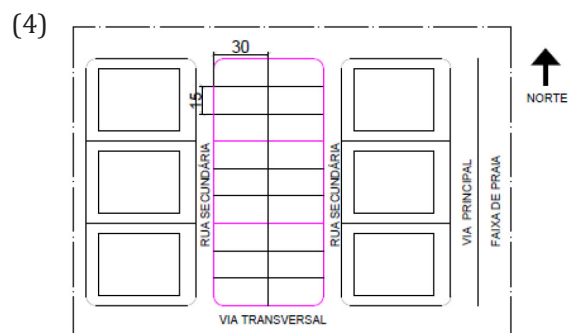
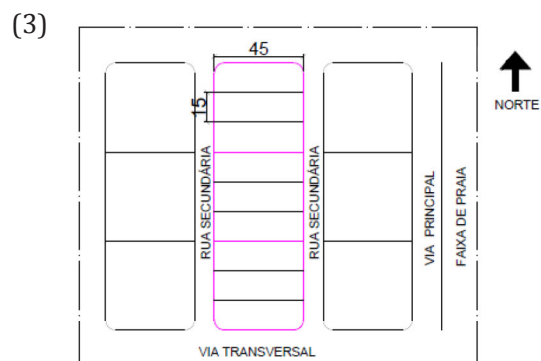
Pensando em um cenário de verticalização para o litoral norte da cidade de Maceió, região de grande crescimento imobiliário, considerou-se um recorte espacial composto por um conjunto de três edifícios dispostos em três quadras situadas à beira mar, que definem os modelos computacionais a serem investigados, conforme Figuras 1 e 2.



Figuras 1 e 2 - Esquemas de recorte do tecido urbano com edifícios de forma compacta (1) e forma linear (2).

Fonte: Autor (2016).

Os edifícios compactos foram implantados considerando o remembramento de 3 lotes de 15x45m. Já os edifícios lineares foram implantados em terrenos no qual foram considerados o remembramento de 6 lotes de 15x30m, conforme Figuras 3 e 4.





Figuras 3 e 4 - Esquemas dos remembramentos dos lotes com implantação de edifícios compactos (3) e lotes com implantação de edifícios lineares (4).
Fonte: Autor (2016).

Foram definidos oito modelos computacionais, variando os seguintes parâmetros (Tabela 2):

- Forma dos edifícios: COMPACTO e LINEAR — tendo como referência os recuos progressivos, que podem ser observados na Tabela 2.
- Gabarito: 10 e 20 pavimentos, e;
- Recuo frontal e recuos laterais, ambos progressivos, estabelecidos pela legislação municipal; e r e recuos laterais ampliados (definidos pelo autor), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Esquema das simulações computacionais realizadas.

FORMA DO EDIFÍCIO (m)		GABARITO	RECUOS PROGRESSIVOS (m)	MODELOS
	$a = 34$ $b = 29$	10 Pavimentos	Frontal: $5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $1,5 + \frac{n-2}{2}$	Compacto 1
	$a = 25$ $b = 26,5$		Frontal: $7,5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $6 + \frac{n-2}{2}$	Compacto 2*
	$a = 24$ $b = 19$	20 Pavimentos	Frontal: $5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $1,5 + \frac{n-2}{2}$	Compacto 3
	$a = 15$ $b = 16,5$		Frontal: $7,5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $6 + \frac{n-2}{2}$	Compacto 4*
	$a = 34$ $b = 44$	10 Pavimentos	Frontal: $5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $1,5 + \frac{n-2}{2}$	Linear 1
	$a = 25$ $b = 41,5$		Frontal: $7,5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $6 + \frac{n-2}{2}$	Linear 2*
	$a = 24$ $b = 34$	20 Pavimentos	Frontal: $5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $1,5 + \frac{n-2}{2}$	Linear 3
	$a = 15$ $b = 31,5$		Frontal: $7,5 + \frac{n-2}{2}$ Lateral: $6 + \frac{n-2}{2}$	Linear 4*

*Recuos progressivos ampliados.

Fonte: Autor (2016).

Os edifícios foram identificados por eixos verticais com letras de A a C e eixos horizontais numerados de 1 a 3, gerando nomenclaturas para cada um dos blocos, que podem ser observadas nas figuras 1 e 2.

Dados de entrada para a simulação

Seguindo recomendações do tutorial do programa Envi-Met, realizou-se simulações com duração total de mais de 24 horas, iniciando às 21h00 do dia 16 de fevereiro (sem influência do aporte solar). Porém, foram analisados os horários das 09h e 15h

do dia 17 de fevereiro (dia intermediário da simulação), desprezando assim as primeiras horas da simulação que serviria apenas para alinhar o programa (Bruse, 2015). Foram utilizados os mesmos parâmetros climáticos de entrada para as simulações, de modo a viabilizar a comparação entre os resultados obtidos, conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Dados climáticos utilizados na simulação.

Dados de Entrada	Valores
Velocidade do vento a 10m de altura	4,18m/s
Direção do vento	Leste (90°)
Rugosidade do local	0.01
Temperatura do ar	299.45 K = 26.3 °C
Umidade específica a 2500m	5.3 g/kg
Umidade relativa do ar em 2m	76.6 %

Fontes: Universidade de Wyoming (2015); Inmet. (2016).

Os dados climáticos de entrada foram retirados das Normas Climatológicas de Maceió para o período entre 1961 e 1990, de acordo com as médias do mês de fevereiro. Já os dados de umidade específica

a 2.500m, foram obtidos da cidade de Natal (por inexistir dados provenientes de balões atmosféricos na cidade de Maceió - AL), a partir dos dados disponibilizados pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming, nos Estados Unidos.

A velocidade do vento utilizada nas simulações computacionais foi obtida pela média da velocidade do vento do período de verão (situação de calor extremo), considerando a direção predominante nesse mesmo período, uma vez que valores medidos poderiam induzir ao erro, devido à intensa variabilidade desses valores obtidos por meio de medições locais.

Após a simulação dos oito modelos descritos na tabela 2, foram realizadas análises comparativas das velocidades e distribuição do escoamento do vento no recorte estudado.

Resultados obtidos

A Tabela 4 indica a síntese dos resultados obtidos de velocidade do vento para os oito modelos estudados, de acordo com a combinação da forma, gabarito e recuos dos edifícios.

Tabela 4 - Síntese dos resultados obtidos.

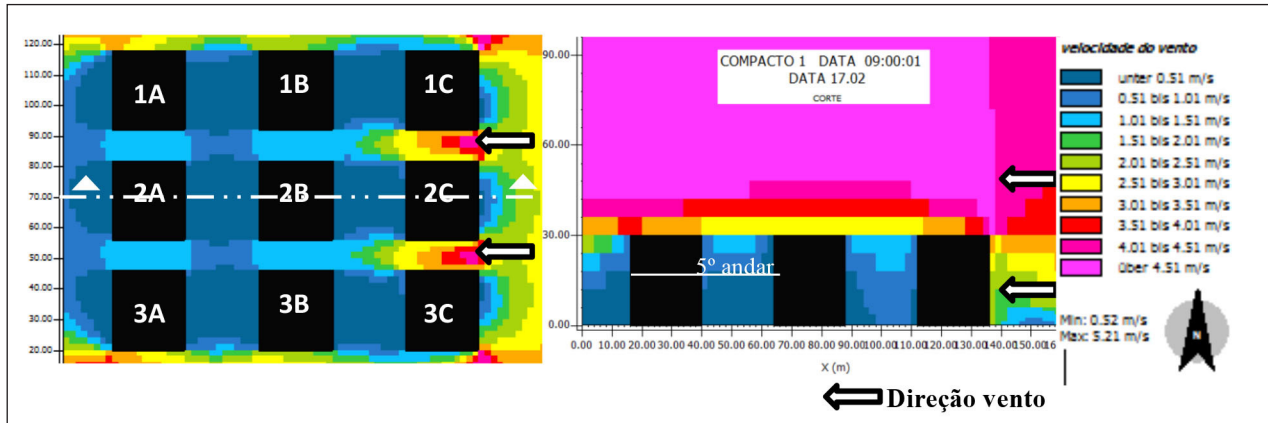
	Compacto 1	Compacto 2	Compacto 3	Compacto 4	Linear 1	Linear 2	Linear 3	Linear 4
Dimensão do Bloco a x b (m)*	34 x 29	25 x 26,5	24 x 19	15 x 16,5	34 x 44	25 x 41,5	24 x 34	15 x 31,5
Espaçamentos Laterais (m)	11	20	21	30	11	20	21	30
Espaçamento Frontal/ Posterior (m)	26	28,5	36	38,5	26	28,5	36	38,5
Vel. do ar na esteira de vento (m/s)	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,5	1,0 – 2,0	Até 0,5	0,5 – 1,5	1,0 – 1,5	1,0 – 2,5
Vel. do ar nos corredores de vento (m/s)	Até 1,5	2,0 – 3,0	2,5 – 4,5	2,5 - > 4,5	< 0,5 – 2,5	1,0 – 4,0	1,5 – 4,0	2,0 – 4,0

*Conforme Tabela 2.

Fonte: Elaborada pelos autores.

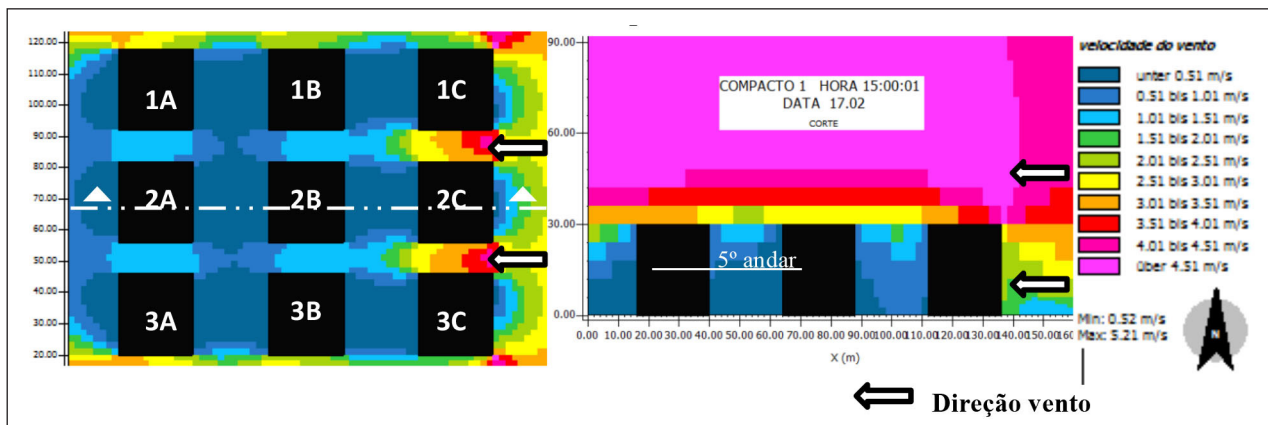
As figuras 5 a 36 mostram os resultados da simulação do comportamento do vento para os oitos modelos avaliados, nos dois horários considerados (09h e 15h). Foi analisada a seção horizontal no

nível de um pavimento intermediário, representado pelo 5º andar e a seção vertical, nos horários citados anteriormente.



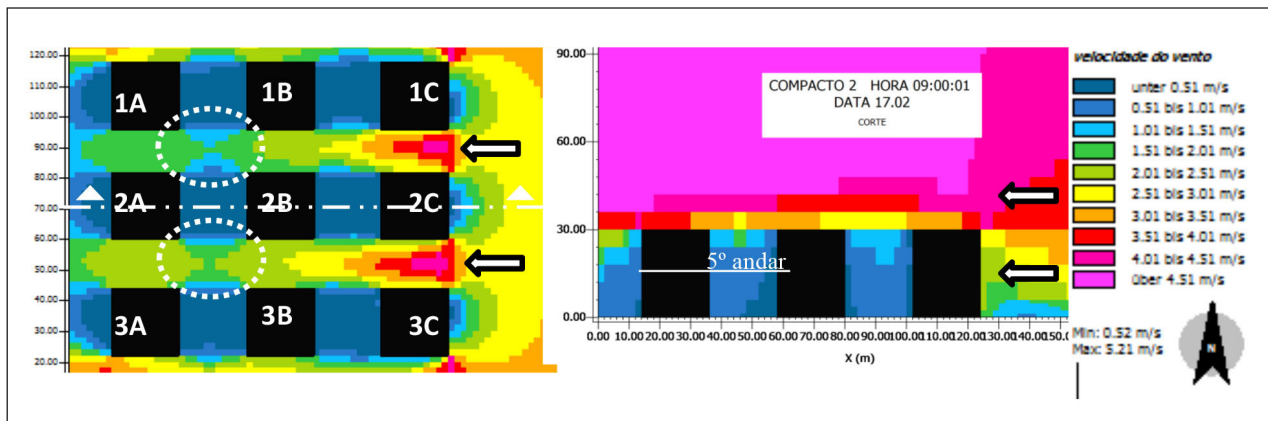
Figuras 5 e 6 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Compacto 1.

Fonte: Elaborada pelos autores.



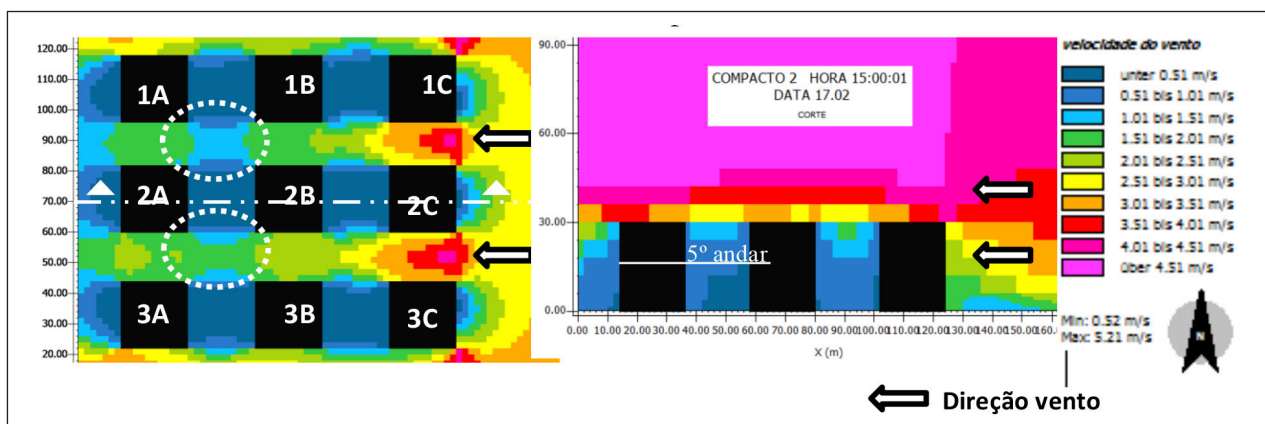
Figuras 7 e 8 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Compacto 1.

Fonte: Elaborada pelos autores.



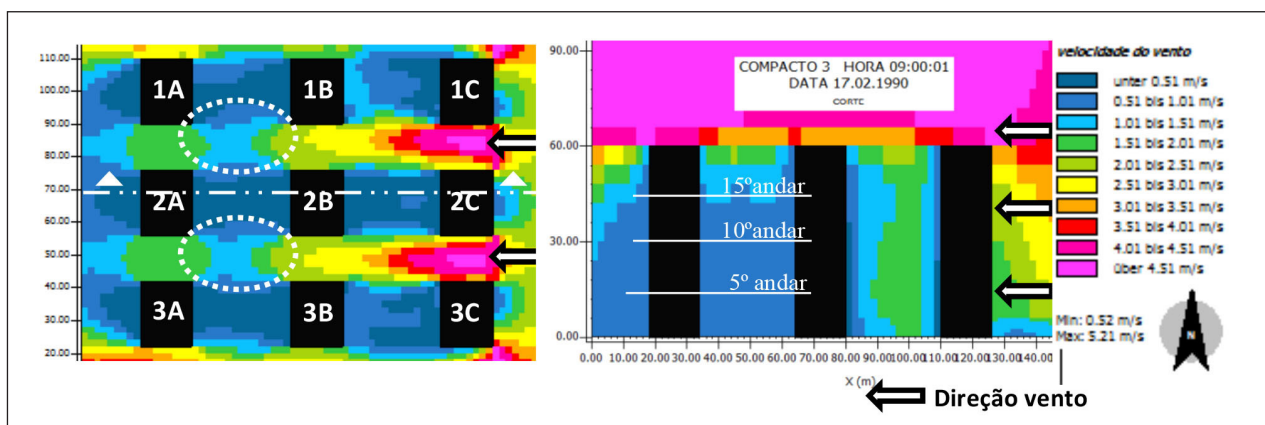
Figuras 9 e 10 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Compacto 2.

Fonte: Elaborada pelos autores.



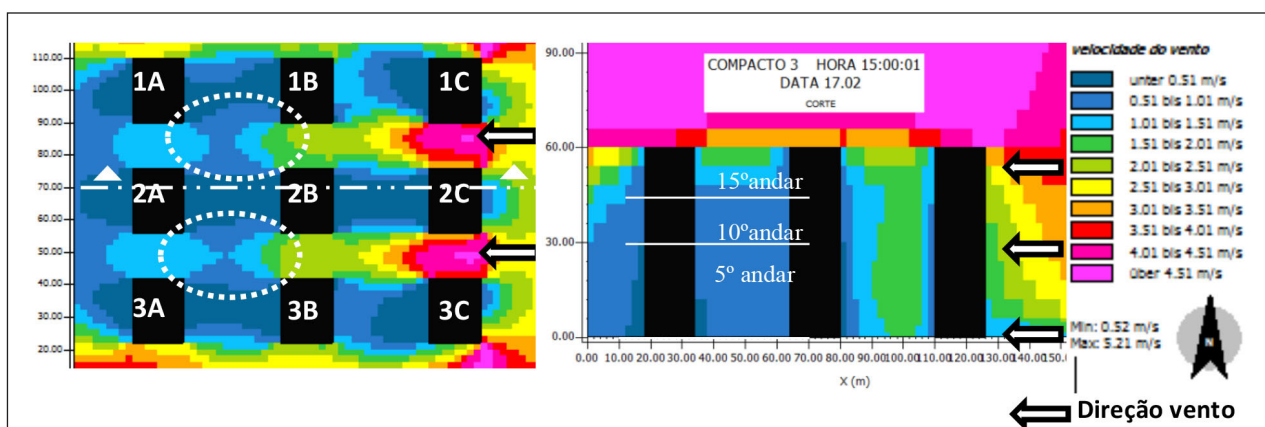
Figuras 11 e 12 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Compacto 2.

Fonte: Elaborada pelos autores.



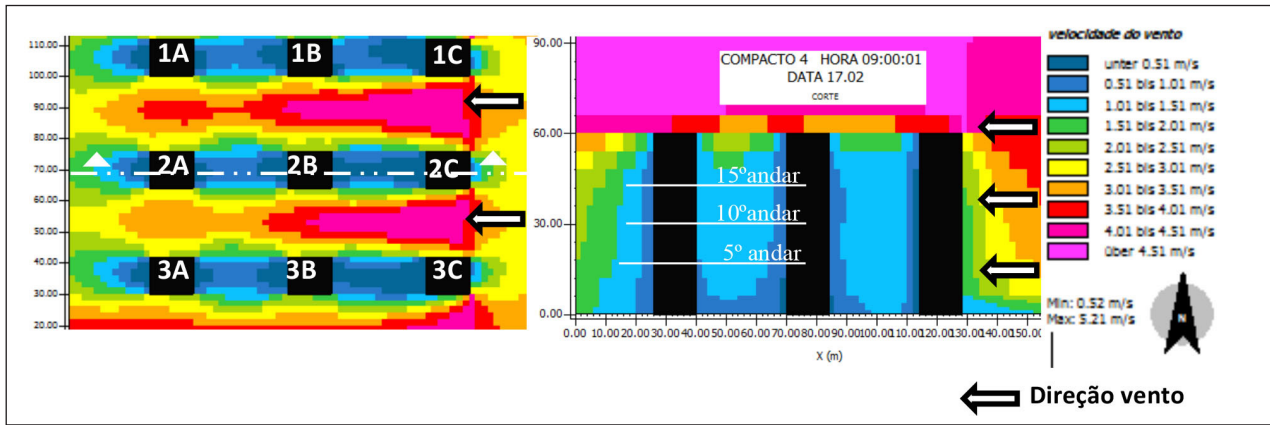
Figuras 13 e 14 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Compacto 3.

Fonte: Elaborada pelos autores.

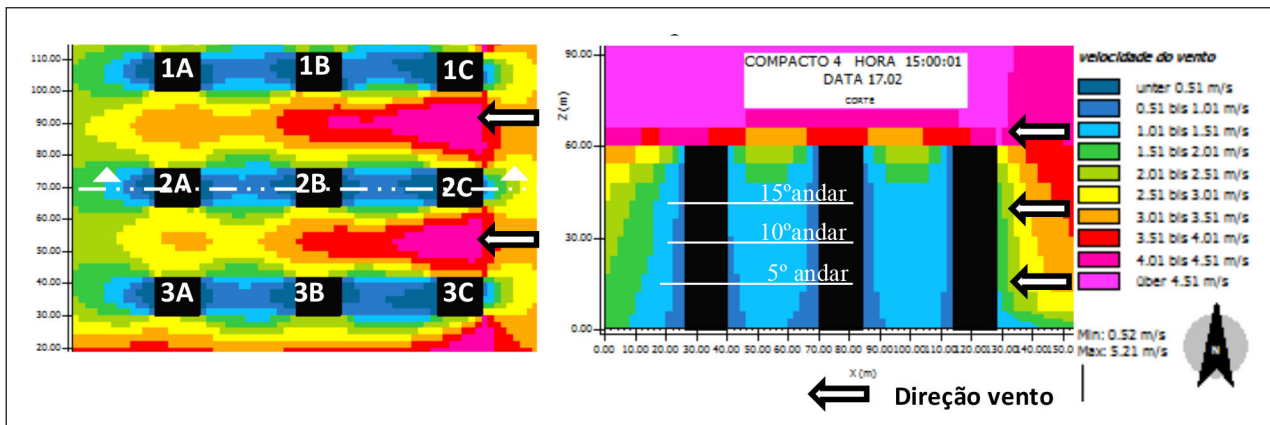


Figuras 15 e 16 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Compacto 3.

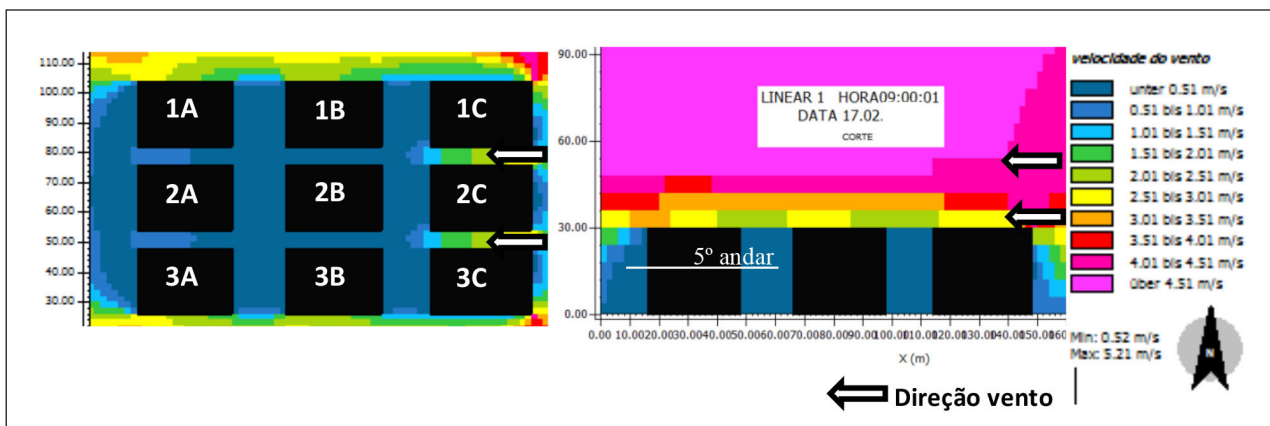
Fonte: Elaborada pelos autores.



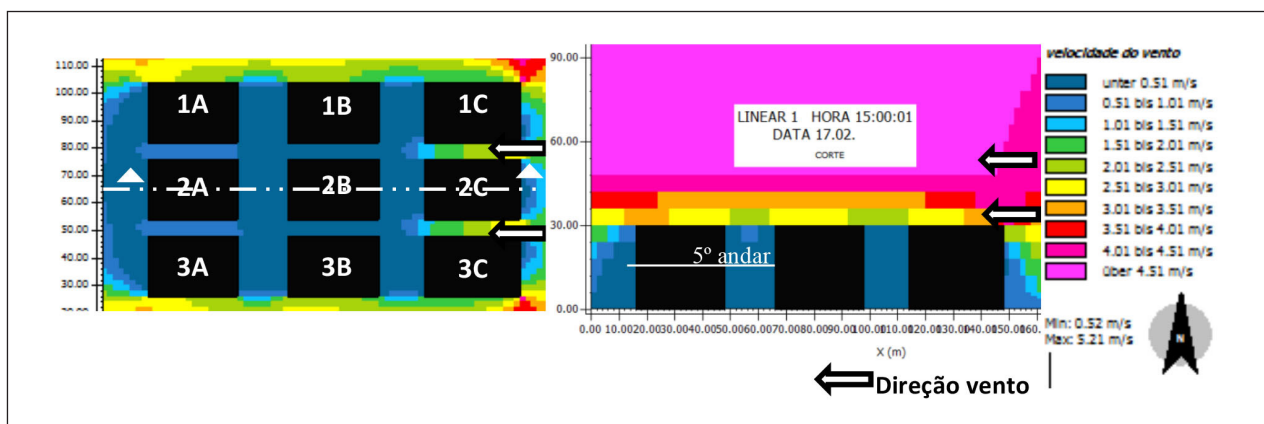
Figuras 17 e 18 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Compacto 4.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



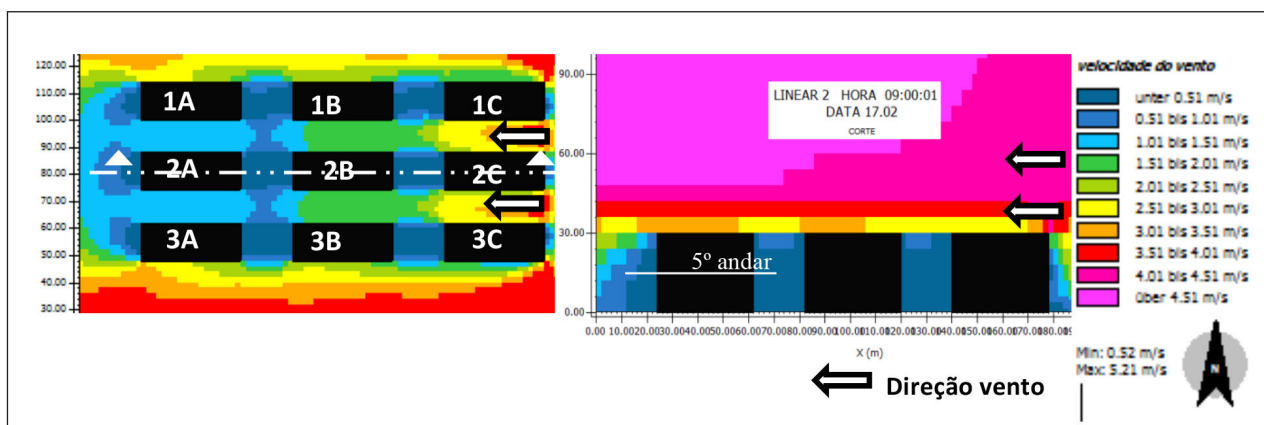
Figuras 19 e 20 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Compacto 4.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



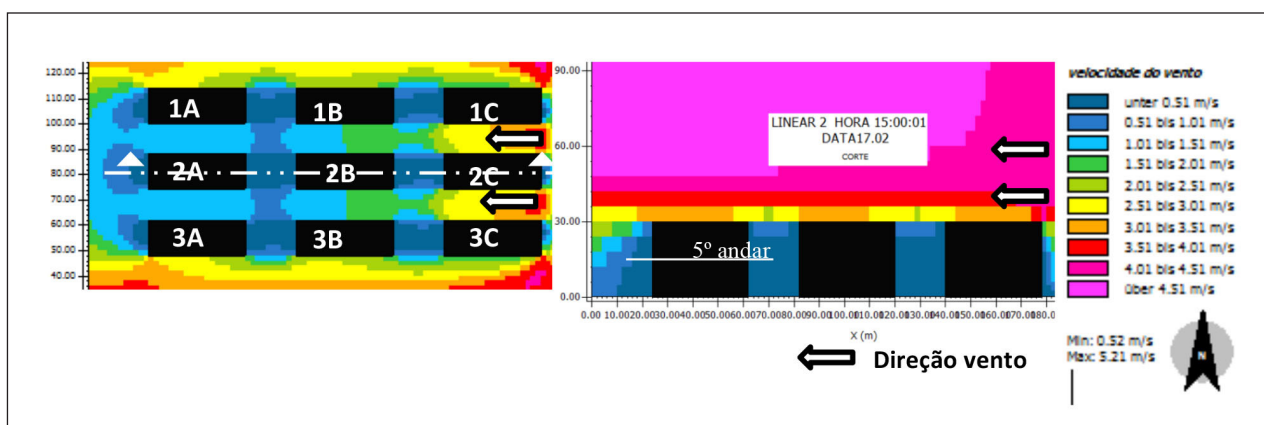
Figuras 21 e 22 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Linear 1.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



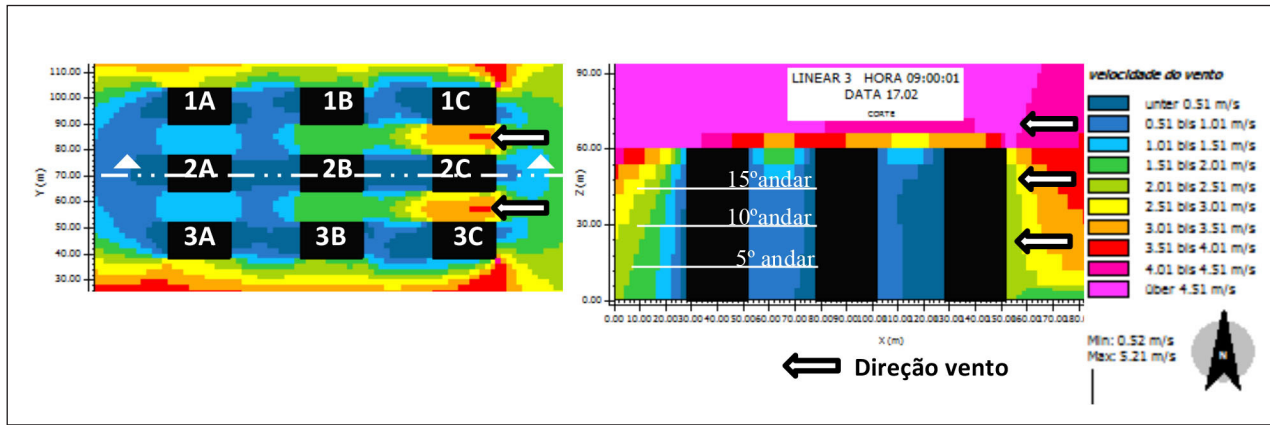
Figuras 23 e 24 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Linear 1.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



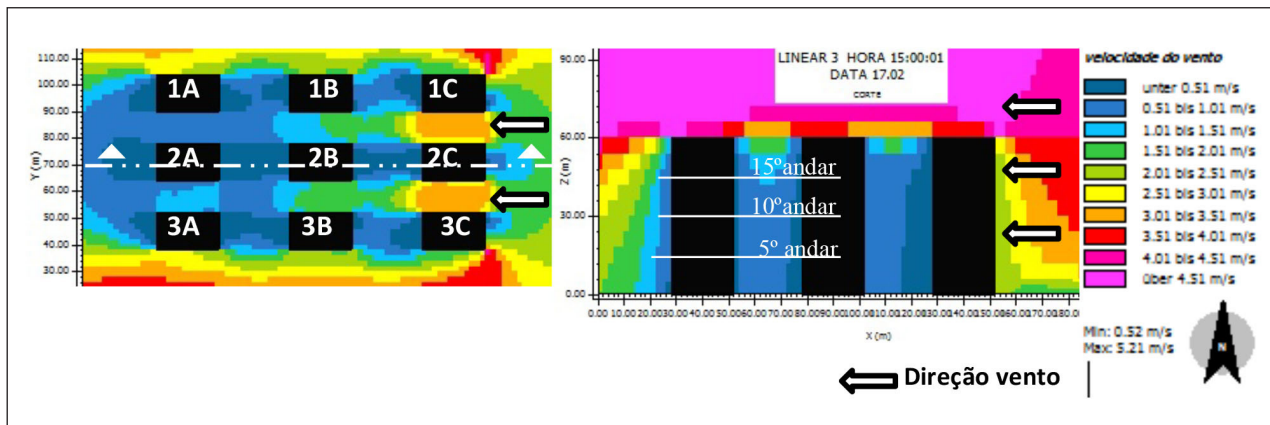
Figuras 25 e 26 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Linear 2.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



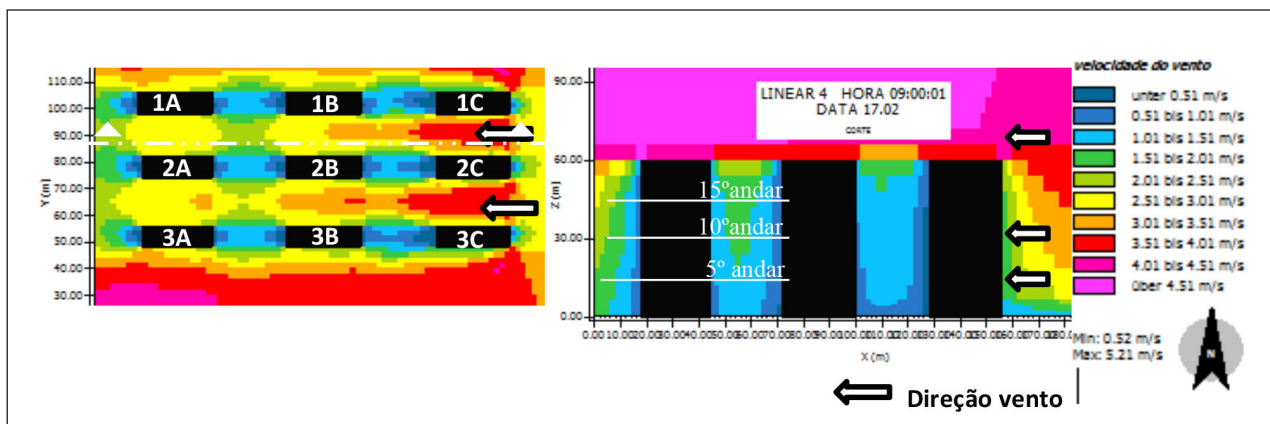
Figuras 27 e 28 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Linear 2.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



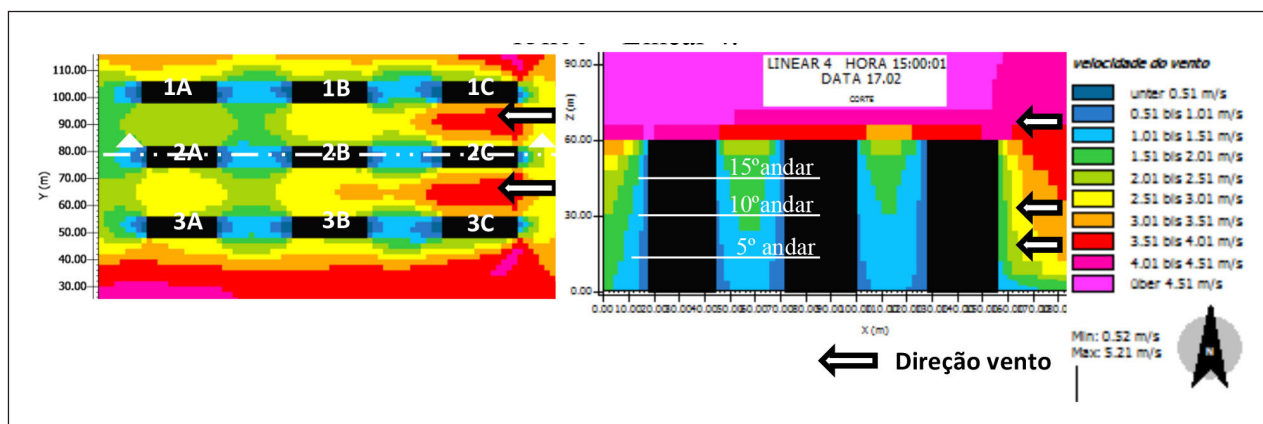
Figuras 29 e 30 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Linear 3.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



Figuras 31 e 32 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Linear 3.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



Figuras 33 e 34 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 09h00 – Linear 4.
 Fonte: Elaborada pelos autores.



Figuras 35 e 36 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical – às 15h00 – Linear 4.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Análise dos resultados

Modelo: Compacto 1 (10 pavimentos)

No modelo Compacto 1 (Tabela 2), foram consideradas edificações com 10 pavimentos e recuos progressivos estabelecidos de acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (laterais de 5,5m; o frontal de 9,0m; e de fundo de 7,0m). Os resultados mostraram que o afastamento entre os edifícios, formado pelos recuos frontal e posterior (do edifício imediatamente seguinte), não foram suficientes para produzir uma boa ventilação nas prováveis aberturas dos edifícios 1A, 1B, 2A, 2B, 3A e 3B, essa região apresentou áreas com forte estagnação do ar, proporcionando velocidades de 0,5 a 1,0m/s.

Os espaçamentos laterais entre os edifícios, por apresentarem uma pequena largura de 11m (apenas 32% da largura do bloco) e ao contribuir para uma ligação bem definida entre os blocos, resultou na canalização do vento. Desta forma, a velocidade do vento aumentou para até 1,5m/s nesses corredores de vento (Figuras 5 e 7).

Observa-se um aumento da velocidade do vento apenas entre os edifícios 1C/ 2C e 2C/3C a barlavento (Figuras 5 e 7). Estes atuaram como barreiras que impediram a incidência do vento nos edifícios das quadras a sotavento, onde ocorre maior turbulência e onde, comprovadamente, os ventos circulam em velocidades mais baixas.

Koenigsberger et al. (1977), justifica que o meio urbano pode causar interferências no fluxo de deslocamento do vento, que passe de laminar para

turbulento, devido à formação de zonas de pressão positiva, à frente do obstáculo (barlavento) e zonas de pressão negativa, posterior ao mesmo (sotavento).

Na análise das seções verticais, percebeu-se que a uniformidade das alturas dos edifícios (10 pavimentos), associada a seus recuos de 26m (inferiores a largura de 29m de cada bloco), resultou em um movimento turbulento entre os blocos, e o fluxo de ar foi desviado para cima dos mesmos.

Nos andares mais próximos ao solo (até o 5º andar) o vento apresentou velocidade, de 0,5 a 1,0m/s. Atendendo a altura do gradiente de velocidade do vento, a partir do 6º andar a velocidade do vento chegou a atingir até 1,5m/s, conforme figuras 6 e 8.

Modelo: Compacto 2 (10 pavimentos)

No modelo Compacto 2 (Tabela 2), com edificações de 10 pavimentos e recuos progressivos ampliados (laterais de 10m; frontal de 11,5m; e de fundo de 7,0m). Os resultados mostraram que apesar da distância entre os edifícios ser 7% maior que seu comprimento (formada pelos recuos frontais, de fundos e a rua), ainda assim a velocidade do vento permaneceu de 0,5 a 1,0m/s entre os edifícios 1A/1B, 1B/1C, 2A/2B, 2B/2C, 3A/3B, 3B/3B.

Contudo, o aumento dos recuos laterais, que significou em uma distância de 20m entre os blocos, contribuiu para um maior escoamento do fluxo de vento entre os edifícios 1A / 2A, 2A / 3A, 1B / 2B e 2B / 3B (Figuras 9 e 11), o que refletiu em uma

menor turbulência nesta área e em maiores velocidades que variaram de 2,0 a 3,0m/s.

Ou seja, um recuo de 80% da largura do edifício resultou em velocidade do ar até duas vezes maior do que a do modelo compacto 1. Observa-se uma redução desta velocidade apenas no encontro entre quatro blocos, conforme destaque na figura 9 e 11. Isso se explica pela perda de energia cinética durante o escoamento do vento, ora a medida que o espaçamento entre o edifício vai aumentando, e ora pela fricção do escoamento com as fachadas dos edifícios.

Modelo: Compacto 3 (20 pavimentos)

No modelo Compacto 3 (Tabela 2), com edificações de 20 pavimentos e recuos progressivos estabelecidos de acordo com o Código de Maceió (laterais de 10,5m; frontal de 14m; e fundo de 12m), observa-se que a região entre os edifícios apresentou velocidades de vento mais variáveis, oscilando entre 0,5m/s à 2,5m/s (Figuras 13 e 15).

Percebe-se que a zona de baixa pressão foi mais profunda, porém apresentou maior velocidade do ar do que os modelos anteriores. Segundo Mascaró (1991), isso é um fenômeno que ocorre em edifícios de maior altura.

Os corredores de vento formados pelos recuos laterais apresentaram maiores intensidades do fluxo de ar, principalmente nos horários da manhã, com velocidades acima de 4,5m/s, na quadra a barlavento e de até 2,5m/s na quadra a sotavento. (ver Figura 15). Observou-se apenas uma redução da velocidade do vento, proveniente de perdas de energia cinética durante o escoamento, entre os blocos 1A, 1B, 2A, 2B, 3A e 3B, conforme destaque nas Figuras 13 e 15.

Nas seções verticais, a altura de 20 pavimentos contribuiu para o aumento das velocidades do vento em torno dos edifícios, principalmente a barlavento (Figura 14 e 16). Para Gandemer (1978) apud Sousa, (2014), quanto mais alto é o edifício, maior é a diferença de pressão e, por isso, maior é a velocidade do vento ao nível do pedestre a barlavento. É o que se chama de efeito de *wise* ou efeito de redemoinho. Já a sotavento, apresentou-se um fluxo de ar mais turbulento e instável e por isso incapazes de alcançar os níveis de pedestres com muita intensidade (Figura 14 e 16).

Modelo: Compacto 4 (20 pavimentos)

No modelo Compacto 4 (Tabela 2), com edificações de 20 pavimentos e recuos progressivos ampliados (laterais de 15m; frontal de 16,5m; e fundo de 12m), também se observa a presença de esteiras de vento, porém mais rarefeitas e apresentando maiores velocidades de 1,00 a 2,0m/s, se comparado aos modelos anteriores.

Os resultados indicam que o aumento dos recuos laterais tiveram contribuições significativas para uma melhor permeabilidade ao vento por entre os edifícios, com velocidades que foram de 2,5m/s até acima de 4,5m/s (Figuras 17 e 19). Ou seja, neste modelo estudado de 20 pavimentos e com as dimensões de afastamento sendo o dobro da largura do edifício, a interferência no fluxo laminar inicial nesses trechos foi pouco perceptível, apresentando velocidades que chegaram a ser três vezes maior, se comparado ao modelo compacto 1 que apresentou a pior situação.

A combinação de grande altura e recuos ampliados resultou em melhora da ventilação em todos os pavimentos, principalmente para os mais próximos ao solo, que nos modelos anteriores apresentaram forte estagnação do ar, enquanto que no modelo Compacto 4, observou-se uma menor interferência da esteira na corrente de ar, e com isso uma maior penetração do vento (de 1,0 a 2,5 m/s) em toda a seção vertical (Figuras 18 e 20).

Modelo: LINEAR 1 (10 pavimentos)

No modelo Linear 1 (Tabela 2), com edificações de 10 pavimentos e recuos progressivos estabelecidos de acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (laterais de 5,5m; frontal de 9,0m; e de fundo de 7,0m). Os resultados mostram que essa configuração apresentou uma forte estagnação do ar com alto nível de turbulência, com velocidade de até 0,5m/s, na seção horizontal, como também na seção vertical (Figuras 21, 22, 23 e 24).

Este modelo assemelha-se a configuração já definida por Oke (1987), em que a disposição do arranjo construtivo associado ao espaçamento reduzido entre os edifícios, contribui para que ocorra a elevação do gradiente de ventilação,

comprometendo com isso a qualidade do ar, devido à baixa taxa de renovação do ar ao nível do solo. Ou seja, a distância entre os blocos (32% da dimensão da largura e 59% da dimensão do comprimento), fez com que o fluxo de ar desviasse para cima dos obstáculos, o que ocasionou um movimento turbulento no espaço entre esses blocos.

Modelo: LINEAR 2 (10 pavimentos)

No modelo Linear 2, com edificações de 10 pavimentos e recuos progressivos ampliados (laterais de 10m; frontal de 11,5m; e de fundo de 7,0m). Observa-se a formação de uma esteira de vento menor do que o modelo anterior, e que o modelo apresentou velocidade de vento que variaram de 0,5m/s a 1,5m/s. Marcaró (1991) afirma que, quanto maior a profundidade do edifício, menor a zona a sotavento.

Os recuos laterais ampliados contribuíram para um maior escoamento do vento, com velocidades que vão de 1,0m/s (entre 1A /2A, 2A /3A) a 4,0m/s (entre 1C / 2C, 2C / 3C). O escoamento do ar foi melhor distribuído entre os edifícios da quadra central no horário das 9h00, ver Figuras 25 e 27.

Contudo, a secção vertical indica que em todos os pavimentos do edifício a velocidade do vento se manteve predominantemente em 0,5m/s (Figuras 26 e 28). Ou seja, a homogeneidade das alturas dos blocos, associada a menores espaçamentos entre estes, de 28,5m (apenas 68,6 % da dimensão do seu comprimento), contribuíram para a formação de movimentos turbulentos por entre os edifícios, bem como para que a corrente de ar passe por cima dos mesmos.

Modelo: LINEAR 3 (20 pavimentos)

No modelo Linear 3 (Tabela 2), com edificações de 20 pavimentos e recuos progressivos estabelecidos de acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (laterais de 10,5m; frontal de 14,0m; e de fundo de 12,0m), os resultados mostram que a sombra de vento formada entre os

edifícios apresentou velocidade de vento de 1,0 a 1,5m/s (Figuras 29 e 31).

O comportamento do vento assemelha-se ao efeito de esteira, classificado por Gandemer (1978) apud Sousa (2014), que é a indução do ar de circular na forma de redemoinho na parte posterior ao edifício, devido à união de zonas de pressão distintas e a própria ação turbulenta do ar.

Observa-se que os corredores de vento formados ao longo dos recuos laterais, apresentaram maiores velocidades de vento a barlavento, que variaram de 4,0m/s a 1,5m/s (entre 1C / 2C e 2C /3C).

Às 15h00 a velocidade do vento predominante entre os edifícios foi de até 1,0m/s, (Figura 32). Ou seja, a distância entre os blocos semelhante ao comprimento do mesmo, não contribuiu para a permeabilidade do vento, principalmente no nível do pedestre.

Modelo: LINEAR 4 (20 pavimentos)

O modelo Linear 4 (Tabela 2), com edificações de 20 pavimentos e recuos progressivos ampliados (laterais de 15m; frontal de 16,5m; e de fundo de 12m), representa o arranjo construtivo que proporcionou a melhor distribuição da ventilação natural em torno dos seus edifícios, com velocidades que variaram de 0,5 a 4,0m/s. As regiões turbulentas a sotavento apresentaram velocidades de vento de 1,0 a 2,5m/s, (Figuras 33 e 35).

Os recuos laterais, ao medir o dobro de sua largura, contribuíram para um maior escoamento e aumento da velocidade do fluxo de ar (predominância de 3,0m/s), quatro vezes maior comparando-o aos modelos anteriores (Figuras 33 e 35). Entre os edifícios a barlavento 1C/2C e 2C/3C, a velocidade do vento chegou até 4,0m/s, (Figuras 33 e 35). Além disto, as seções verticais indicam que a velocidade ao longo dos pavimentos foi significativamente melhorada. Do 1º ao 7º pavimento, a velocidade chegou até 1,5m/s. A partir do 8º pavimento, a velocidade aumentou para até 2,0m/s e no 20º pavimento atingiu 2,5m/s (Figuras 34 e 36).

Dentre os modelos analisados, os modelos Compacto 4 e Linear 4 foram os que apresentaram as melhores condições quanto à distribuição e intensidade do fluxo do ar nos espaços externos.

Nas duas situações foi considerado o gabarito de 20 pavimentos associado a recuos ampliados, o que resultou, nestes modelos, taxas de ocupação — TO e coeficientes de aproveitamento — CA, respectivamente de: TO = 12,22% e CA = 2,44; TO = 17,5 e CA = 3,5. Tais índices encontram-se abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação municipal (TO = 20% e CA = 4). Já os modelos Compacto 1 (com TO = 48,69% e CA = 4,86) e Linear 1 (com TO = 55,40% e CA = 5,54) apresentaram as situações mais desfavoráveis, nos corredores de vento obtiveram apenas aproximadamente 11% da velocidade do ar, comparando aos modelos anteriores.

Percebe-se que as variáveis, forma e gabarito, não produziram efeitos significativos se analisadas isoladamente. As análises dos oito modelos de arranjo construtivo simulados evidenciaram uma forte influência da combinação do gabarito com os recuos laterais no escoamento e velocidade do vento.

A forma compacta dos edifícios foi responsável pela formação de grandes sombras de vento. Ao associá-la aos recuos laterais ampliados, notou-se um aumento da velocidade do vento, principalmente uma maior circulação do ar nos corredores laterais (duas vezes maior no modelo de 10 pavimentos e três vezes maior no modelo de 20 pavimentos).

A forma linear produziu menores esteiras de vento, observa-se um aumento da velocidade apenas quando a forma é associada a maiores recuos. O mesmo ocorreu nos corredores de vento laterais (uma velocidade quatro vezes maior).

Em relação a influência do gabarito, ressalta-se que nos modelos analisados foi considerada a uniformidade nas alturas dos edifícios. Uma maior rugosidade certamente influenciaria tais resultados. Como afirma Givoni (1998), que malhas urbanas mais densas, mas com variação na altura dos edifícios, podem contribuir para uma melhor ventilação urbana, se comparada a áreas urbanas de menor densidade e com edifícios de mesma altura. Pois, a integração de um edifício mais alto no tecido com outros de menor altura contribui para uma melhoria da taxa de renovação do ar em níveis mais baixos.

Diante de tais resultados, analisou-se o percentual de porosidade nas seções horizontal e vertical

dos quatro modelos com melhores resultados, e pôde-se constatar a relação direta da porosidade na seção horizontal com o melhor desempenho da distribuição da ventilação natural no recorte em estudo (Tabela 5):

Tabela 5 - Porosidade dos modelos de resultados mais significativos.

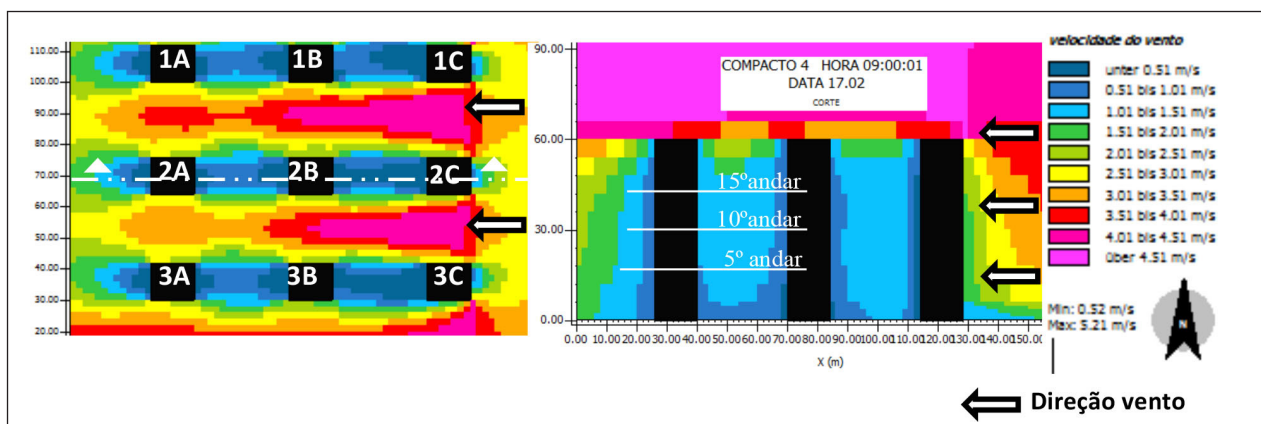
Modelo	Porosidade Seção Horizontal	Porosidade Seção Vertical
Compacto 1	57,6%	14%
Linear 1	50,5%	16,5%
Compacto 4	89,4%	15,9%
Linear 4	84,3%	23,6%

Fonte: Autor, 2016.

A redução da taxa de ocupação, ao considerar recuos mais largos, nos modelos Compacto 4 e Linear 4 foi compensada por torres mais altas, e este cruzamento de parâmetros resultou no melhor desempenho da ventilação natural no estudo em questão (até quatro vezes maior nos corredores de vento e até cinco vezes maior na esteira de vento), pois foi aumentada a porosidade na seção horizontal.

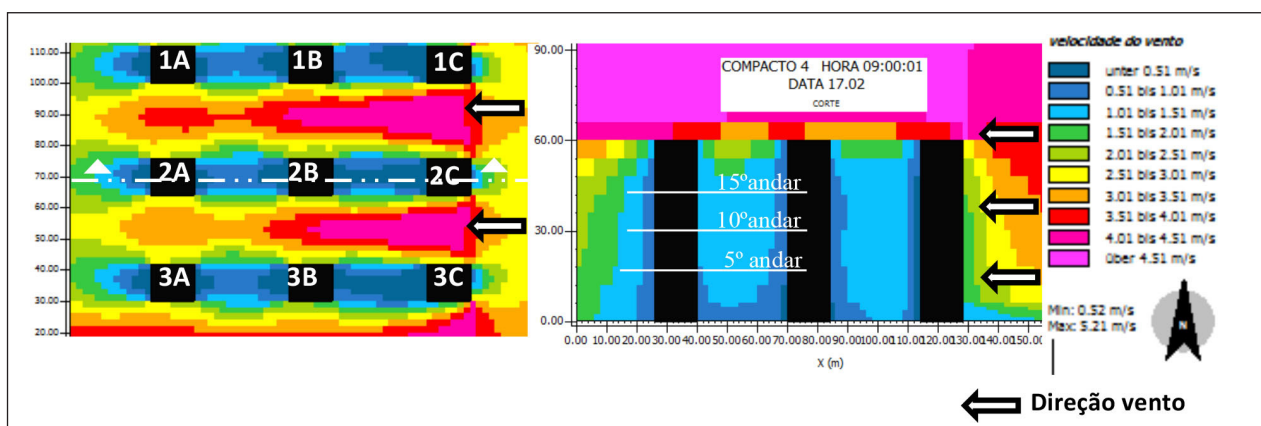
Estudos indicam que a porosidade urbana melhora significativamente a ventilação natural no nível do pedestre (Freitas 2005; Ng. et al. 2011; Sousa et al., 2014). Desta forma, a orientação das ruas, a configuração do arranjo e do edifício são parâmetros importantes para melhorar este desempenho.

Ressalta-se que este trabalho analisou a ventilação natural em diferentes arranjos construtivos urbanos considerando apenas o vento incidindo a 90° (orientação Leste). Incidências oblíquas certamente implicariam em diferentes resultados, como pode ser observado nas Figuras 37 a 40. Nestes modelos, se verificou que a incidência oblíqua do vento contribuiu para um melhor escoamento do ar por entre os edifícios e com maiores intensidades, em média 2,0m/s (Figuras 37 e 38). A incidência do vento na orientação sul também resultou na redução das sombras de vento e em um melhor escoamento do ar, com velocidades que foram de 4,0 a 2,5m/s (Figuras 39 e 40).



Figuras 37 e 38 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical — às 15h00 — Ventilação a SUDESTE.

Fonte: Elaborada pelos autores.



Figuras 39 e 40 - Seção horizontal no nível do 5º pavimento; Seção vertical — às 15h00 — Ventilação a SUL.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ou seja, a orientação das ruas e a configuração do arranjo são parâmetros importantes no desempenho da ventilação urbana, mas para garantir uma melhor eficiência é necessário que estes sejam dispostos de acordo com a direção do vento predominante.

Se a captação da ventilação natural é um aspecto positivo para o conforto térmico, em regiões de clima quente e úmido, faz-se necessário então que as ruas principais estejam posicionadas ao longo da direção predominante dos ventos, garantindo assim uma melhor distribuição e velocidade do fluxo de ar.

Conclusões

O presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento da ventilação natural em

edificações localizadas em diferentes arranjos construtivos, considerando um recorte do tecido urbano na área litorânea da cidade de Maceió — AL. Para isto foi avaliada a interferência da forma dos edifícios nesses arranjos, combinados com duas alturas de gabaritos e diferentes recuos frontais e laterais entre os edifícios.

Constatou-se que os modelos Compacto 1 e Linear 1, ambos apresentando 10 pavimentos e recuos estabelecidos pelas fórmulas do Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (2007), foram os que apresentaram maior sombra e estagnação do fluxo do vento com velocidade, em alguns pontos, até nove vezes menor do que os modelos de melhor desempenho. Isto sugere que altas taxas de ocupação e pequenos recuos contribuem para a redução

na ventilação das edificações localizadas a sotavento do arranjo construído.

Em contrapartida, os modelos Compacto 4 e Linear 4, com gabarito de 20 andares e maiores recuos, apresentaram melhor desempenho na ventilação natural.

O desempenho da ventilação nas áreas urbanas resulta da integração das características do edifício e da área urbana. Desta forma, a combinação de várias estratégias (de planejamento urbano e de projeto do edifício) é o mais recomendado, pois geralmente é mais eficiente do que uma estratégia isolada. Fato que vem sendo desconsiderado na legislação urbanística da maioria das cidades brasileiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES/FAPEAL pelo apoio e financiamento, por meio do Doutorado Cidades/ UFAL.

Referências

- Bittencourt, L. S. (2015). Considerações preliminares sobre o projeto do edifício ambiental. In Gonçalves, J. C. S. & K. Bode (Eds.), *Edifício Ambiental* (p. 36-46). São Paulo: Oficina de Textos.
- Bittencourt, L. S., & Candido, C. M. (2005). *Introdução à ventilação natural*. (2 ed.). Maceió: Edufal.
- Bruse, M. (2015). *Envi-met 4.0 Updated Model Overview*. Recuperado em 10 de novembro de 2015, de <http://www.envi-met.com/#section/intro>
- Freitas, R. (2005). *Entre mitos e limites: As possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano* (Tese de Doutorado). Departamento de arquitetura e urbanismo, Programa de pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Gandemer, J. (1978). *Discomfort due to wind near buildings aerodynamic concepts*. Washington: U.S. Govt. Print. Of.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in building and urban design*. Canada: Copyright by John Wiley & Sons.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Normais climatológicas do Brasil - 1961-1990*. Recuperado em 27 de fevereiro de 2016, de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>
- Koenigsberger, O.H.; Ingersoll, T.G.; Mayhew, A.; Szokolay, S.V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales*. Madri: Paraninfo.
- Maceió (2007, 08 de fevereiro). Lei Municipal n. 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Código de Urbanismo e Edificações de Maceió, Diretoria do Plano Diretor. Maceió.
- Mascaró, L. (1991). *Energia na edificação: Estratégias para minimizar seu consumo*. (2 ed.) São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda.
- Ng, E., Yuan, C., Chen, L., Ren, C., & Fung, J. C. H. (2011). Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. Elsevier. *Landscape and Urban Planning*, 101, 59-74, doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.01.004
- Oke, R. (1987). *Boundary layer climates*. (2 ed.). New York: Routledge.
- Sacre, C. (1983). *Le confort dans les espaces extérieurs: analyse microclimatique*. Nantes. Bâtiment: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, division climatologie.
- Sousa, J, Lamenha, M., Freitas, R., & Bittencourt, L. (2014). Efeito da altura e porosidade de edifícios na Ventilação urbana. In *Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído* - ENTAC, Maceió, AL.
- Sousa, J. P. M. (2014). *Influência da forma urbana na ventilação natural: Um estudo de caso no Cais José Estelita, Recife* (Dissertação de Mestrado). Departamento de arquitetura e urbanismo, Programa de pós-graduação em desenvolvimento urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Universidade de Wyoming. (2015). Department of Atmospheric Science. College of Engineering. Recuperado em 27 de fevereiro de 2016, de <http://weather.uwyo.edu/upperair/>

Recebido: Nov. 15, 2016

Aprovado: Mar. 08, 2017