XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO: O CASO DOS EDIFÍCIOS MONOLÍTICOS LARGAMENTE USADOS NO "PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA"

(1) Nair Ribeiro; (2) Iana Alexandra A. Rufino; (3) Juliana M. S. Costa Morais
(1) Arquiteta e Urbanista, nair.ribeiroo@gmail.com
(2) Prof. Drª Departamento Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, iana.alexandra@ufcg.edu.br, Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, (83) 21011063
(3) Prof. Drª Departamento Arquitetura e Urbanismo, jumagnacosta@hotmail.com, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, (83) 3216 7115

RESUMO
O artigo trata de uma aplicação de estudo de caso na cidade de Campina Grande/PB, região Nordeste do Brasil. O empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida possui 21 blocos de apartamentos (4 andares cada), dispostos em três variações de quantidade de apartamentos por pavimento. Em sua implantação aspectos importantes do clima local, como insolação e ventilação naturais são negligenciados, o que sugere problemas de conforto térmico. O objetivo deste artigo é analisar a ventilação natural no conjunto e propor uma nova implantação para o mesmo. Metodologicamente a ferramenta utilizada foi o ANSYS CFX, um *software* de fluidodinâmica computacional (CFD). Os resultados confirmam que o afastamento mínimo intra-blocos, privilegia a ventilação apenas dos blocos à barlavento, os demais ficam prejudicados pela padronização do seu gabarito e por estarem posicionados na "sombra de vento". Espera-se contribuir para reflexão sobre o uso desta tipologia visando à melhoria na qualidade de vida dos usuários.
Palavras-chave: ventilação natural, edifícios monolíticos, simulação computacional, CFD.

ABSTRACT
The article deals with a case study application in the city of Campina Grande / PB, Northeastern region of Brazil. The Programa Minha Casa Minha Vida project has 21 apartment blocks, with three modules of apartments per floor. Impossible for local climatic improvement, as insolation and control of natural resources are neglected, which is a problem of thermal comfort. The objective of this article is to analyze the natural and ninth venting an implantation post to same. Methodologically, a tool used was ANSYS CFX, computational fluid dynamics (CFD) *software*. The results confirm that the minimum intercompact movement, favors only one unit of windward blocks, the others are prejudiced by the standardization of their template and are positioned in the "wind shadow". It is hoped to help in the reflection on the use of this tip to improve the quality of life of the users.
Keywords: natural ventilation, monolithic buildings, computer simulation, CFD.

1. INTRODUÇÃO

Agravada pela a crise energética instalada mundialmente na década de 70, a responsabilidade da Arquitetura e do Urbanismo foi notadamente ampliada ganhando papel fundamental na promoção de cidades mais "sustentáveis", pois são essenciais para o planejamento do espaço urbano bem como dos edifícios que ali ocupam mediante da correta utilização dos recursos naturais e do consumo energético racional.

Dentre as diversas estratégias para concretização de uma arquitetura e urbanismo mais conscientes ambientalmente, o uso a ventilação natural- fenômeno caracterizado pela movimentação do ar sem a indução de nenhum sistema mecânico- é certamente uma forte estratégia projetual, pois favorece o conforto térmico passivo de modo direto e a baixo custo. Neste artigo busca-se investigar a ventilação natural por ação dos ventos (ventilação cruzada) a qual é, segundo a NBR 15220-3 (2005), uma estratégia indicada para sete das oito zonas bioclimáticas brasileiras.

O cenário escolhido para esta pesquisa participa do contexto das habitações de interesse social (HIS), inseridas no programa habitacional brasileiro intitulado "Programa Minha Casa, Minha Vida- PMCMV", por se tratar de habitações destinadas a população de baixa renda e por apresentar uma característica muito particular que vem sendo adotada em todo o país pelas empresas executoras deste tipo de empreendimento, o fato de replicar projetos em quaisquer localidades regidos pela lei da maior quantidade de blocos por gleba. Assim, aspectos importantes do clima local, como insolação e ventilação naturais são muitas vezes negligenciados, o que coloca muitas vezes em xeque a qualidade dessas habitações.

Trazendo para o contexto local, a cidade de Campina Grande/PB, localizada no semiárido da região Nordeste do Brasil, vem apresentando um intenso crescimento/expansão de sua malha urbana, assim como outras cidades brasileiras de porte médio e, portanto, vem apresentando alterações na configuração de suas paisagens, descaracterizando e degradando seus componentes naturais. Reflexo deste fenômeno é comum observar na cidade o surgimento de grandes conjuntos habitacionais, dentre eles os que são subsidiados pelo PMCMV. Dentre as muitas tipologias arquitetônicas destes conjuntos, uma em especial vem ganhando muita força neste programa habitacional, que é o caso dos edifícios monolíticos (adota-se este termo no trabalho referindo-se aos edifícios de geometria muito alongada quanto a sua largura). Esta tipologia, como já investigada por Morais (2013) é muito desfavorável à ventilação natural interna de suas unidades habitacionais. Por este motivo volta-se o olhar neste trabalho para esta tipologia, no entanto, para um estudo de ventilação em meio urbano.

Romero (2001) salienta que dentre todos os componentes do clima, as condições de ventilação sofrem as maiores alterações durante o processo de urbanização. Isso ocorre pelo fato de que o percurso que o vento realiza na massa construída tem relação direta com a forma, dimensão e justaposição das edificações, além de outros elementos urbanos como a orientação das ruas, gabaritos (alturas) dos edifícios, que geram um grande impacto nas condições de vento.

Diversos trabalhos científicos apontam a urbanização como responsável pela mudança no comportamento dos parâmetros climáticos locais e, consequentemente, das condições de conforto térmico nas cidades, mantendo, portanto, estreita ligação com a atividade de planejamento urbanístico (OKE, 1987; KATZSCHNER, 1997; BRANDÃO, 2009). O desenvolvimento de novas propostas e diretrizes de planejamento adequadas às condições locais é, portanto, essencial à criação de cidades que proporcionem qualidade de vida e conservação energética.

Sendo assim, propõe-se este trabalho no intuito de contribuir para reflexão da temática de ventilação urbana, como potencializá-la na malha urbana bem como facilitar seu rebatimento para o ambiente interno e para o nível do pedestre.

2. OBJETIVO

Diagnosticar condições de ventilação natural por meio de simulação fluidodinâmica em conjunto do PMCMV criteriosamente escolhido na cidade de Campina Grande/PB e propor um cenário de mudança para o mesmo, visando melhorias na ventilação do conjunto bem como menor impacto no seu entorno imediato.

3. MÉTODO

O método do trabalho se baseia em quatro etapas principais:

- Escolha e caracterização do conjunto PMCMV;
- Caracterização climática da cidade estudada, sobretudo no aspecto da ventilação natural;

- Realização de simulação computacional da ventilação natural no conjunto por meio de *software* CFD (etapa de diagnóstico da situação atual);

- Proposição de melhorias projetuais no conjunto habitacional para potencializar a ventilação natural no mesmo e no entorno imediato a ele (etapa de situação proposta).

A ferramenta central utilizada nesta pesquisa para simulação da ventilação natural no conjunto PMCMV escolhido é a fluidodinâmica computacional ou sigla CFD (Computacional Fluid Dynamics). Os CFD's vêm sendo largamente usados e aceitos na comunidade científica internacional como um dos métodos de predição da ventilação natural (LEITE, 2010; LEITE, 2015; PRATA, 2005; MORAIS, 2013), pois se trata de um método de predição da ventilação natural. Dentre os diversos tipos de CFD, utilizou-se o programa ANSYS CFX nesta pesquisa.

3.1 Seleção e caracterização do estudo de caso

O estudo de caso selecionado para esta pesquisa trata-se de um conjunto habitacional do PMCMV entregue no início de 2016. Este empreendimento, diferente dos demais, localiza-se no interior da malha urbana da cidade de Campina Grande, e não em sua periferia como é comum neste tipo de programa (Figura 1). Logo se percebe que seu impacto no microclima local tende a ser maior que outro que estivesse em zona periurbana.

Outro fator de escolha desse empreendimento é sem dúvida a tipologia arquitetônica adotada, blocos monolíticos que abrigam 8, 10 e 12 apartamentos por andar, o que confere uma característica formal/volumétrica de prisma bastante longitudinal. Trata-se de um empreendimento que possui um total de 864 unidades habitacionais, e conta com uma área total aproximada de 42330m² onde são dispostos 21 blocos sendo destes, 6 de 8 apartamentos por pavimento, 6 de 10 apartamentos por pavimento e 9 de 12 apartamentos por pavimento, como mostra a Figura 2.

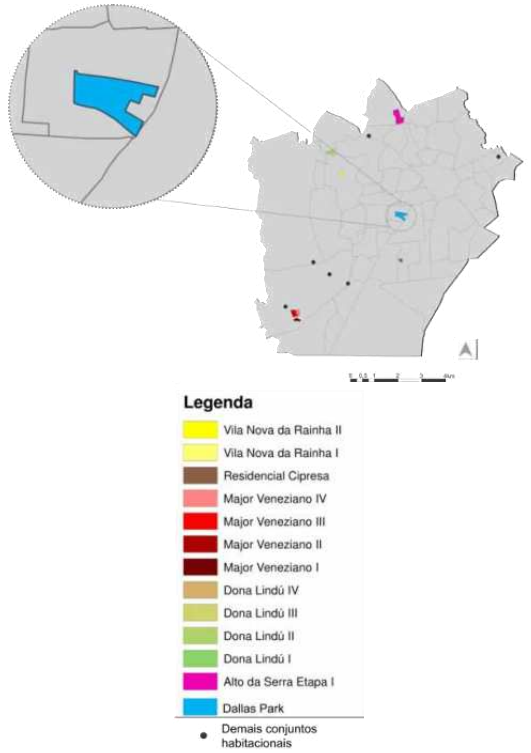


Fig. 1 Localização de empreendimentos do PMCMV em Campina Grande - PB



Fig. 2 Implantação do Conjunto no lote.

3.2 Caracterização da ventilação de Campina Grande/PB

A partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), foi possível obter a partir da estação de código 82795 (Lat. -7º21' e Long. -35º88') as variáveis atmosféricas de temperatura, umidade relativa, direção e velocidade média dos ventos durante um período de 20 anos consecutivos (de 1995 a 2015).

Dividiu-se as direções do vento em oito faixas centradas nas direções Norte (0°) a Noroeste (315°). Posteriormente procedeu-se a determinação das direções predominantes dos ventos e as velocidades médias representativas de cada direção. Constatou-se que em Campina Grande a direção predominante anual é Sudeste, apresentando maior frequência em 10 meses do ano com velocidade média de 3,72m/s, seguida da direção Leste com maior frequência nos meses de Novembro e Dezembro e uma velocidade média de 3,83m/s.

Apesar de apenas só dois meses apresentarem predominância leste, são meses quentes (altas temperaturas) e a ventilação nesses meses se faz muito necessária, pois atua retirando calor do ambiente e consequentemente diminuindo as temperaturas nestes locais.

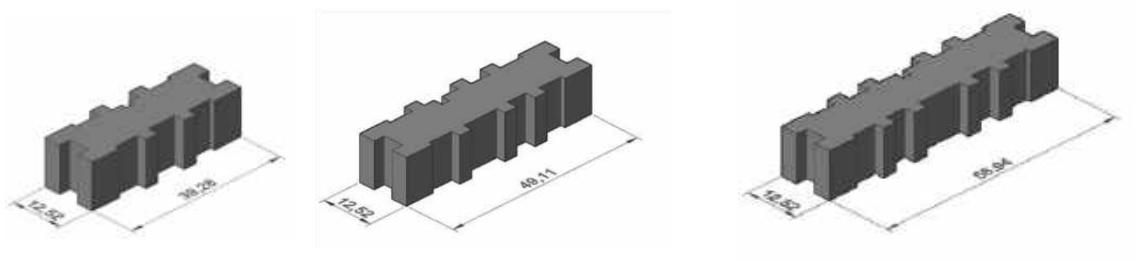
Decidiu-se então simular as duas direções predominantes, a direção a 90º (usou-se banco de dados do vento Leste) e 130º (banco de dados da direção Sudeste) a fim de observar como o vento se comporta entre os blocos do conjunto, mostrando a relação entre a morfologia urbana e a promoção da ventilação natural na cidade. Infelizmente por questões de compilação de dados para esta publicação, este artigo focará apenas nos resultados encontrados na direção predominante Sudeste.

3.3 Simulação computacional da ventilação natural (ANSYS-CFX):

O ANSYS-CFX compõe-se de quatro módulos (ICEM, CFX Pre, CFX Solver e CFX Post) nos quais podem ser executadas etapas da simulação que vão desde a confecção do modelo até o tratamento dos resultados.

3.3.1 Confecção do modelo para simulação (CAD)

A fase de confecção do modelo tridimensional do conjunto foi realizada no AutoCAD por questões de facilidade de trabalho, apesar de ser permitida no módulo ANSYS ICEM. Brandão (2009) recomenda que na geometria dos blocos sejam utilizados os comandos *polyline, extrude, union, subtract.* Esta informação é importante, pois os objetos precisam ser compreendidos como sólidos no módulo em que ocorre a confecção da malha (ANSYS ICEM). Foi confeccionado o modelo de implantação atual considerando o entorno imediato do conjunto estudado, tendo em vista que o entorno tem influência direta na ventilação natural do empreendimento. Seus blocos possuem largura padrão de 12,52m e variação apenas em seu comprimento (blocos de 8 pavimentos por andar medem 39,28m, blocos de 10 pavimentos por andar medem 49,11m e blocos de 12 pavimentos por andar medem 58,94m). Os edifícios possuem altura padrão de 10,6m cada um, considerando que todos eles possuem 4 pavimentos (térreo + 3) e um pé direito de 2,40m (Figura 3).



a- Bloco com 8 apartamentos por pavimento

b- Bloco com 10 apartamentos por pavimento

c - Bloco com 12 apartamentos por pavimento

Fig. 3 Modelos tridimensionais dos blocos do conjunto estudado

3.3.2 Confecção da malha tetraédrica (ANSYS ICEM)

Quando exportado para o módulo ANSYS ICEM, o primeiro passo realizado no modelo foi a criação de pontos em todas as arestas dos edifícios. Isto evitou más formações nas aberturas quando foi confeccionada a malha. Para o domínio octogonal (Figura 4), escolhido por melhor representar todas as direções da rosa dos ventos, tomou-se como referencial o trabalho de Leite (2015) utilizando os seguintes valores: o limite superior do domínio foi definido por cinco vezes a altura do edifício (10,6m), já para largura e comprimento do domínio foi considerada quinze vezes a altura do edifício para todos os lados o que garante uma obstrução menor que 3% como aconselha Cost (2004). O modelo tridimensional do conjunto habitacional estudado pode ser observado na figura 5.

Quanto à malha, os principais parâmetros seguiram padrões estabelecidos em outras simulações computacionais de ventilação natural (LEITE, 2010; LEITE, 2015; PRATA, 2005; MORAIS, 2013).

Utilizou-se a malha não estruturada tetraédrica por se ajustar melhor a geometrias complexas, além disso, requer uma menor complexidade computacional e consequentemente um tempo menor de simulação. Determinou-se para a *Part* do conjunto um refinamento com tamanho máximo do elemento de 0,5m e nas demais *Parts* do domínio de 20m, resultando em aproximadamente 15 milhões de elementos (como mostra a Figura 6) e tempo médio de simulação de 132 horas (5 dias e meio).

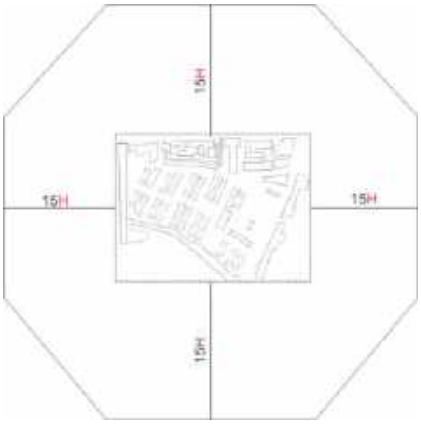
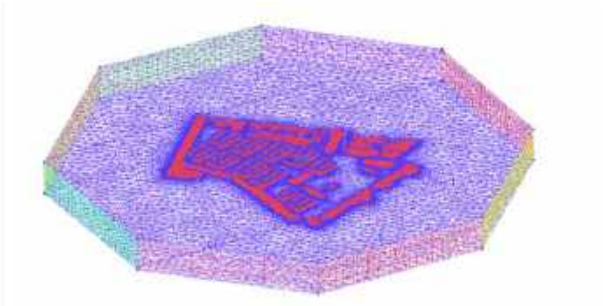


Fig. 4 Relação de domínio.



Fig. 5 Visão tridimensional do conjunto estudado (situação atual)



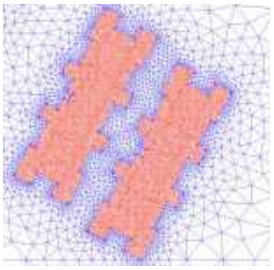


Fig. 6 Malha tetraédrica do conjunto.

3.3.3 Simulação Computacional (ANSYS CFX): diagnóstico da situação atual

No CFX-Pre as condições iniciais seguiram o padrão indicado pelo CFX para este tipo de simulação, apenas ressalta-se a escolha do modelo de turbulência. Utilizou-se o modelo de turbulência k-ε (*k-Epsilon*), que é mais usado para escoamentos externos (LEITE, 2015; PRATA, 2005) como é o caso da pesquisa. Foram adotadas para a simulação as seguintes condições: na face considerada de entrada de vento (*INLET)* utilizou-se a equação do perfil logarítmico do vento (Equação 1)*;* o conjunto e o seu entorno, assim como as bases foram considerados (*WALL)* e na face de saída de vento (*OUTLET)* considerou-se pressão nula.

$$V_{(z)} = V_{(zref)} \frac{ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$$

Onde: Equação 1

V(z) = velocidade na altura desejada;

z= altura desejada;

V(Zref) = velocidade na altura de referência;

z0= Rugosidade da região (usou-se 0,5m por não ser área tão adensada da cidade).

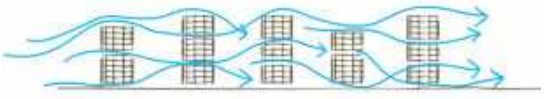
No módulo *CFX-Solver* os principais parâmetros utilizados foram o número de iterações (300 a 10.000) e o critério de convergência (10^{-8}). Como o objetivo é obter resultados confiáveis é recomendado verificar a convergência dos gráficos RMS gerados durante a simulação. No *CFX-Post*, foram gerados dois planos horizontais: Plano 1 e 2 localizados respectivamente a 1,5m, e a 6,5m do solo, correspondentes à altura de zona de respiração humana (em média 1,5m acima do solo) do primeiro e terceiro pavimentos. Além de recursos de análise qualitativa do fluxo de ar interno, utilizou-se uma ferramenta denominada *monitor points*,

ou seja, pontos distribuídos estrategicamente nos locais escolhidos, para a mensuração das velocidades médias do ar a 1,5 e 6,5 metros do solo. A criação desses pontos foi feita no próprio CFX-*Post*, e a partir das tabelas os resultados da variável desejada foi obtida (no caso, valores de velocidade do ar).

3.4 Proposição de melhorias projetuais no conjunto habitacional para potencializar a ventilação natural no mesmo e no entorno imediato a ele.

Após análise dos resultados das simulações de ventilação natural da implantação atual, alguns problemas principais foram detectados, e com base neles, algumas intervenções em parâmetros projetuais foram sugeridas no conjunto, como mostra o quadro abaixo.

Tabela 1 – Comparação entre os parâmetros da situação atual e proposta.

Situação atual (parâmetros)	Situação proposta (parâmetros)
- Disposição dos blocos em arranjo de forma inclinada e alinhados entre si, sem a mínima preocupação com a insolação (suas maiores fachadas estão voltadas praticamente para leste e oeste) e com recuo mínimo (Figura 7) entre alguns blocos (em torno de 6, 7 metros);  Fig. 7 Recuo mínimo entre os blocos na implantação atual do conjunto.	- Ângulo de implantação dos blocos e posicionamento de forma a minimizar regiões de sombra de vento (Figura 8), aumento de recuos intra-blocos e revisão de ângulo de implantação face ao vento incidente (segundo estudo de Liu *et al* (2014));  Fig. 8 Proposta com alteração no número de blocos e no recuo entre eles.
- Altura padronizada dos blocos (baixa rugosidade);  (a) Fig. 9 Esquema de altura e caminho do vento no conjunto na situação atual.	- Altura variada dos blocos (aumentando a rugosidade do conjunto);  (b) Fig. 10 Esquema de altura e caminho do vento no conjunto na situação proposta.
- Poucas áreas livres e de convívio no conjunto (já que o térreo é usado também para apartamentos);	- Inserção de pilotis e de pavimentos vazados como aumento de permeabilidade ao vento bem como aumento de áreas livres de convivência.
- Número elevado de unidades habitacionais no conjunto (864 unidades)	- Manutenção do número de unidades habitacionais no conjunto (864 unidades)

É importante tecer algumas considerações sobre as mudanças sugeridas na situação proposta:

- a área do terreno permanece a mesma na situação atual e situação proposta;
- ao passo que algumas mudanças trariam aumento de custo ao conjunto habitacional (inserção de pilotis, aumento de altura dos blocos), em contrapartida ofereceriam ganhos como liberação do solo e aumento de áreas livres de convivência;
- mudanças estratégicas (como ângulo de implantação dos blocos, inserção de pilotis e pavimentos vazados) foram aqui adotadas não como sugestão a serem implantadas ao conjunto existente (o que seria impossível) e sim como um exercício para demonstrar a força de algumas decisões em fase

projetual e seu rebatimento na qualidade de um projeto habitacional que vem sendo reproduzido em massa no país.

4. RESULTADOS

A análise dos resultados que é aqui apresentada traz objetivamente a comparação entre o modelo de implantação atual e o novo modelo de implantação proposto com planos de análise localizados a 1,5m do solo (altura de respiração dos pedestres) bem como a 6,5m do solo (altura equivalente em média ao terceiro pavimento).

A intenção foi realizar uma análise (quali-quantitativa) e discutir o que ocorreu do ponto de vista da ventilação natural entre os blocos, tanto do ponto de vista do conforto do pedestre como do ponto de vista da possibilidade de ventilação cruzada interna nas unidades habitacionais. Como a velocidade do ar é um dos fatores de promoção de conforto térmico, foi então a variável mais evidente no estudo.

Em relação aos valores de velocidade confortáveis ao pedestre (dados quantitativos), tomou-se como base a escala de conforto produzida por Sousa *et al* (2014), mostrada na Figura 11, por meio da qual foi possível compreender quais zonas do conjunto que estavam dentro da zona de conforto ou não. Esta escala, segundo os autores, baseia-se na escala de Beaufort e nos máximos valores descritos por Silva (1999, *apud* Sousa *et al* (2014).

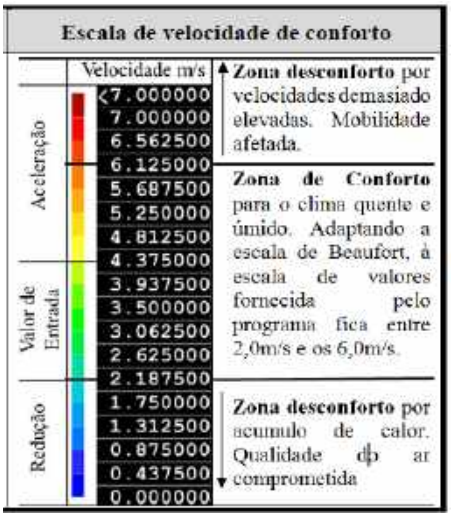


Fig. 11 Escala de velocidade de conforto.

Ao comparar a implantação atual e a implantação proposta (Figura 12), no plano a 1,5 m do solo nota-se o quanto a decisão projetual de se utilizar pilotis em todos os pavimentos térreo dos blocos foi importante. Nesta altura (1,5m) todos os pontos tiveram suas velocidades ampliadas. Além de maior permeabilidade ao vento, os pilotis garantiram liberação do solo, criação de áreas livres e espaço de convivência para os usuários. Ressalta-se também que as velocidades do entorno imediato do conjunto também melhoraram, a exemplo da porção norte do conjunto é possível verificar que as velocidades que antes eram de 0,20m/s passaram a atingir valores em torno de 1,50m/s (Figura 12).

A nova disposição não alinhada dos blocos, optando por um novo arranjo, o de "tabuleiro de damas", minimizou a criação de sombras de vento intra-blocos, o que antes era um fator de redução de velocidade. Com isso potencializou-se o diferencial de pressão nas fachadas.

O novo posicionamento dos blocos (maiores fachadas perpendiculares ao vento dominante) permitiu alguns efeitos de desvio de massa de ar, no entanto, potencializou-se o diferencial de pressão nas fachadas. De acordo com Liu *et al* (2014) observou-se que a ventilação natural diminuía à medida que o ângulo de incidência do vento se tornava obtuso em relação à fachada, levando em consideração seus estudos buscou-se corrigir isto.

Os blocos implantados ao “fundo” do conjunto, como esperado, ainda foram os que apresentaram velocidades mais baixas, no entanto, se comparadas à situação atual, percebem-se ganhos.

O espaçamento maior entre os blocos permitiram maior ventilação entre eles, observa-se quantitativamente no gráfico (Figura 13), no entanto, em dois pontos apenas, os valores foram superiores a 2m/s, o que segundo escala de Sousa *et al* (2014), configuraria sensação de conforto térmico para o pedestre.

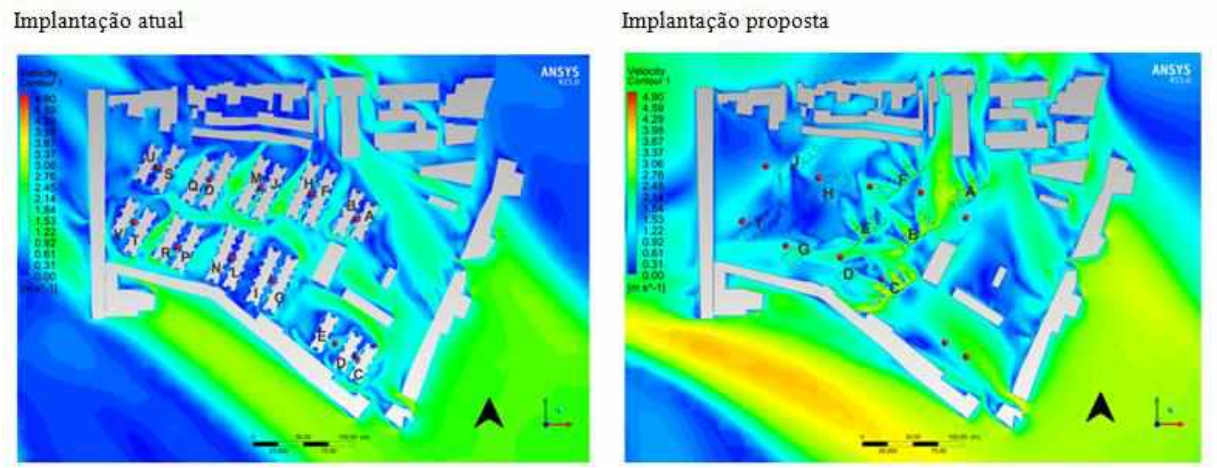


Fig. 12 Imagem de contorno a 1,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta



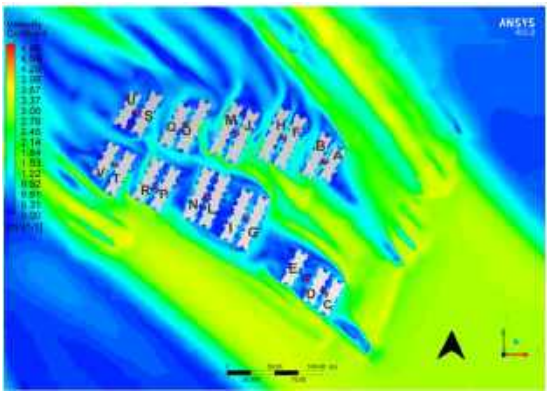
Fig. 13 Gráfico comparativo das velocidades nos pontos a uma altura 1,5 metros, na implantação atual e proposta, com vento incidente sudeste.

Partindo para um plano de análise mais elevado, a 6,5m do solo, podem-se tecer comparações entre situação atual e proposta, como mostra Figura 14. Apesar de, na situação proposta, os blocos apresentarem gabarito mais elevado, o entorno não é tão prejudicado com relação à ventilação (o entorno é essencialmente residencial térreo, por isso não aparece neste plano de corte). Pilotis, pavimentos vazados e a diferença de altura entre os edifícios fazem com que o vento tenha uma maior permeabilidade na malha urbana e cheguem aos edifícios localizados no entorno, que hoje possuem baixa altura, mas podem vir a mudar no futuro.

Os efeitos de esteira assim como na imagem de contorno a 1,5m do solo diminuíram, pois concordando com Bittencourt *et al* (1997), em suas simulações com edifícios mais altos, o fator mais importante na distribuição do fluxo de ar no tecido urbano eram os recuos. Na nova proposta de implantação uma das condições de ganhar altura foi justamente para ampliar recuos intra-blocos.

No aspecto quantitativo é possível observar que no ponto 3 houve uma grande perda de velocidade (Figura 15). Na situação atual o efeito canto e de canalização garantia ao ponto valores de 1,8m/s, com o aumento dos recuos presentes entre os blocos onde se encontra o ponto 3, os efeitos passaram a não mais existir, e consequentemente houve a diminuição dos valores de velocidade para aproximadamente 0,5m/s. Em contrapartida o ponto 6, assim como no plano a 1,5 metros do solo, teve um ganho em sua velocidade devido ao efeito de desvio de massa.

Implantação atual



Implantação proposta

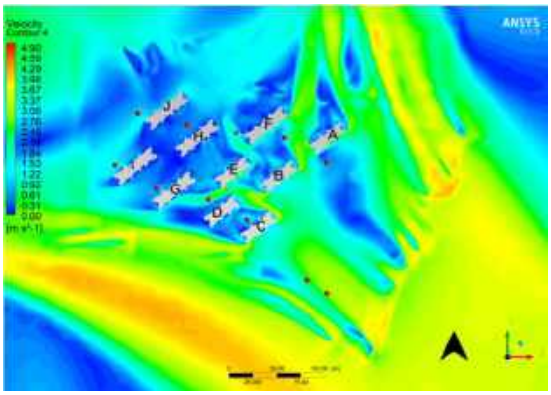
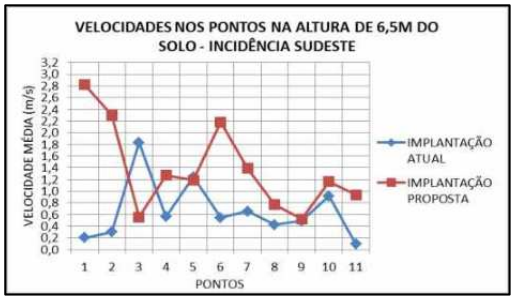


Fig. 14 Imagem de contorno a 6,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento sudeste.



Implantação atual:



Implantação proposta:



Fig. 15 Gráfico comparativo das velocidades nos pontos a uma altura 6,5 metros, na implantação atual e proposta, com vento incidente sudeste.

5. CONCLUSÕES

Apoiado no uso da fluidodinâmica computacional (*softwares* CFD), neste artigo foram realizadas simulações da ventilação natural em conjunto vertical do PMCMV, criteriosamente escolhido por ser uma tipologia usual neste programa (edifícios monolíticos), no qual a partir de problemas detectáveis no conjunto, nova proposta arquitetônica pôde ser testada. As avaliações do comportamento do vento foram realizadas quali-quantitativamente a partir das imagens obtidas no CFD bem como valores de velocidade registrados em pontos estratégicos tanto no cenário atual como no cenário proposto de implantação, sempre considerando o seu entorno imediato.

A velocidade do ar foi o principal parâmetro de análise da fração urbana estudada, levando em consideração que para garantir o conforto térmico dos pedestres e moradores é necessário que exista movimento do ar no espaço urbano, como também em seu interior.

Na situação atual do conjunto observou-se que os mínimos recuos praticados, associado à altura padrão e grandes extensão dos blocos ocasionavam velocidades muito baixas, sobretudo intra-blocos, o que certamente promove desconforto térmico não somente para os pedestres como para os usuários das unidades habitacionais. Observou-se que as velocidades baixas também ocorriam no entorno do conjunto.

Uma nova proposta de conjunto foi testada do ponto de vista da ventilação natural considerando a mesma densidade habitacional e os mesmos edifícios que o compõem (o estudo focou na ventilação exterior e não interior, por isso a unidade habitacional não foi alterada, ficando para uma etapa posterior de estudo). As principais alterações projetuais do conjunto foram: inserção de pilotis, mudança de gabarito (aumento da rugosidade), inserção de pavimentos alternados vazados, novo posicionamento e quantidade de blocos, aumento dos recuos e ângulo de incidência dos blocos face ao vento dominante.

A diminuição na quantidade de blocos, passando de 21 para 10, a inserção de pilotis e pavimentos vazados no desenho arquitetônico dos edifícios, o aumento nos recuos entre os blocos e o novo ângulo de

implantação resultaram num ganho de velocidade como foi exposto nos resultados. Ressalta-se ainda que a liberação do solo, além de trazer benefícios para população como futura áreas de convívio e de lazer, contribui para ventilação do próprio conjunto, melhorando a circulação do vento, refletindo ainda em seu entorno imediato. Observou-se que houve um incremento maior da ventilação no conjunto bem como redução do impacto no entorno imediato do mesmo. Por fim a situação proposta demonstra que através de um projeto mais sensível a questão da ventilação em meio urbano pode-se obter conjuntos habitacionais mesmo de grande porte, como é o estudo de caso deste trabalho, com maior qualidade para seus moradores além de menor impacto na malha urbana ou entrono imediato.

Portanto, sugere-se que para o uso desta tipologia (edifícios monolíticos), alterações de outros parâmetros projetuais sejam priorizadas em fase de projeto do conjunto para que a ventilação ocorra com maior fluidez, promovendo impacto positivo tanto para a população usuária do conjunto como para seu entorno urbano. Certamente toda mudança realizada na fase pós-ocupação do conjunto (ao invés da fase projetual) terá custo elevado e será mais difícil do ponto de vista de execução. Ou seja, se há uma tendência de prover habitação em massa usando tipologia de edifícios monolíticos, que essa tipologia seja repensada de forma a impactar o mínimo possível na sua vizinhança e que apresente uma maior qualidade para seus usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. (2005). **NBR 15220-3** Desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT.

Bittencourt, L. S., Cruz, J., & Lobo, D. (1997). A influência da relação entre taxa de ocupação X nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. **Anais do Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído-ENTAC**, 4, 102-106.

Brandão, R. S. (2009). **As interações espaciais urbanas e o clima** (Tese doutorado, Universidade de São Paulo). São Paulo.

Franke, J. (2004). Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment COST Action C14.

Katzschner, L. (1997). Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. **Anais do IX Encontro nacional de conforto no ambiente construído- ENCAC**, 4, 49-58.

Leite, R. C. V. (2010). **Fortaleza: terra do vento: a influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido** (Dissertação mestrado, Universidade de São Paulo). São Paulo.

_____. (2015). **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido** (Tese doutorado, Universidade de São Paulo). São Paulo.

Liu, S., Liu, J., Yang, Q., Pei, J., Lai, D., Cao, X., ... & Zhou, C. (2014). Coupled simulation of natural ventilation and daylighting for a residential community design. **Energy and Buildings**, 68, 686-695.

Morais, J. M. S. C. (2013). **Ventilação natural em edifícios multifamiliares do'' Programa Minha Casa Minha Vida''** (Tese doutorado, Universidade Estadual de Campinas). Campinas, SP.

Oke, T. R. (2002). **Boundary layer climates**. Routledge.

Prata, A. R. (2005). **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano** (Tese doutorado, Universidade de São Paulo). São Paulo.

Romero, M. A. B. (2001). **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Editora UnB.

Sousa, J.; Lamenha, M.; Freitas, R.; Bittencort, L. (2014). Efeito da altura e porosidade de edifícios na ventilação urbana Maceió – Alagoas**. Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído ENTAC**, p 1-10.

AGRADECIMENTOS

Às agencias brasileiras de fomento a pesquisa, Capes/CNPq, por proporcionar bolsa de iniciação científica para a primeira autora por dois anos consecutivos e aos laboratórios de Hidráulica II, e de Engenharia Mecânica, ambos pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, pelo apoio com as simulações usando ANSYS CFX.