



ANÁLISE DE CAPTADORES DE VENTO PARA POTENCIALIZAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL

Carla Varela de Albuquerque Araújo (1); Aldomar Pedrini (2)

(1) Arquiteta e Urbanista, carlavarela_arq@yahoo.com.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura, apedrini@ufrnet.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Superintendência de Infraestrutura, Caixa Postal 1524 -
Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal - RN, Tel.: (84) 3215 3162

RESUMO

A ventilação natural consiste na principal estratégia bioclimática para o clima quente e úmido de Natal/RN, com aplicação recomendada pela NBR 15220-3 para favorecer o conforto térmico dos ocupantes. Através da intervenção na envoltória da edificação, com a proposição de recursos arquitetônicos específicos, é possível promover o uso desta estratégia passiva de condicionamento. Neste sentido, o presente trabalho tem objetivo de avaliar o potencial dos captadores de vento, elementos de envoltória aplicados para incremento da ventilação natural na edificação, através de simulação simplificada em CFD (Computer Fluid Dynamics), utilizando o software DesignBuilder CFD. Os procedimentos adotados incluem a modelagem e simulação de um caso base e variações desse com diversas configurações de captadores de vento, para avaliar as diferenças no fluxo e velocidades do ar, assim como testes de sensibilidade para familiarização com o software, observação de padrões de simulação, bem como mapeamento das configurações utilizadas e tempo de simulação de cada caso. Os resultados mostram as limitações encontradas durante o processo de simulação, assim como um panorama do desempenho dos captadores de vento, como aumento considerável das velocidades do ar no interior do ambiente e diferenças nos padrões de fluxo de ar.

Palavras-chave: ventilação natural, simulação computacional, captadores de vento.

ABSTRACT

Natural ventilation is the main bioclimatic strategy for the hot and humid climate of Natal/ RN, which is recommended by NBR 15220-3 to enhance the thermal comfort of the occupants. Changing the building envelope, with the proposition of specific architectural features, it is possible to promote the use of this conditioning passive strategy. The present study aims to evaluate the potential of wind catchers, envelope elements applied to increase natural ventilation in the building, using CFD (Computer Fluid Dynamics) simplified simulation, with the software DesignBuilder CFD. The procedures adopted include the definition of the base case and variations with the wind catchers, to evaluate differences in airflow and velocities, including running sensitivity tests for familiarization with the software, watching the patterns of simulation and mapping settings used and simulation time in each case. The results show the limitations encountered during the simulation process, as well as an overview of the performance of wind catchers, as considerable increase in air velocities inside the room and differences in airflow patterns.

Keywords: natural ventilation, computer simulation, wind catchers.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da redução do impacto ambiental das edificações tem estimulado a aplicação de princípios bioclimáticos e estratégias de eficiência energética no projeto arquitetônico. Um dos princípios adotados para o clima quente e úmido de Natal/RN é a ventilação natural, fundamental para se obter conforto térmico a temperaturas mais altas e remover o calor interno da edificação. Seu uso é popularizado na arquitetura vernacular e difundido em recomendações (HOLANDA, 1976), normas (ABNT, 2005) e métodos (SZOKOLAY; DOCHERTY, 1999, MARSH, 2001, LAMBERTS, et al., 2003).

A ventilação natural ocorre por diferença de pressão causada pelo vento (ventilação unilateral ou cruzada) e/ou diferença de densidade (efeito chaminé). O movimento do ar ao redor das pessoas é uma das principais estratégias bioclimáticas para o clima quente e úmido (GIVONI, 1992, SZOKOLAY; DOCHERTY, 1999, LAMBERTS, et al., 2004) onde a evaporação do suor é dificultada em razão da umidade do ar em níveis elevados que tende a acontecer com frequência.

O comportamento da ventilação natural é influenciado por elementos arquitetônicos, como orientação e tipo das aberturas, geometria das fachadas e layout interno, que interagem com as características urbanas, climáticas e comportamentais do usuário. Os diversos recursos arquitetônicos estão presentes principalmente na envoltória, como as pérgulas, o peitoril ventilado, os elementos vazados dentre outros. O desempenho de cada elemento e sua interferência no partido arquitetônico varia, porém as chances de sucesso aumentam quando o elemento é inserido no início do processo projetual. A facilidade em se atingir o conforto térmico com o uso de condicionadores de ar torna a ventilação natural menos explorada no projeto arquitetônico, logo, é necessário tornar a análise da ventilação natural mais acessível ao projetista, proporcionando recursos que facilitem sua aplicação e que a tornem mais eficaz.

1.1 Captadores de vento

Os captadores de vento, conhecidos como *wind catchers* ou *sheds*, consistem em aberturas no nível da cobertura, utilizadas para direcionar o ar para o interior da edificação ou para extrair o ar quente em determinado ambiente (KHAN, et al., 2008). Kleiven (2003) destaca a eficácia destes elementos quando estão voltados para os ventos predominantes, posicionados com desvio máximo de 30°. Seu posicionamento adequado pode melhorar o padrão de distribuição do fluxo de ar no interior de ambientes em climas quentes e úmidos, chegando a dobrar a velocidade média do ar em alguns ambientes.

Estes elementos possuem diversas formas e são recorrentes na produção de diversos arquitetos brasileiros, sobretudo João Filgueiras Lima – Lelé, Figura 1 (LATORRACA, 2000, MONTERO, 2006) e Severiano Porto, Figura 2 (NEVES, 2006), que buscavam inserir estudos de conforto ambiental durante a concepção dos projetos, utilizando recursos naturais de condicionamento. O formato e posição das águas de cobertura dos edifícios também podem funcionar como captadores de vento, possibilitando o uso da ventilação cruzada/efeito chaminé, além de favorecer a iluminação natural (Figura 3).

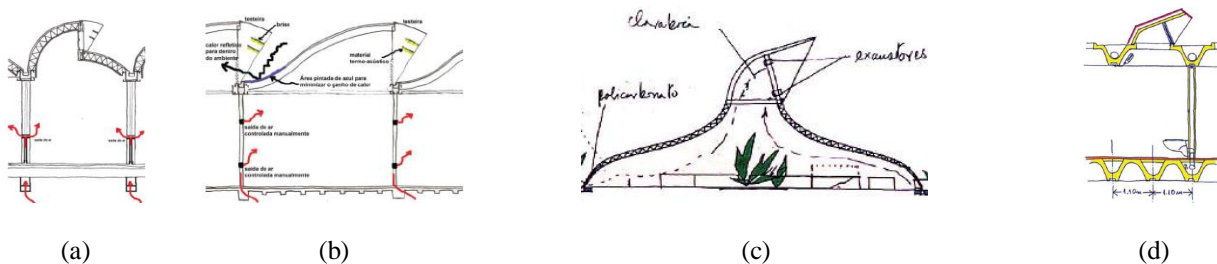


Figura 1. Configurações de sheds na obra de Lelé: (a) Fortaleza, (b) Salvador, (c) Rodoviária de Ribeirão Preto, (d) Brasília.
Fonte. (Latorraca, 2000) e (Montero, 2006).

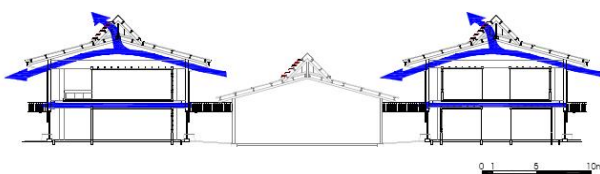


Figura 2. Edificações do Campus da Universidade do Amazonas.
Fonte. (Neves, 2006).



Figura 3. Biblioteca Carmel Mountain Ranch.
Fonte. (Hawkes e Forster, 2002).

1.2 Ferramenta de análise: DesignBuilder CFD

Ferramentas com diferentes níveis de complexidade, que abrangem desde os modelos algébricos simplificados até as simulações computacionais de dinâmica dos fluidos - CFD (*Computer Fluid Dynamics*, sigla em inglês) podem ser utilizadas para análise do desempenho da ventilação natural. Sua escolha depende da dúvida ou problema, dos recursos disponíveis e da confiabilidade dos resultados necessários. As ferramentas computacionais geralmente são descartadas durante o processo de projeto em virtude da complexidade do uso, do tempo demandado e do custo envolvido com o processo. As limitações de programas de simulação em CFD são citadas por diversos trabalhos que exploram seu uso na pesquisa (COSTA e ARAÚJO, 2001, TRINDADE, 2006, CUNHA, 2010).

Os programas de simulação computacional de fluidos aplicam o método dos elementos finitos para resolver numericamente as equações de *Navier-Stokes* de conservação de massa, momento e energia térmica, permitindo avaliar qualitativamente a distribuição do fluxo de ar, apesar de algumas divergências numéricas entre fluxo real e o fluxo simulado. A modelagem deve ser simplificada, o que restringe a precisão dos resultados, podendo manusear modelos bi e tridimensionais e os resultados fornecem a distribuição dos campos de pressão, da velocidade de ar, da temperatura, da concentração de umidade relativa e de contaminantes, e da turbulência, com visualização sob a forma de vetores, onde se pode analisar a velocidade e direção; ou isolinhas, que mostram a distribuição dos campos de temperatura e pressão (Designbuilder, 2009).

O DesignBuilder CFD é um módulo do DesignBuilder (Designbuilder, 2005), *software* de simulação do desempenho térmico e energético de edificações, que fornece dados de fluxo de ar e distribuição de temperatura em edifícios, utilizando métodos semelhantes aos pacotes de CFD convencionais, baseado no método dos volumes finitos, que envolve solução de uma série de equações que descrevem o transporte de momento, energia e turbulência. A proposta do *software* é torná-lo mais acessível sem necessidade de conhecimento aprofundado em mecânica de fluidos, oferecendo um processo de análise mais simplificado através da modelagem facilitada da geometria e ao fornecer automaticamente as condições de contorno, a partir de informações do clima. Permite calcular a temperatura, velocidade e outras propriedades de fluidos através de um domínio tridimensional e permite o desenvolvimento de análises mais detalhadas do comportamento do fluxo de ar, já que o *software* traz maior facilidade de modelagem e tempo de simulação relativamente baixo (Designbuilder, 2009).

2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo explorar o uso simplificado da simulação computacional de fluidos, aplicando o programa DesignBuilder CFD na análise do desempenho de captadores de vento, avaliando a eficácia dos elementos e a influência de sua geometria na distribuição de ar do ambiente.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O método consiste na execução das etapas:

1. levantamento e seleção de captadores de vento na pesquisa bibliográfica;
2. seleção de um programa de CFD com interface simplificada, no qual se modela um caso de referência para analisar separadamente cada recurso arquitetônico - DesignBuilder CFD;
3. definição de modelos com pré-avaliação em testes de sensibilidade para explorar as potencialidades e limitações do programa e identificar as configurações de simulações mais adequadas;
4. simulação dos casos pré-definidos;
5. análise qualitativa dos resultados das simulações quanto ao comportamento do fluxo de ar, para determinar tendências que contribuem para gerar recomendações projetuais.

3.1 Identificação e seleção de elementos

A identificação e a seleção dos captadores de vento basearam-se nas informações da revisão bibliográfica, principalmente em obras de arquitetos preocupados com a questão ambiental e artigos publicados em eventos sobre conforto ambiental, eficiência energética e tecnologia da construção. Esses levantamentos realizados desde as primeiras fases da pesquisa permitiram a compilação de um repertório projetual e a seleção dos

captadores de vento, escolhidos em função de:

- sua relação com as primeiras fases do projeto: elementos arquitetônicos selecionados pelo projetista desde os primeiros esboços, baseado em estratégias bioclimáticas, conceito ou princípio de funcionamento desejados;
- sua interferência na estética da edificação: alguns dispositivos que favorecem a aplicação da ventilação possuem configurações diferentes que se destacam da volumetria da edificação;
- compatibilidade com a aplicação em Natal-RN: elementos relacionados a técnicas aplicáveis às características do clima quente e úmido, bem como com os materiais construtivos disponíveis e prática arquitetônica recorrente na cidade;
- viabilidade de modelagem: elementos cuja geometria pode ser reproduzidos a partir de componentes prismáticos retilíneos;
- desempenho: elementos cuja eficácia foi destacada em referências científicas.

3.2 Análise dos captadores de vento

A análise do desempenho dos elementos se baseia nos resultados de simulações e consideram principalmente a eficácia quanto ao incremento na ventilação natural no nível do ambiente, proporcionado pelo elemento analisado em relação a um caso de referência. São observados:

- os fluxos de ar, para avaliar a uniformidade do efeito da ventilação;
- as velocidades do ar, para avaliar o efeito de resfriamento no conforto térmico interno.

3.2.1 Definição dos primeiros modelos para simulação

O método parte da definição das características de um caso de referência, denominado Caso Base (CB). O CB consiste num ambiente medindo 3m x 6m, com pé-direito de 3m, duas aberturas para ventilação nas paredes opostas com peitoril de 1m (Figura 4), sendo estas dimensões correspondentes a valores recorrentes em edificações de uso residencial e institucional.

Além do caso base, foram selecionadas cinco tipologias de captadores de vento, cujas configurações foram definidas a partir do repertório de projetos bioclimáticos e modeladas de forma simplificada, utilizando informações disponíveis na literatura técnica e em artigos para sua caracterização. O primeiro caso remete à cobertura convencional de duas águas, com um elemento inclinado, observado na obra de Severiano Porto. O caso 02 refere-se a modelos mais tradicionais, com formas análogas às torres de vento, constituídas de um elemento vertical que se projeta da cobertura e outro inclinado com a função de direcionar o ar para o interior do ambiente. O C03 é uma combinação dos dois primeiros casos, enquanto o caso 04 representa captadores de formas curvas para direcionamento do ar, utilizados na obra do arquiteto Lelé.

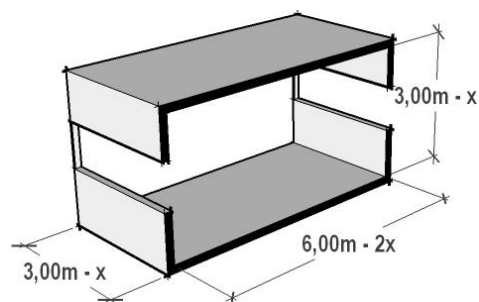


Figura 4. Modelo do Caso Base – CB para as simulações.

O C05 consiste numa alteração da cobertura que geralmente funciona como captador (Figura 5). Os modelos apresentam as dimensões de aberturas na laje de cobertura dos ambientes igual a 1,50m (metade do pé-direito), assim como a altura total dos captadores. A compilação das características feita na revisão aponta que essa relação entre pé-direito e altura do dispositivo se repete em diversos projetos, convergindo para medidas similares.

Em função de limitações operacionais, principalmente a dificuldade de convergência, a avaliação considerou o impacto de diversas configurações de captadores de vento num ambiente com ventilação unilateral, com a remoção de uma das aberturas definidas anteriormente. Devido às especificidades do processo de simulação computacional de acordo com cada programa utilizado, a metodologia foi se delineando de acordo com o desenvolvimento da pesquisa e com as dificuldades encontradas.

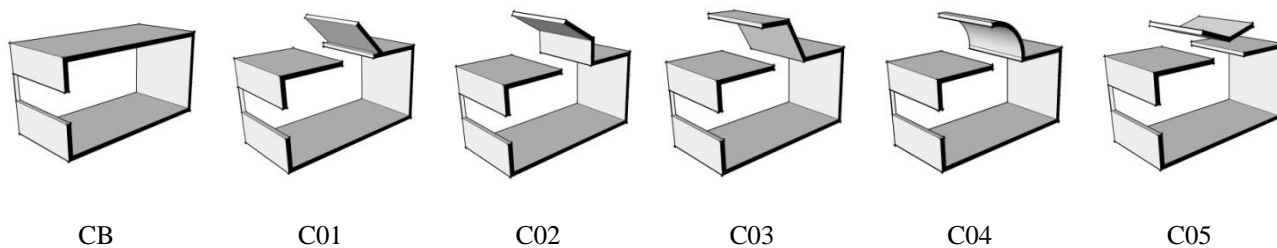


Figura 5. Casos utilizados para a avaliação final.

3.2.2 Condições de contorno

As condições de contorno para CFD representam a combinação de ocorrência de velocidade e direção dos ventos mais frequentes na cidade de Natal/RN. Corresponde às medições na estação do Aeroporto Internacional Augusto Severo, região metropolitana de Natal (período entre 12/08/2002 a 12/08/2005), tabulados no programa *WRPLOT View*. Os ventos predominantes incidem entre as direções de 120° a 150°, aproximadamente a Sudeste, com faixas de velocidades que ocorrem com maior frequência entre 5,0-6,0 e 6,0-7,0 m/s, porém não estão associadas com as direções predominantes. Segundo Trindade (2006), a partir de médias ponderadas que relacionam velocidades e direções que ocorrem com maior frequência no período analisado, tem-se que a velocidade média a 10m de altura é de 6,6m/s e direção de 133°.

Os valores de velocidade foram corrigidos para a altura das aberturas do ambiente em estudo, de acordo com Jackman apud Bittencourt e Cândido (2005). Dessa forma, para a velocidade média de 6,6m/s, tem-se que a velocidade no nível da abertura é de 2,64m/s. Para as análises, considerou-se a ventilação incidindo perpendicularmente a parede, uma vez que houve limitações para inserir diferentes direções de incidência dos ventos.

3.2.3 Configurações das simulações

Diversos parâmetros da simulação podem ser configurados, como o modelo de turbulência, o esquema de discretização e o número de iterações. O tutorial do software recomenda 5.000 iterações, afirmando que a convergência pode ser obtida com mais de 1.500 iterações em vários casos. Após a modelagem do caso, o programa define valores para a simulação de acordo com as especificidades do modelo.

As configurações automáticas do programa (*defaults*) foram mantidas com alteração apenas do padrão de convergência do modelo, para resíduos inferiores a 5×10^{-4} . O tutorial do DesignBuilder CFD não determina valores de resíduos adequados a problemas de engenharia e arquitetura, então este valor foi definido com base no trabalho de Cunha (2010), que aponta o critério de convergência recomendado pelo software ANSYS - CFX. A malha definida foi de células de 0,15m, no máximo, uma vez que a análise realizada se refere a ambientes internos. Este parâmetro foi gradativamente reduzido até que os casos atingissem o padrão de convergência satisfatório.

3.2.4 Critérios de análise

As avaliações da eficiência e do potencial dos captadores de vento, bem como o incremento na ventilação natural dos ambientes, se detiveram nas análises dos fluxos de ar, para avaliar a uniformidade do efeito da ventilação em toda a extensão do ambiente; e das velocidades do ar, para avaliar o efeito de resfriamento no conforto térmico interno.

O procedimento consiste em aferir visualmente os resultados com base nas linhas de velocidade do ar que se formam no interior dos modelos, o que possibilita identificar porções mais favorecidas do ambiente, as sombras de vento, além de comparar a eficácia de diferentes geometrias dos captadores.

Os resultados também são representados por imagens com o fluxo da ventilação interna e velocidade do ar representada por uma escala de cores. A leitura pontual também é realizada para comparar o desempenho dos diversos captadores. Foram definidos três pontos no centro do ambiente, para avaliação quantitativa das velocidades dos ventos (Figura 6).

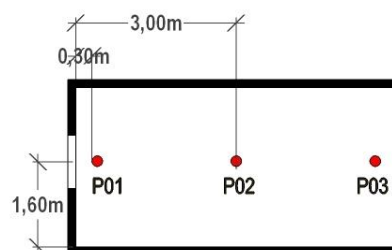


Figura 6. Caso base e localização dos pontos analisados.

3.2.5 Testes de sensibilidade

Os testes de sensibilidade visam pré-avaliar os casos definidos, identificando o tempo de simulação de cada caso e as configurações adotadas nas simulações, além de contribuir para familiarização com o programa utilizado. As simulações destes testes foram iniciadas a partir do Caso Base (CB) e do Caso 01 (C01).

Diversas simulações foram realizadas com alteração principalmente dos afastamentos do domínio e dimensões da malha. Nos primeiros testes, o domínio foi ajustado às dimensões do modelo, sem afastamentos e malha de 0,15m. A malha foi reduzida até 0,09m para que se obtivesse a convergência no padrão desejado. O tutorial do programa foi consultado concomitantemente às simulações para selecionar os parâmetros que seriam alterados com o objetivo de atingir a convergência satisfatória. Ao alterar as configurações recomendadas, como por exemplo, o fator de relaxação, obteve-se maior incerteza nos resultados ou estabilidade no mesmo ponto verificado sem as alterações. Dessa forma, foram utilizadas apenas alterações na malha, seguindo diretrizes de outras referências que realizaram simulações em CFD.

Os testes com o C01 demonstraram que ao acrescentar um elemento na cobertura o modelo não converge com a mesma facilidade do CB. Para a simulação, a altura do domínio foi afastada (3x altura do modelo), para que houvesse estabilidade dos ventos acima da cobertura e estes não sofressem interferência do captador. Houve necessidade de redução gradativa da malha até atingir 0,04m e este refinamento aumentou consideravelmente o tempo de simulação. Pesquisas relacionadas ao tema (TRINDADE, 2006, CUNHA, 2010) constatam que o domínio deve estar afastado do modelo em todos os eixos para análises mais representativas. Porém, em testes realizados com o domínio afastado do modelo as simulações não obtiveram padrão de convergência satisfatório, ocasionando fechamento automático do programa. Por isso, os recuos no sentido longitudinal e transversal não foram adotados.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentam análises qualitativas do Caso Base e das diversas configurações de captadores de vento do Caso 01 ao 05, com observação do fluxo e velocidades do ar resultantes no interior dos ambientes. Em geral, quanto maior a complexidade na geometria dos modelos, maior número de iterações é necessário, ultrapassando o valor de 5.000 iterações recomendado pelo software.

4.1 Caso base

O Caso Base apresenta fluxo regular, com maiores velocidades concentradas na região próxima à abertura. A velocidade média entre os três pontos observados é de 0,76m/s, porém se observa que a parte posterior do ambiente fica bastante desfavorecida (Figura 7). Em virtude de sua geometria simples, o tempo de simulação deste caso foi bem reduzido.

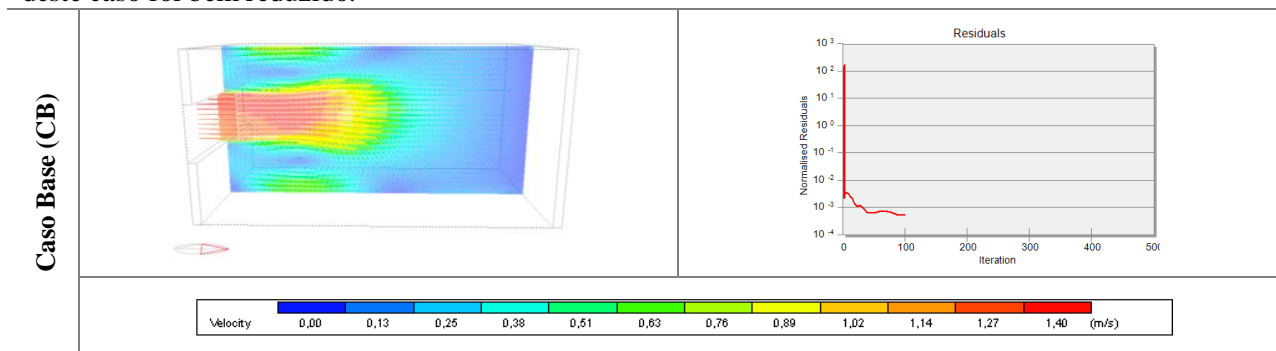


Figura 7. Resultado da simulação do CB com malha de 0,10m.

4.2 Casos 01 ao 05

As simulações relativas aos Casos 01 ao 05 possuem duas variações, a primeira delas com o captador voltado para a ventilação predominante e a segunda com o elemento direcionado à sotavento, funcionando como abertura de exaustão do ar. Nestes casos, as velocidades externas no entorno dos elementos são elevadas, atingindo, por exemplo, 3,55m/s no C03; 3,09m/s no C03_2; 3,77m/s no C04; 2,82m/s no C04_2 e 2,67m/s no C05.

Em relação ao CB, a distribuição do ar assume nova configuração no C01 que se mantém similar entre os C01 e C03: parte do ar que entra no ambiente sobe devido às diferenças de pressão, saindo do ambiente pelo captador, enquanto outra parte outra parte alcança a região posterior do ambiente, bastante

desfavorecida no CB (Figura 8). A média de velocidade dos três pontos definidos no interior dos modelos, no C01 é igual a 0,80m/s e no C01_2 é de 0,89m/s, valores próximos aos obtidos no CB, porém as duas variações do C01 apresentam distribuição mais uniforme do ar. O C02 apresenta comportamento e médias de velocidades similares ao C01, com velocidades maiores em algumas porções do ambiente. Por ser um elemento maior, destaca-se uma zona turbulenta atrás do captador quando está voltado para a ventilação predominante. O C03 também apresenta uma melhor distribuição de ar no ambiente em relação ao CB. No C03_2, observa-se que as velocidades são maiores na parte posterior do ambiente, comportamento verificado nos casos onde o captador funciona para exaustão do ar (Figura 8). As médias de velocidades são de 0,80m/s para o C04 e de 0,85m/s para o C04_2, mantendo a tendência observada nas simulações anteriores. No Caso 05, observam-se algumas diferenças no fluxo de ar próximo à cobertura, assim como no C04, devido à geometria diferenciada de seu captador. Este caso também apresenta a maior média de velocidade, igual a 0,89m/s (Figura 8).

Os casos de geometria com maior quantidade de componentes levaram um tempo maior para convergir (Figura 9). Nota-se que o C01, com captador construído com apenas um componente, teve um tempo menor, quando comparado aos outros casos, com captadores de geometria com dois elementos. A simulação referente ao C04 não atingiu o padrão de convergência adotado de 5×10^{-4} , o que pode ser atribuído a configuração curva de seu captador. Os elementos curvos aumentam o número de componentes do modelo, dificultam a leitura do software e, por consequência, elevam o tempo de simulação. Em virtude das dificuldades encontradas na simulação do C04, sua análise se baseia num resultado com padrão de convergência de 10^{-3} .

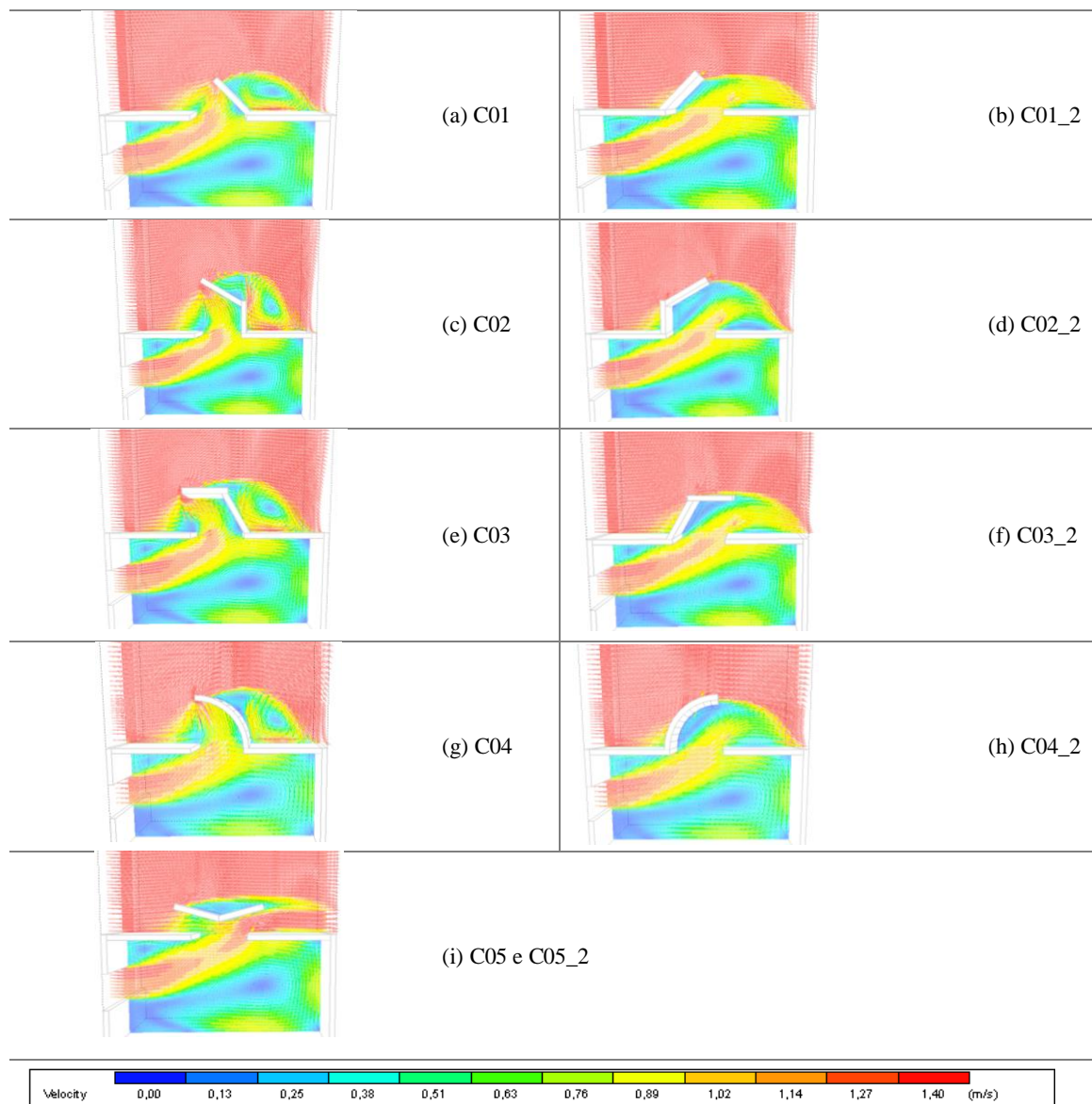


Figura 8. Resultados das simulações dos casos: (a) C01 e (b) C01_2 com malha de 0,10m; (c) C02 e (d) C02_2 com malha de 0,10m; (e) C03 e (f) C03_2 com malha de 0,10m; (g) C04 e (h) C04_2 com malha de 0,15m; (i) C05 com malha de 0,10m.

Os modelos simulados atingiram o padrão de convergência satisfatório com malha de 0,10m, com exceção do C04 e C04_2; nestes casos, a malha utilizada foi de 0,15m e o tempo de simulação foi reduzido (Figura 10). As simulações convergem com uma malha maior quando se configura um padrão de convergência menos restritivo.

As velocidades foram analisadas em três posições distintas do ambiente: próximo à abertura, no centro da sala e na parte posterior, com o objetivo de verificar a influência de cada tipo de captador nas diferentes porções do ambiente. O primeiro ponto se manteve com velocidade de 1,27m/s constante em todos os casos definidos, enquanto houve um decréscimo de velocidade no ponto 02 após inserir os captadores. Já o ponto 03 teve um aumento considerável de velocidade, principalmente com os elementos utilizados para exaustão do ar (Figura 11). Os casos onde o captador se posiciona voltado para os ventos predominantes possuem o mesmo perfil de velocidade, com exceção do C04. A média de velocidade varia entre 0,76m/s e 0,89m/s, sendo as mais altas referentes à segunda variação de todos os casos, onde o captador não está voltado para a direção predominante dos ventos, e no Caso 05, que repetem um padrão de comportamento (Figura 12). Apenas o C04_2 não se enquadra na tendência observada, apresentando uma média de velocidade um pouco menor, de 0,85m/s.

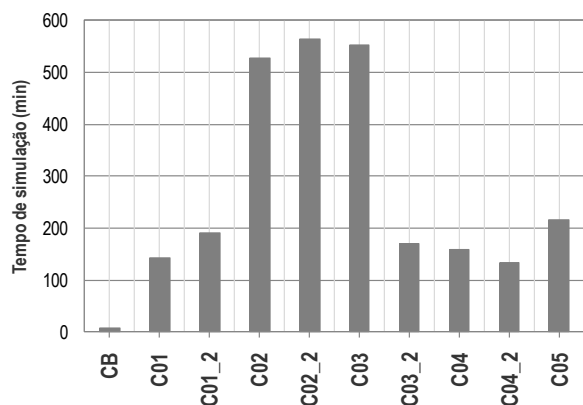


Figura 9. Gráfico do tempo de simulação de cada caso.

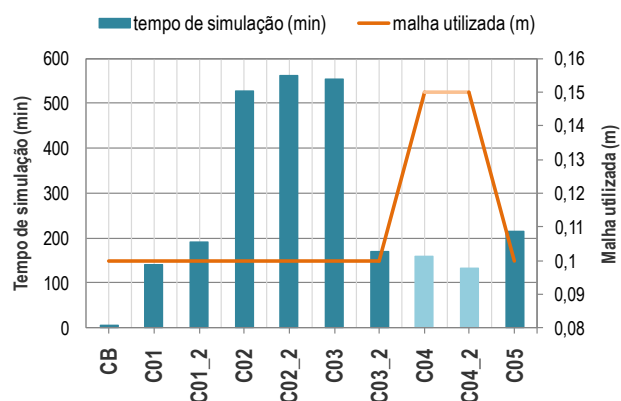


Figura 10. Gráfico do tempo de simulação e malha utilizada nos casos simulados.

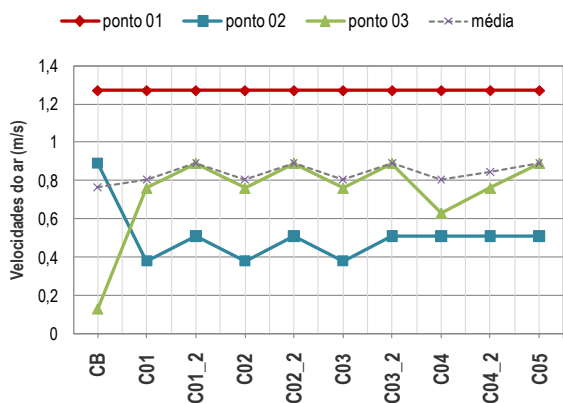


Figura 11. Gráfico das velocidades do ar em três pontos de cada caso simulado.

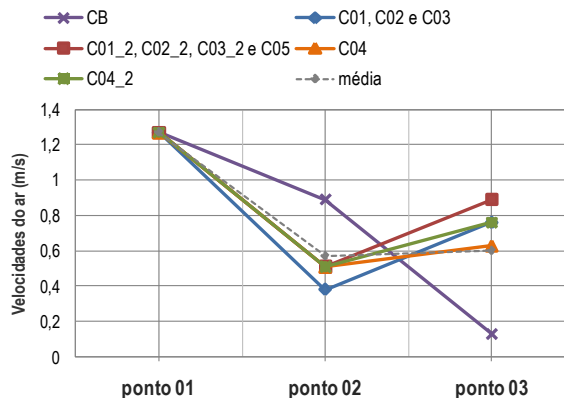


Figura 12. Gráfico das velocidades do ar de cada caso simulado para os pontos considerados.


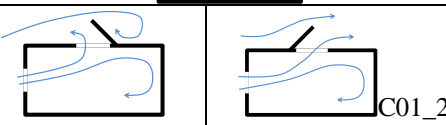
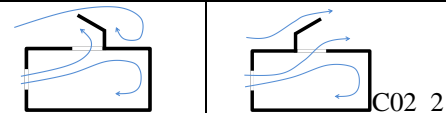
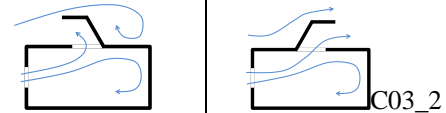
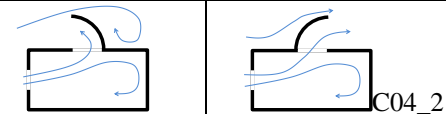
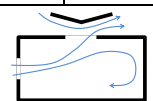
4.3 Síntese dos resultados

A ventilação unilateral não proporciona uniformidade do fluxo de ar em todo o ambiente, apontando a necessidade de se utilizar outros recursos arquitetônicos dependendo das particularidades de cada caso. Verifica-se que ao acrescentar o captador, a distribuição do vento se torna mais uniforme e a parte posterior do ambiente mais ventilada. Ao contrário da hipótese inicial, na maioria dos casos o ar sai pela abertura, mesmo quando o captador está direcionado para os ventos dominantes. O padrão de distribuição do ar no interior do ambiente se apresenta similar em todos os casos com captadores, com variações no fluxo e velocidades do ar apenas no nível da coberta. Nos casos 02, 03 e 04, onde os elementos possuem maior

altura, há formação de zonas turbulentas atrás do captador, o que pode prejudicar a ventilação de edificações localizadas após o ambiente analisado, caso não haja os afastamentos necessários.

Os melhores resultados foram obtidos na segunda variação dos casos (C01_2 ao C04_2), nos quais os captadores não estão voltados para os ventos, assim como o Caso 05, onde não há formação de vórtices de ar após os elementos e as velocidades medidas foram superiores. Em situações de grande adensamento e pouco recuo entre edifícios, captadores posicionados no sentido contrário à ventilação predominante seriam mais indicados, assim como o C05 que permite a passagem do ar sem maiores interferências, podendo ser utilizado tanto para captação quanto para exaustão do ar, já que sua geometria é aberta. O Quadro 1 resume as considerações sobre os casos simulados.

Quadro 1. Síntese dos resultados das simulações para os captadores.

CASO	RESULTADO	OBSERVAÇÕES
CB		<ul style="list-style-type: none"> - Ventilação na região mais próxima à abertura - Parte posterior do ambiente sem circulação do ar
C01		<ul style="list-style-type: none"> - Distribuição do ar semelhante nos casos com captadores - Em geral, velocidades do ar similares, maiores que no CB, com pequenas variações entre os casos - O elemento não capta o ar na maioria dos casos. Funciona para exaustão considerando a geometria específica analisada. Provavelmente se o elemento tivesse altura maior, o ar entraria pela abertura - Formação de zonas turbulentas quando o captador está voltado para a ventilação predominante - Quanto maior a altura do captador, maior a zona turbulenta formada - Captadores locados para exaustão apresentam maiores velocidades e por consequência melhor desempenho - C02 ao C04 casos menos indicados para áreas adensadas, sendo a segunda variação dos casos (C02_2 ao C04_2) mais apropriada - Necessidade de maior ventilação na parte posterior do ambiente: utilizar a segunda variação dos casos (C01_2 ao C04_2) ou o C05 - O C05 apresenta a maior média de velocidade e não provoca a formação de zonas turbulentas após o captador
C02		
C03		
C04		
C05		

5 CONCLUSÕES

Este software apresenta uma interface amigável de modelagem, com configurações de simulação pré-definidas, oferecendo valores específicos que se alteram automaticamente de acordo com cada modelo, o que facilita o processo de testes e simulações. Apesar das simulações em CFD representarem apenas um momento do fenômeno da ventilação no ambiente, uma vez que aplica valores fixos de velocidade e direção do ar, desconsiderando a variação do padrão de distribuição num intervalo bastante curto de tempo (CUNHA, 2010), é possível estimar determinados comportamentos para projetos através de analogias e testes simplificados.

Durante o processo de simulações, verificou-se que esta ferramenta de CFD ainda está distante do processo projetual devido a limitações operacionais, como a dificuldade de convergência do modelo, as poucas referências sobre o programa, a necessidade de conhecimento de conceitos relacionados à mecânica dos fluidos. A falta de tutorial levou à adoção de configurações de simulação pré-determinadas para facilitar o processo de simulação.

Os testes de sensibilidade permitiram avaliar os primeiros casos definidos, identificando características do software, relacionadas principalmente à modelagem, a configurações e ao tempo da simulação. Em comparações entre simulações com diferentes níveis de precisão, identificou-se o potencial do uso da simulação computacional para análises qualitativas, sem rigorosas configurações de precisão, já que os resultados apresentam padrão de distribuição semelhante aos casos mais refinados (pequena diferença apenas nas velocidades), reduzindo o tempo de simulação e oferecendo possibilidade de o projetista avaliar suas decisões de projeto logo nas primeiras fases projetuais.

As simulações referentes aos casos ajustados apresentaram várias características semelhantes aos testes de sensibilidade e algumas divergências, destacando-se alguns aspectos principais:

Modelagem: os casos apenas funcionaram com o domínio ajustado ao modelo, o que poderia sugerir a indução do fluxo por determinado caminho, porém no teste feito com os recuos no domínio, mesmo sem o padrão de convergência satisfatório, observou-se comportamento semelhante.

Dificuldade de convergência: poucas alterações de geometria implicaram num tempo de simulação elevado e não obtenção do padrão de convergência satisfatório. Não havia modelos similares na biblioteca do software para utilizar como analogia, já que foi feita uma adaptação do módulo de simulação externa para realizar uma análise do ambiente.

Número de iterações: a quantidade de iterações para que haja convergência do modelo se altera de acordo com a complexidade da geometria. Por exemplo, o caso base precisa de menos de 500 iterações, enquanto o Caso 02 só atingiu a convergência com mais de 5000 iterações. Desta forma, não se identifica um padrão no comportamento deste parâmetro.

Configuração da malha: enquanto nos testes de sensibilidade os casos necessitaram de malhas inferiores a 0,05m para convergirem, as simulações dos casos finais atingiram o padrão de convergência com malha maior de 0,10m, pois os testes e modelos anteriores alimentaram as simulações posteriores.

Os resultados para o caso base demonstram a concentração do fluxo de ar e maiores velocidades na região próxima à abertura, com a parte posterior do ambiente desfavorecida e o tempo de simulação foi bem reduzido. Em geral, ao acrescentar captadores, o fluxo de ar assume novo comportamento mais uniforme, com exaustão de parte da ventilação. Observa-se a formação de zonas turbulentas próximas a coberta no exterior do ambiente, principalmente no caso dos captadores mais altos e voltados para a ventilação predominante.

As variações dos casos onde os captadores não estavam voltados para a direção predominante dos ventos obtiveram melhor desempenho, ou seja, para todos os casos analisados, os captadores funcionam melhor como exaustão. Esta posição dos elementos também é favorável em caso de chuvas, já que evitam a entrada de água juntamente com a ventilação dominante.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Introdução à ventilação natural.** Maceió: EDUFAL, 2005.
- COSTA, F. J. M.; ARAÚJO, V. M. D. Ventilação e prescrições urbanísticas - uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis em Natal/RN. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC), 6., 2001, São Pedro, SP; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2001, São Pedro, SP. **Anais Eletrônicos ...** São Pedro, SP, 2001.
- CUNHA, Leonardo Jorge Brasil de Freitas. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural para projeto de edificações em Natal-RN.** 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- DESIGNBUILDER. **Designbuilder software.** [S.l.]: Designbuilder, 2005.
- _____. **Designbuilder CFD v.2.** Stroud, Gloucestershire: Designbuilder, 2009.
- GIVONI, Baruch. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- HAWKES, Dean; FORSTER, Wayne. **Ingeniería, arquitectura y medio ambiente.** Valencia: CISSPRAXIS, 2002. 231 p.
- HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste:** estudos urbanológicos. Recife: UFPE, 1976. 48 p.
- KHAN, Nughman et al. A review on wind driven ventilation techniques. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 1586-1604, febr. 2008.
- KLEIVEN, Tommy. **Natural ventilation in buildings:** architectural concepts, consequences and possibilities. 305 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Architecture)- Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2003.
- LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: ProLivros, 2004. 192 p.
- _____. **Analysis Bio.** Florianópolis, 2003.
- LATORRACA, Giancarlo. **João Filgueiras Lima - Lelé:** arquitetos brasileiros. Lisboa: Editorial Blau; Instituto Lina Bo; P. M. Bardi, 2000.
- MAK, C. M. et al. A numerical simulation of wing walls using computational fluid dynamics. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 995-1002, oct. 2007.
- MONTERO, Jorge Isaac Perén. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé:** estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. 2006. 252 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.
- NEVES, Leticia de Oliveira. **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto:** estratégias de ventilação natural. 2006. 232 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.
- SZOKOLAY, S. V.; DOCHERTY, M. **Climate Analysis: Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques.** Brisbane: PLEA; The University of Queensland, 1999.
- _____. **Introduction to Architectural Science:** the basis of sustainable design. Burlington: Architectural, 2004. 328 p.
- TRINDADE, Sileno Cirne. **Ventilação natural em edifícios tipo galpão no clima de Natal/RN:** aplicação de simulação computacional. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo recurso de pesquisa do edital Universal, que possibilitou a aquisição de equipamentos.