



COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS FERRAMENTAS DE ESTIMATIVA DE FLUXO DE AR COM DADOS MEDIDOS NO EDIFÍCIO DO CPEI

Rejane Magiag Loura (1); Melissa Nascimento de Castro (2) ; Camila Carvalho Ferreira (3); Eleonora Sad de Assis (4)

(1)(2) Curso de Ciências e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Antônio Carlos, 6627, Campus UFMG PCA 1 – Anexo Engenharia, Pampulha, Belo Horizonte, MG. CEP: 31270-90 Telefone: 55-31-3499-6666 Fax: 55-31-3499-6660

e-mail: (1) magiagloura@yahoo.com, (2) melissa@nuclear.ufmg.br, ,

(3) Graduanda do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais. e-mail: ca_lilacf@yahoo.com.br

(4) Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. Rua Paraíba, 697, Funcionários, Belo Horizonte, MG. CEP: 30130-140 Telefone: 55-31-3269-1800 Fax: 55-31-3269-1818

e-mail: elsad@arq.ufmg.br

RESUMO

A correta estimativa da ventilação natural para dimensionamento de aberturas na fase de anteprojeto arquitetônico não é tarefa fácil. Para auxiliar os projetistas, muitos modelos foram desenvolvidos. Neste trabalho, comparou-se três deles: o modelo empírico de Van Straaten e os de rede AIOLOS e COMIS. Os resultados simulados foram comparados com uma estimativa do fluxo de ar feita com base na velocidade média do ar através das aberturas de uma única zona. A medição ocorreu no laboratório do Centro de Pesquisa em Energia Inteligente, localizado na cidade de Belo Horizonte. Os resultados encontrados mostram que os modelos foram capazes de gerar fluxos com ordem de grandeza compatível com o verificado experimentalmente. Discutem-se, ainda, as limitações de cada algoritmo, bem como as limitações do sistema de monitoramento.

ABSTRACT

The correct estimate of the natural ventilation for opening sizing purposes in the previous stage of the architectural project is not an easy task. Many models were developed to help the designers. In this work, three of them were compared: the Van Straaten empiric model, the AIOLOS and COMIS net model. The simulated results were compared with the estimate values of the airflow made based on the mean air velocity through a room considered like a zone. The measurement was done on "Centro de Pesquisa em Energia Inteligente" lab, in Belo Horizonte City. Achieved results show that the models were able to generate flows with magnitude order that are compatible with the internally measured values. Limitations of each algorithm and the monitored system are also discussed.

1. INTRODUÇÃO

Diante da necessidade cada vez maior de racionalização do uso das fontes de energia, promover a qualidade ambiental dos edifícios por meio de soluções passivas é um dos caminhos para diminuir o impacto das edificações sobre a matriz energética.

Uma das variáveis que mais interfere no conforto dos usuários em áreas tropicais é o fluxo de ar nos ambientes. Para possibilitar uma ventilação adequada é necessário que, durante todo o processo de projeto, o projetista seja capaz de avaliar os resultados de suas decisões sobre a ventilação do objeto arquitetônico. Com o intuito de simular condições de ventilação em fase de projeto, muitos modelos foram desenvolvidos. Estes incluem modelos empíricos e de rede de fluxo de ar.

Em cada um destes tipos de modelos existem limitações para representar o objeto real, sobretudo quando se trata de uma edificação mais complexa. É preciso, então, avaliar a adequação dos modelos e sua forma de aplicação a casos reais. Desta forma, o objetivo deste trabalho é comparar três modelos de simulação de fluxo ar com dados estimados. Não se pretendeu validar nenhum dos métodos, mas apenas avaliar a capacidade de cada um em reproduzir as condições do experimento desenvolvido.

1.1 Apresentação dos modelos

A correta estimativa da ventilação natural para dimensionamento na fase de anteprojeto arquitetônico é dificultada pela variabilidade do parâmetro vento, tanto em direção quanto em velocidade e pela falta de conhecimento dos limites e das condições de aplicação dos modelos. Isto, por sua vez, traz incerteza sobre a eficiência dos sistemas naturais de ventilação em projetos arquitetônicos.

Os modelos variam desde um algoritmo empírico para calcular o fluxo global `a técnicas computadorizadas de fluido dinâmico. Neste experimento, adotou-se o modelo empírico de Van Straaten (MASCARO, 1986) que usa um número reduzido de parâmetros de entrada, o AIOLOS (ALLARD, 1998) como exemplo de modelo de multizonas e o COMIS (EUA, 2004) representando o modelo de rede.

Os modelos empíricos permitem calcular o fluxo de ar ou a velocidade média do ar na zona. Essas ferramentas são muito utilizadas por permitirem a obtenção de estimativas dimensionais de maneira rápida e simples. No entanto, devido à simplicidade dos algoritmos empregados, estes métodos apresentam limitações, tais como não considerar a interação entre as zonas, permitindo conhecer os resultados de apenas uma zona por vez. A questão da esquadria é outra limitação, uma vez que os modelos tendem a simplificar a sua influência. O modelo de Van Straaten foi desenvolvido para avaliar o fluxo de ar em aberturas com esquadrias pivotantes horizontais.

Devido às simplificações assumidas em que os modelos empíricos se baseiam, eles podem apenas estimar a renovação do fluxo de ar em uma única zona. No entanto, nas condições reais, são poucos os casos que se apresentam dessa forma, sendo a interação de várias zonas através de aberturas internas de grande importância. Para estes casos, a análise em rede de várias zonas é requerida. De acordo com o conceito do modelo de rede de fluxo de ar, uma edificação é descrita por um reticulado formando uma rede de zonas interconectadas por onde o fluxo de ar passa (links). Cada nó é uma zona e representa um espaço com condições uniformes de pressão externa e interna da edificação, e suas interconexões correspondem a impedimentos para o fluxo de ar, como envoltórias, por exemplo. Os modelos de redes usados foram o COMIS e o AIOLOS. A proposta de desenvolvimento do COMIS surgiu num workshop realizado no Laboratório Lawrence de Berkeley, EUA. Organizado pela Agência Internacional de Energia, o evento contou com especialistas em ventilação de vários países. O COMIS está implementado dentro do software EnergyPlus, que é uma ferramenta complexa de simulação energética de edifícios, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). O programa foi desenvolvido para detalhar a infiltração de ar através de zonas levando em consideração o fluxo por frestas e mecanismos de transporte através de grandes aberturas, usando no cálculo a temperatura interna e externa, e a pressão do vento, entre outras variáveis. O AIOLOS, o outro modelo de redes estudado, foi desenvolvido pelo Grupo de Estudo do Ambiente Construído, do Departamento de Física Aplicada da Universidade de Atenas, na Grécia (ALLARD, 1998). O AIOLOS é um software para o cálculo do fluxo de ar da ventilação natural. Este software está focado no cálculo do fluxo de ar nos vários cômodos de uma edificação e, se comparado ao COMIS, apresenta uma entrada de dados mais simples e rápida, e as opções de saídas são mais limitadas.

1.2 Objeto de estudo

O edifício estudado se localiza na capital de Minas Gerais, Belo Horizonte, cuja latitude é 19°55' sul e longitude 43° 56' oeste. A altitude média da cidade é 852 metros acima do nível do mar. O clima, de

acordo, com a classificação de Köppen é o “Aw”, ou seja, tropical de savana com uma estação úmida no verão e invernos suaves e secos. E a velocidade média dos ventos dificilmente ultrapassa 2 m/s.

O estudo de caso é o prédio do Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Ele se localiza na região oeste de Belo Horizonte. Na figura 1, pode-se ver a orientação em relação ao norte magnético e as plantas do edifício que, além das atividades de pesquisa, abriga uma sala de aula e funções administrativas.

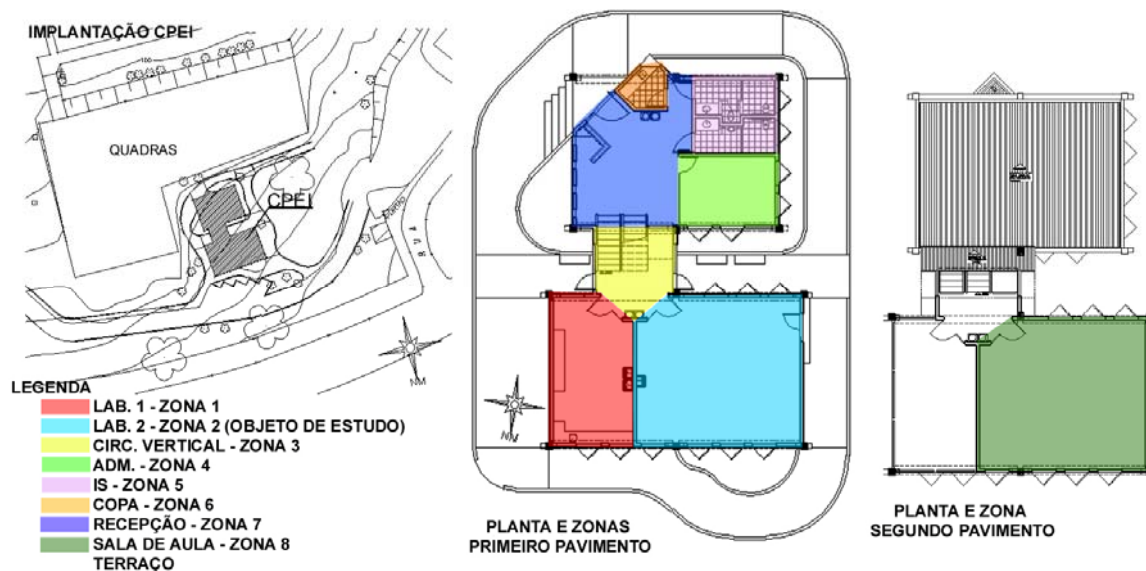


Figura 1 – Localização no campus e plantas do CPEI

O CPEI foi construído através de um Convênio de pesquisa e desenvolvimento entre a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), patrocinadora, o CEFET-MG, a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC). Essa edificação, com área construída de 285 m², foi projetada de acordo com os preceitos da arquitetura bioclimática, com o objetivo de promover o conforto ambiental do usuário e a eficiência energética do edifício. O sistema construtivo utilizado foi a estrutura pré-fabricada de concreto com fechamento em alvenaria de tijolo cerâmico furado.

Para permitir uma análise mais detalhada, o foco de estudo neste trabalho será um ambiente deste edifício: o laboratório de pesquisa do CPEI (Zona 2 na figura 1). Localizado no primeiro pavimento e com fachadas externas voltadas para norte, oeste e sul, este ambiente tem uso semelhante a um escritório comercial. São 10 postos de trabalho, onde os estudantes desenvolvem suas atividades em microcomputadores. O Laboratório dispõe de sete janelas com esquadrias pivotantes verticais com quatro aletas, sendo três localizadas na fachada sul e quatro na fachada norte. Esse posicionamento possibilita a ventilação cruzada no ambiente. Todas as janelas do ambiente de estudo possuem *brises*, que por sua vez contribuem, dependendo da direção dos ventos sobre a fachada, para barrar ou para aumentar a captação do fluxo de ar.

2. METODOLOGIA

2.1 Planejamento do experimento

O experimento foi planejado para possibilitar a comparação entre a estimativa do fluxo de ar e dados simulados nos modelos já apresentados. Para tanto, as condições internas e externas de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento foram medidas simultaneamente. A medição externa da direção do vento foi feita para poder considerar, no tratamento dos dados, as fachadas de alta e baixa pressão a cada momento. A medição externa teve o propósito de retratar as condições do entorno durante a coleta de dados interna. Assim os modelos usaram essas informações como valores de entrada. Já os valores medidos internamente serviram como base de comparação para os resultados de todos os métodos de simulação.

A rodada exploratória de medições durou 60 horas, no período de 07 a 10 de fevereiro de 2005, e deste intervalo extraíram-se os dados para estudo em 48 horas. Durante todo o período de medição o tempo permaneceu estável com céu parcialmente encoberto tendendo a claro.

Mediu-se a temperatura do ar, a umidade relativa e a velocidade do vento no ambiente interno. Externamente, além dessas variáveis, também foi registrada a direção do vento, de modo a poder considerar, no tratamento dos dados, as fachadas de alta e baixa pressão a cada momento. As variáveis externas foram medidas por uma estação meteorológica de fabricação da ELE International, modelo EMS 950, fixada na varanda do segundo pavimento, como mostra a figura 2A. Nesta posição, devido ao entorno bastante desobstruído, foi possível obter uma boa amostra da variação do vento local. O sensor de velocidade do vento neste equipamento é do tipo anemômetro de copo.

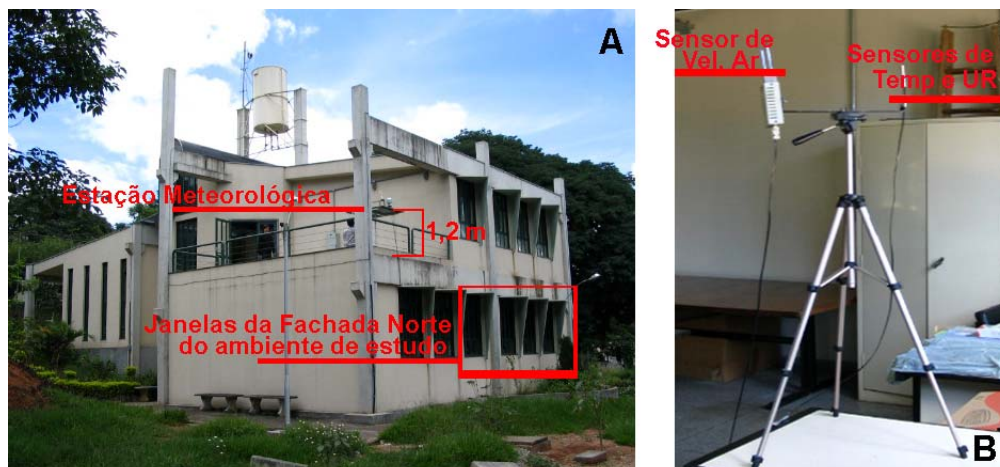


Figura 2 – Imagem das montagens externa (A) e interna (B)

A montagem interna balizou-se pela necessidade de verificar o fluxo de ar através das aberturas do ambiente. Como a figura 3 mostra, a sala estudada possui duas portas. Para desconsiderar estes pontos de entrada ou saída de ar, estabeleceu-se que as portas seriam mantidas fechadas durante todo o experimento, enquanto as sete janelas foram mantidas totalmente abertas nesse período. Nesta situação, devido ao posicionamento das janelas e brises (fig 1), a ventilação cruzada é predominante.

As figuras 2B e 3 mostram a localização dos conjuntos de instrumentos da medição interna que compõem o equipamento chamado confortímetro, fabricado pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina. Cada conjunto é composto por sensor para medição da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa do ar e da velocidade de vento, sendo o último baseado no princípio de fio quente. Os anemômetros de fio quente têm grau de precisão de 0,04 m/s. Os sensores de velocidade do ar e de temperatura, tanto do confortímetro como da estação, foram aferidos pelo CETEC e os valores medidos foram corrigidos de acordo com as indicações de calibração.

Os conjuntos de instrumentos de medição 1 e 2 foram localizados junto ao ponto central de uma das janelas próximo às fachadas Norte e Sul, respectivamente. Já o terceiro foi posicionado próximo ao ponto médio dos demais, no centro da sala. Todos os sensores ficaram à altura de 1,80 m do piso, uma vez que as aberturas têm início a 1,40 m do piso.

Um experimento prévio usando tiras finas de plástico mostrou que o fluxo nas aberturas das duas fachadas é laminar dentro das condições normais do vento local. A ocorrência de turbulências é mínima e só é observada nas condições de reversão da direção do vento nas aberturas. Na impossibilidade de medir-se o fluxo de ar, a variável de interesse, mediu-se a velocidade do ar no ponto central de uma janela em cada fachada e supôs-se que este valor é constante em todos os pontos das aberturas desta fachada.

Coletaram-se, então, os dados de velocidade do ar através das aberturas, sendo que as infiltrações pelas portas foram desconsideradas. O cálculo do fluxo de ar em cada grupo de janelas foi obtido

através da multiplicação dessa velocidade pela área total de aberturas da fachada considerada. Na análise da renovação de ar no ambiente, considerou-se que todo o ar que entra pela fachada que está em alta pressão, sai pelas janelas da fachada que está em baixa pressão, a cada intervalo de tempo.

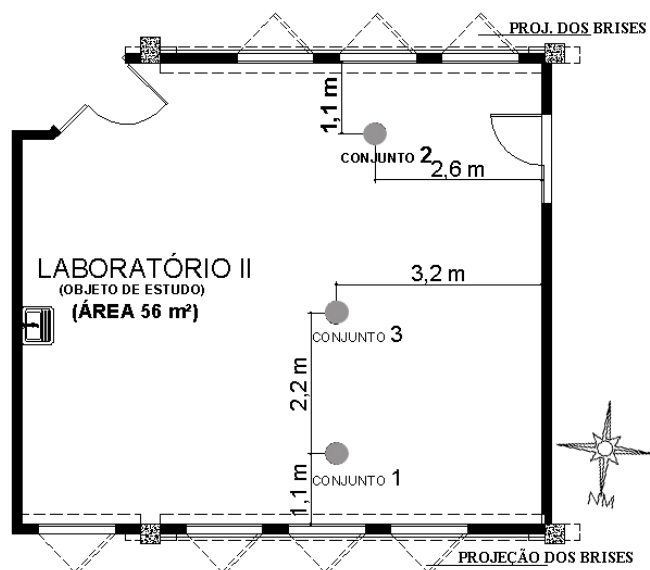


Figura 3 – Localização dos conjuntos de instrumentos de medição

2.2 Arquivos de Simulação

O método de Van Straaten, indicado para janelas pivotantes horizontais, foi usado inicialmente sem adaptações para o caso de estudo. Desta forma, foi possível comparar com os resultados após adaptações.

Estas adaptações buscaram representar as esquadrias do ambiente, pois caso o método seja usado sem alterações, erros podem ser introduzidos principalmente devido à interação da direção do vento com as aletas da janela, já que, neste caso, o ângulo formado entre eles também passa a ter importância.

Outra questão a ser considerada é a de que o ambiente estudado possui *brises* em todas as janelas e o modelo de Van Straaten não considera este tipo de obstrução. Devido à forma do anteparo é provável que eles tenham alguma influência sobre o fluxo de ar no ambiente.

No modelo original o fluxo (ϕ), em m³/s, é calculado por:

$$\phi = C_1 * C_2 * A * v * \sqrt{C_3} \quad [\text{Eq. 01}]$$

onde:

C1 - modela a relação entre o vento e a inclinação das partes móveis da janela com relação ao plano horizontal;

C2 - caracteriza a influência do entorno;

A - é a área necessária calculada com base na razão entre as áreas de entrada e de saída, em m². (gráficos em MASCARÓ, 1986);

v - é a velocidade do vento, em m/s,

C3 - representa a efetividade de penetração do ar no ambiente devido à direção de incidência do vento, com relação à normal à fachada.

As adaptações para o caso estudado se deram no cálculo de C1 e C3. No caso de C1, ao invés de consultar no ábaco o ângulo formado entre as partes móveis e o plano horizontal, consultou-se o ângulo formado entre o vetor direção do vento e as partes móveis, neste caso verticais, projetadas no plano horizontal.

No caso de C3 foram necessárias alterações para representar a influência do *brise*. Sendo assim, o valor máximo para este coeficiente deixou de acontecer quando a incidência do vento é perpendicular ao plano da fachada, para o ser quando esta é paralela ao *brise*. Este valor decaiu até chegar a zero quando a incidência está perpendicular à placa vertical do *brise* (observar, na figura 3, que esta placa tem uma inclinação de 50° com a normal à fachada).

O segundo modelo testado, AIOLOS – versão 1.1, usou da descrição das zonas e das aberturas do ambiente como informações de entrada para descrever o objeto de estudo.

A entrada de dados das zonas consiste: no número de zonas, nos seus respectivos volumes, na temperatura interna, e na distância entre a abertura da janela e o piso da zona – chamada no programa de altura de referência. Testou-se as duas possibilidades de entrada da temperatura interna: fixa ou variável. Durante a simulação, constatou-se, para diferentes arquivos climáticos, que optando pela temperatura variável as temperaturas de saída eram sempre as mesmas e apresentavam alterações horárias bruscas, que são pouco prováveis em uma situação real. Assim, a temperatura interna foi fixada em um valor médio, 22°C, obtido pela média da temperatura interna gerada pelo COMIS.

Para as aberturas é preciso fornecer o dimensionamento, a orientação e o valor do coeficiente de pressão. Optou-se pela inserção do valor do coeficiente na direção mais freqüente do vento, calculado pelo COMIS para as diferentes fachadas.

Outra questão relevante é que não há qualquer descrição da geometria e das características construtivas do edifício, sendo a influência desses fatores desconsiderada.

Por último, foi usado o mais complexo dentre os três modelos, o COMIS – versão 1.2.1.022 do EnergyPlus. Modelou-se todo o prédio no EnergyPlus, considerando os materiais empregados, a forma do edifício e seu entorno. Embora o modelo não seja capaz de simular a interferência dos *brises* no fluxo de ar através das aberturas esses foram mantidos, após testes para verificar qual a diferença de respostas na simulação com e sem os *brises*. Neste teste verificou-se que o programa não apresenta diferenças de resultados para os dois casos.

Como dados de radiação não estavam disponíveis, foi necessário avaliar o impacto dessa variável sobre as saídas de fluxo de ar. Essa verificação foi feita com o uso de três arquivos climáticos onde se alterava apenas os valores da radiação. Um arquivo continha valores nulos para todo o período; o segundo, valores médios para uma cidade de clima semelhante e o terceiro, valores absurdamente altos. Neste teste, os valores das saídas de fluxo de ar através das aberturas apresentaram diferenças insignificantes, por isso optou-se pelo arquivo climático com valores de radiação solar iguais a zero.

O EnergyPlus oferece ferramentas capazes de reproduzir bem as esquadrias do ambiente. Entretanto o COMIS possui apenas as opções para janelas de correr e janelas pivotantes horizontais; selecionou-se, então, o primeiro tipo. Para adequar à situação real, pois a esquadria é pivotante vertical, a definição do percentual de abertura das janelas levou em consideração a projeção das aletas no plano vertical das aberturas e apenas as áreas que resultaram sem nenhuma obstrução foram consideradas como áreas de abertura. O coeficiente de descarga para as janelas foi considerado 0,9, pois segundo Allard (1998) esse é o valor encontrado na literatura para janelas de correr totalmente desobstruídas.

Os coeficientes de pressão foram calculados pelo próprio modelo e os demais coeficientes necessários foram calculados seguindo as orientações de Allard (1998) ou o manual do EnergyPlus. Para aqueles que não constavam nessas fontes foram mantidos os valores que o COMIS considera *default*.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os gráficos apresentados a seguir comparam separadamente os resultados obtidos em cada modelo e os valores estimados de fluxo de ar no ambiente. Verificou-se um comportamento suave da curva da estimativa de fluxo de ar nas aberturas, apenas em poucos momentos de rajadas externas ocorreram maiores amplitudes. Os valores estimados de fluxo do ar oscilaram entre 0,4 e 1,2 m³/s e o valor médio foi de 0,6 m³/s.

A figura 4 mostra a comparação entre os resultados estimados a partir de dados medidos e os calculados pelo método de Van Straaten. A curva pontilhada em azul é a velocidade do ar externo e sua legenda encontra-se no lado direito do gráfico. O método de Van Straaten, ao considerar as janelas como sendo pivotantes horizontais, supõe que o vento, independente de sua direção, é sempre paralelo

ao plano horizontal. Desta forma, quando no método a janela está completamente aberta, paralela à normal da superfície, o valor de C_1 será máximo não importando em que direção (em relação ao norte) o vento incida. Quando se aplicou o método sem alterações considerou-se como se as janelas fossem pivotantes horizontais e estivessem abertas com um ângulo de 30° com o plano horizontal. No caso real, era exatamente este o ângulo formado entre as aletas das janelas e a normal à superfície, porém as aletas eram verticais. Tal aproximação fará com que a direção do vento no parâmetro C_1 seja desconsiderada.

A simples aplicação do método de Van Straaten sem qualquer alteração levou aos resultados mostrados na curva em vermelho. Os valores calculados pelo método são tipicamente mais altos do que aqueles realmente observados. Tal fato pode ser explicado considerando-se que o sistema real possui obstáculos, tais como os *brises* e as aletas verticais da esquadria que o modelo não é capaz de considerar. No caso real, sabe-se que estes obstáculos mudam a forma como o vento interage com a abertura. Esta interação é difícil de se estimar, mas pode-se afirmar, de maneira geral, que a perda de carga produzida por tais artefatos causa uma diminuição no fluxo interno de ar.

Apenas 10, dentre os 48 valores ficaram significativamente abaixo do valor medido. Três deles (dados das horas 29, 30 e 46) ocorreram devido aos dados externos de velocidade do ar, usados no cálculo, apresentarem valores estranhamente baixos nestes três pontos (observar curva azul pontilhada na figura 4). Isto pode ser explicado pelo tipo de sensor usado na medição externa. O anemômetro de copo, por ser um dispositivo eletromecânico, possui atrito estático e precisa estar sujeito a uma velocidade mínima do ar para entrar em movimento. Isto faz com este tipo de sensor registre velocidades iguais a zero em instantes de velocidade baixa. A média deste intervalo fica, então, contaminada, e apresenta valores inferiores aos reais. Os sensores usados na medição interna, por serem mais sensíveis, não apresentam este tipo de problema, daí a diferença na comparação.

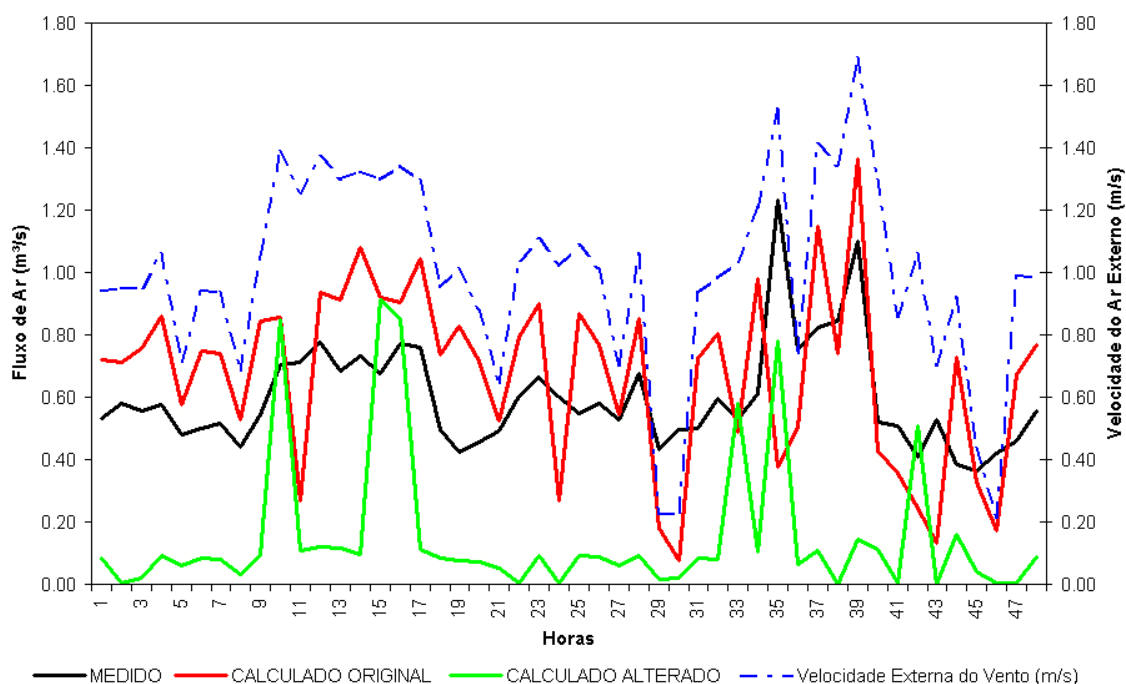


Figura 4 – Gráfico de Resultados do modelo Van Straaten

Ainda dentre os dez valores subestimados existem cinco, onde a direção de incidência é quase paralela à superfície da fachada (menor que 20°). Neste caso, o erro se explica pelo fator C_3 , que é igual a 1 para incidências perpendiculares à superfície e cai a zero para incidências paralelas a esta. Para incidências com ângulos como os descritos acima, este fator é menor que 0,1. Isto faz com que ventos que, no sistema real, são captados pelo *brise* tenham sua eficácia subestimada.

A curva em verde representa a tentativa de fazer com que o modelo compreendesse a influência dos *brises* e das aletas verticais da esquadria. Para isto foram feitas as adaptações descritas no item 2.2.

Percebe-se que a qualidade da resposta, neste caso, foi inferior à da simulação anterior. Donde se conclui que a previsão da interação dos anteparos com o ar não é tarefa trivial e que efeitos de desvio estão presentes. Este tipo de limitação dificulta o trabalho de dimensionamento das aberturas, pois em edifícios de concepção bioclimática a utilização de *brises* é freqüente para o controle da insolação direta e mesmo, da iluminação natural do ambiente.

A figura 5 mostra os resultados obtidos no AIOLOS. Comparando com o que foi medido, verificou-se que, embora os resultados gerados sejam de ordem de grandeza compatível, as curvas não apresentaram uma semelhança de comportamento com os valores medidos. Isto indica que o software não foi capaz de responder às variações horárias de velocidade do ar da maneira esperada.

A média dos fluxos calculados pelo programa mostrou-se inferior à dos estimados pelos dados medidos. Isto pode ser compreendido, pela simplicidade dos dados de entrada inseridos no AIOLOS. Nele não há descrição de fatores que influenciam o fluxo de ar interno, tais como as características geométricas e construtivas do edifício e a especificação da tipologia das aberturas, o que desconsidera a influência das esquadrias. Com isso, pode-se limitar a aplicabilidade do software a edificações de plantas simples, que não usem de soluções mais elaboradas como *brises* ou qualquer outra solução não convencional. Verifica-se, na figura 5, que a curva em vermelho gerada com base nos resultados da simulação não segue o padrão daquela, em preto, obtida a partir dos dados de fluxo de ar estimados. Considerando-se que o fluxo de ar dentro do ambiente é altamente correlacionado à velocidade do vento externo (curva azul pontilhada) percebe-se a imprecisão do AIOLOS em reproduzir um padrão que demonstre influência clara desta variável.

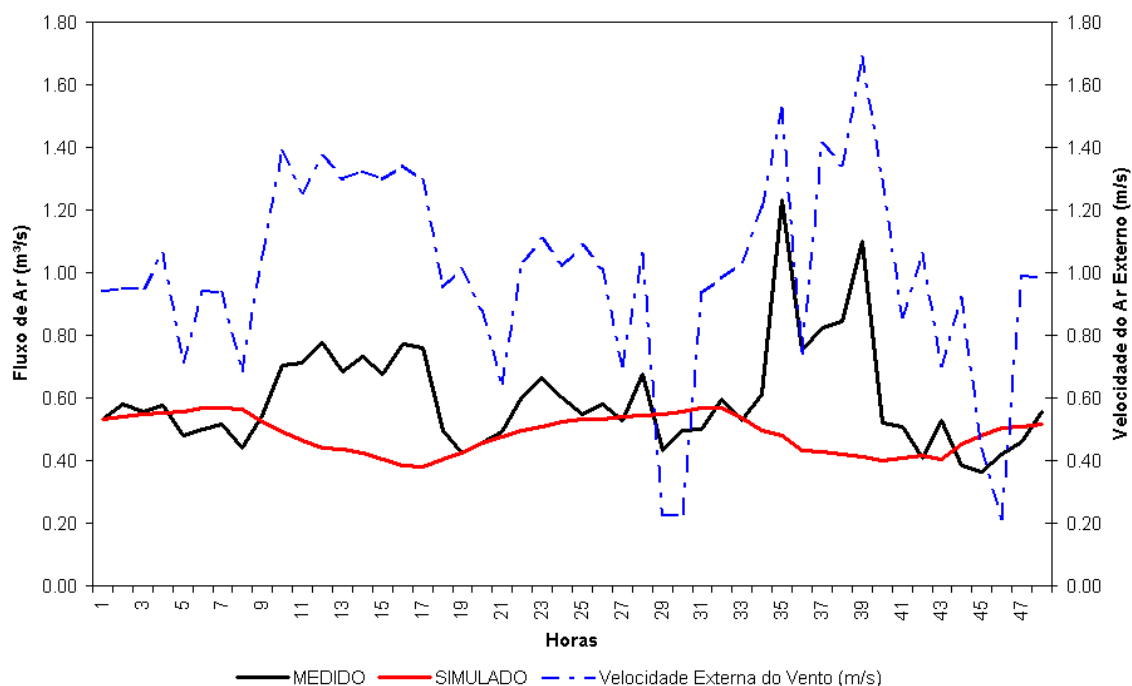


Figura 5 – Gráfico de Resultados do modelo AIOLOS

O COMIS foi o modelo mais complexo usado neste trabalho e, também, o que levou a resultados mais próximos daqueles obtidos a partir dos dados medidos. A figura 6, a seguir, apresenta os resultados de fluxo de ar obtidos através da medição interna da velocidade do ar, representado pela curva em preto e da simulação do ambiente na curva em vermelho, e, também, a velocidade externa do ar medida apresentada pela escala à direita e pela curva em azul pontilhado.

O COMIS apresentou o resultado médio de 0,59 m³/s, próximo do valor medido. Porém, os valores de fluxos simulados não se apresentaram numa curva suave como a curva de dados verificados experimentalmente. Ao longo da curva vermelha observa-se, freqüentemente, picos e vales ainda mais bruscos do que os da curva em preto. Três dos vales existem, também, nas saídas do modelo de Van Straaten e seguem a explicação dada anteriormente relativa às características da instrumentação. Os demais pontos onde ocorre essa diferença de comportamento entre a curva medida e a simulada podem

ser explicados pela limitação do programa em relação ao uso de *brises*. Pois, como já foi dito, a forma dos *brises* utilizados associada à direção do vento interferem na captação do fluxo, aumentando-a ou reduzindo-a.

Além disso, o efeito das aletas não pode ser simulado, já que no COMIS não é possível optar pelo tipo de janela existente no ambiente de estudo. A aproximação feita, que desconsiderou a influência das aletas na passagem do ar, assim como o *brise*, provavelmente implicou, dependendo do ângulo de incidência, na diminuição ou aumento do fluxo desse pelas aberturas.

De maneira geral, considerando as limitações impostas pela dificuldade em representar as aberturas, pode-se dizer que o COMIS apresentou um comportamento dentro do esperado, e que a aparência das curvas resultantes da simulação com esse modelo é a que mais se aproxima daquelas geradas pelas medidas experimentais.

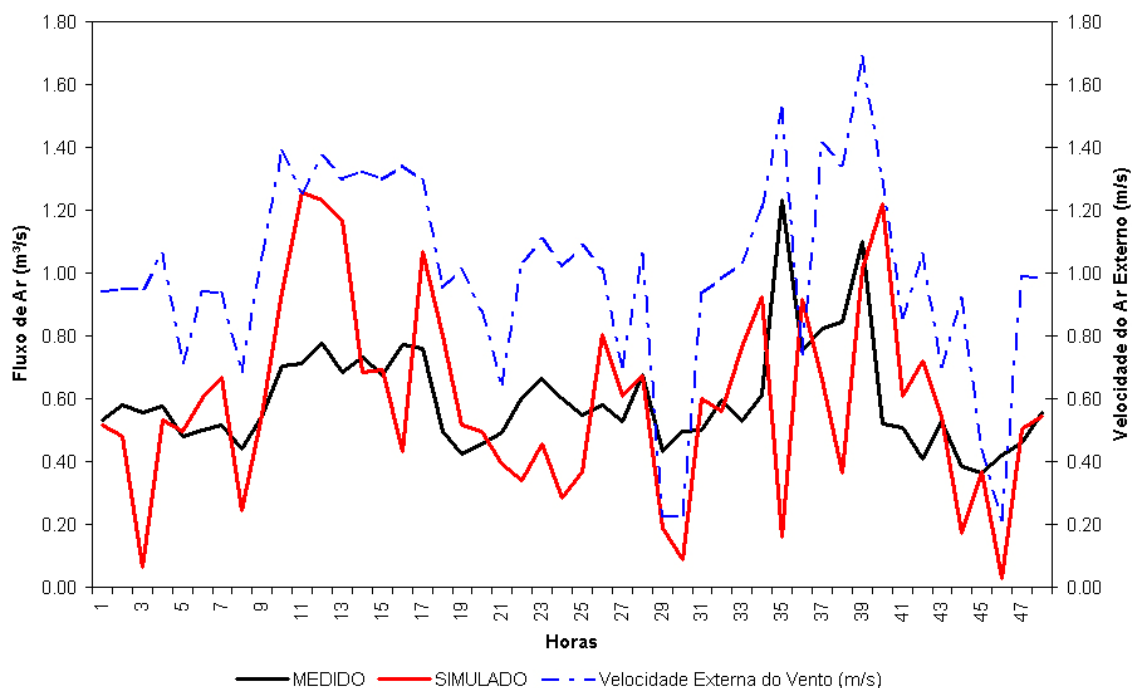


Figura 6 – Gráfico de Resultados do modelo COMIS

Além de comparar a variação dos valores de fluxo de ar através de um ambiente ao longo do tempo, pode-se fazer o mesmo para as taxas de renovação de ar. Esta é a variável mais usada para o dimensionamento da ventilação natural, pois os critérios de ventilação dos ambientes normalmente encontrados na literatura referem-se ao fluxo de ar ou à taxa de renovação do volume de ar do ambiente (MESQUITA et al, 1985; TOLEDO, 1999). Mesquita et al (1985) recomendam para ambientes de escritório que as trocas de ar sejam de 6 a 20 volumes do ambiente por hora. No caso verificado experimentalmente o valor médio dessa taxa foi de 11,5 volumes/hora. Obteve-se este mesmo valor médio para os modelos de Van Straaten e COMIS. O AIOLOS, entretanto, apresentou um valor 17% inferior (9,5 volumes/hora), o que, em situação de projeto, pode levar à avaliações incorretas e, portanto, a erro na tomada de decisão, embora, neste caso estudado, o valor estimado esteja ainda dentro do critério recomendado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho foi possível verificar que o uso de métodos que utilizam um número reduzido de parâmetros de entrada e de operações matemáticas simplificadas (empíricas), como o de Van Straaten, pode ser recomendado nos casos em que se deseja uma resposta rápida, porém só é possível usar seus resultados como indicativos. É preciso ter em mente as limitações do modelo para simular objetos arquitetônicos que não reproduzam as condições de validade do algoritmo. No caso estudado, essas condições foram a forma do edifício, a tipologia das esquadrias e a existência de *brises*.

O modelo AIOLOS, que foi desenvolvido para edificações com mais de uma zona, não mostrou bons resultados quando aplicado no caso estudado, que é uma planta não retangular, possuindo janelas com a área de abertura obstruída (janelas pivotantes e *brises*). Entretanto, mostrou-se uma ferramenta de rápida aplicação, mas de resultados pouco representativos, se comparados aos dados verificados.

No caso do COMIS, obteve-se os melhores resultados (os mais próximos dos dados medidos), mas não se pode afirmar que o mesmo ocorrerá em outras situações reais onde persistirem elementos que o programa não seja capaz de considerar.

Percebe-se que os três modelos estudados não são capazes de lidar, do ponto de vista da ventilação, com elementos integrados às aberturas, tais como *brises*, determinadas tipologias de esquadrias, entre outros. Limitações como essas precisam ser superadas, uma vez que o uso destes elementos é freqüente em edifícios de concepção bioclimática.

As limitações do sistema de monitoramento estão relacionadas com a estimativa do fluxo de ar. Esta foi feita multiplicando a área de abertura pela velocidade média medida no ponto central da fachada norte. Essa aproximação introduz incertezas importantes ao trabalho, uma vez que se sabe que a velocidade do ar não é constante ao longo das fachadas.

É importante frisar que os resultados obtidos neste estudo não podem ser generalizados para outros casos devido às especificidades arquitetônicas, ambientais e instrumentais.

E finalmente, pode-se dizer que se faz necessário investir no aperfeiçoamento das ferramentas de simulação para melhorar a capacidade de verificar a eficácia da ventilação em soluções arquitetônicas variadas, tendo em vista a necessidade de avaliação ainda em projeto do desempenho do edifício quanto ao conforto ambiental e à eficiência energética.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, F. *Natural Ventilation in Building – A Design Handbook*. London: James & James, 1998.
- MASCARÓ, L. *Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados, 1991.
- MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. *Engenharia de Ventilação Industrial*. São Paulo; CETESB/ASCETESB, 1985, 1ª reimpressão.
- TOLEDO, A. *Critérios para o dimensionamento de aberturas de ventilação natural dos edifícios*, Anais do VI Encontro Latino-Americano sobre Conforto Ambiental no Ambiente Construído – ENCAC 2001, São Paulo, 2001.
- TOLEDO, E. *Ventilação Natural das Habitações*. Maceió: EDUFAL, 1999.
- EUA, Lawrence Berkeley National Laboratory. *EnergyPlus Manual*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004

AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo desenvolvido no âmbito do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis, convênio CEMIG 402000010, sob coordenação da Eng. Dra. Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz. As autoras gostariam ainda de agradecer o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, bem como aos professores Eduardo Krüger (CEFET-PR) e Saulo Güths (CT-UFSC), e a mestrandia Michele Matos (CT-UFSC), pelo intercâmbio de informações durante o experimento. Agradecemos, ainda, ao Centro de Pesquisa em Energia Inteligente do CEFET-MG, na pessoa da Prof. Dra. Patrícia Romero da Silva Jota, por ter cedido suas instalações e o equipamento adquirido pelo convênio CNPQ/CEFETMG 55.144.2001/0.