

ESTUDO DA VENTILAÇÃO EM AMBIENTES DE HABITAÇÕES UTILIZANDO ÍNDICES DE VENTILAÇÃO E LÓGICA NEBULOSA

Liang-Yee Cheng (1); Fabio Kenji Motezuki (2)

(1) Dr. Eng., Professor do Departamento de Engenharia de Construção Civil, cheng.yee@poli.usp.br

(2) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
fabio.motezuki@poli.usp.br

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, LabCAD,
Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, n. 83, Cidade Universitária – São Paulo –SP, 05508-900,
Tel.: (11) 3091 5438

RESUMO

Apesar do uso crescente da tecnologia computacional em todas as áreas da engenharia, na arquitetura e na engenharia civil o uso de programas baseados na dinâmica de fluidos computacional (CFD), que exigem conhecimentos especializados e que estão além da formação da maior parte dos arquitetos e engenheiros, ainda é relativamente incipiente, e a inserção das ferramentas de simulação baseadas em CFD no projeto para análise de desempenho ainda está distante do dia a dia da maioria dos profissionais. Sendo assim, constata-se a existência de uma demanda por uma abordagem que permita integrar o CFD ao processo de projeto arquitetônico de modo a aproveitar todo o potencial da tecnologia sem esbarrar em sua complexidade. Para atender esta demanda este estudo propõe uma abordagem simples e eficaz para uma avaliação qualitativa do fluxo de ar em um ambiente. Esta abordagem utiliza um critério de comparação baseado na lógica nebulosa para selecionar uma configuração típica de aberturas para portas e janelas que melhor atenda aos requisitos de ventilação estipulados pelo projetista com base no leiaute definido por ele. Na abordagem proposta a ventilação nas configurações típicas de aberturas é obtida pela simulação em CFD e os resultados são sintetizados e armazenados no sistema na forma de índices de ventilação setorizadas. Por outro lado, os requisitos de ventilação são definidos pelos projetistas conforme o leiaute do ambiente. Por meio de estratégias baseadas na lógica nebulosa para a comparação entre os índices calculados e os requisitos de ventilação, o sistema identifica a configuração de abertura mais adequada ao projeto. Neste trabalho é apresentada uma análise de três estratégias de seleção que podem ser utilizados na abordagem.

Palavras-chave: simulação computacional, ventilação natural, lógica nebulosa

ABSTRACT

Despite the increasing use of computational technology in all areas of engineering, in civil engineering and architecture the use of programs based upon computational fluid dynamics (CFD), which requires expertise and that are beyond the formation of most part of architects and engineers, is still relatively nascent, and the insertion of simulation tools based on CFD in design for analysis of performance is still distant from most professional's daily life. Thus, there is a demand for an approach that allows the integration of CFD to architectonic design process to unleash the full potential of technology and avoid, at same time, its complexity. To meet this demand this study proposes a simple but effective approach for a qualitative assessment of the air flow inside a room. This approach uses a comparison criteria based on fuzzy logic to select a typical configuration of openings, such as doors and windows, which best fit the layout of the room. In the proposed approach the ventilation on typical configurations is obtained by CFD simulation and the results are synthesized and stored in the system as sectorized indices of ventilation. In other hand, the ventilation requirements are defined by designers based on the layout of the room. Through strategies based on fuzzy logic to compare the calculated indices and the requirements of ventilation, the system identifies the most appropriate setting of openings for the design. This work also presents the analysis of three strategies that can be used by the approach.

Keywords: computer simulation, natural ventilation, fuzzy logic.

1. INTRODUÇÃO

As atuais técnicas de simulação computacional permitem obter uma previsão satisfatória da ventilação nas edificações. No entanto, estas técnicas estão ainda distantes da aplicação prática no dia-dia dos arquitetos projetistas por diversos motivos. Entre os quais, pode-se citar a capacidade de processamento dos computadores e a aplicação correta de diversos parâmetros de simulação: para um mesmo caso e utilizando o mesmo código, os resultados podem ser diferentes ou até inválidos quando parâmetros numéricos de simulação são utilizados erroneamente.

A definição destes parâmetros, tais como a discretização do tempo e do espaço, os parâmetros de convergência, as distâncias mínimas até o contorno do domínio de cálculo, exigem um conhecimento sólido sobre as técnicas numéricas, além de experiências práticas de simulação.

Dentro deste contexto surge a necessidade de desenvolver uma ferramenta computacional simples e prática, que auxilie os projetistas na análise da ventilação, mas sem envolvê-los na complexidade de uma simulação computacional. Neste trabalho, na tentativa de preencher esta lacuna, é apresentado um esboço inicial de uma ferramenta do gênero, cuja metodologia será detalhada nos itens a seguir.

Como alternativa sintética e eficaz de quantificar o desempenho da ventilação, diversos índices relacionados ao fenômeno foram propostos no passado, entre os quais se pode citar o trabalho de Givoni (1962) que relacionou a velocidade do ar, medido em diversos pontos por meio de anemômetros de fio quente dentro de um modelo reduzido de sala, com a velocidade do ar na abertura de entrada. Devido às dimensões do modelo e as dimensões do anemômetro, as velocidades medidas podem ser consideradas como uma velocidade média na área de medição.

A Federação das Associações Europeias de Aquecimento e Condicionamento de ar (REHVA) propõe em seu livro de diretrizes “*Ventilation Effectiveness*” (Mundt et al., 2004), dois índices para análise da eficácia da ventilação, estes dois métodos são:

- Eficácia na remoção de contaminantes (*Contaminant removal effectiveness* – CRE)
- Eficácia na troca de ar (*Air change effectiveness* – ACE)

Estes índices são normalmente aplicados na avaliação pós-ocupação do edifício, o que impede que sejam detectadas falhas na concepção, aumentando os custos de correção.

Utilizando alguns dos conceitos destes índices, elaborou-se um denominado “índice de velocidade média modular”, que reflete bem o comportamento geral do fluxo de ar dentro do ambiente em estudo (MOTUZUKI et al., 2005).

2. OBJETIVO

Propor um método de análise da ventilação baseado no uso de um banco de dados de resultados de simulações sintetizados na forma de índice de ventilação para agilizar a tomada de decisão, ainda na etapa de projeto, quanto à adequação do posicionamento das aberturas no quesito de ventilação e possíveis alterações, levando-se em conta o leiaute do ambiente.

3. MÉTODO

Uma idéia gerada a partir do estudo dos índices de eficácia da ventilação e do uso do índice de velocidade média modular foi o uso de algoritmos de reconhecimento de padrões para encontrar configurações mais eficazes das aberturas para atender um determinado leiaute interno.

Como o índice de velocidade média modular reflete bem o comportamento do escoamento dentro do ambiente em função da posição das aberturas de ventilação (MOTUZUKI; CHENG; PIPINEL, 2005; MOTUZUKI, 2009), ao invés de executar simulações computacionais para cada caso de estudo, pode-se identificar e estabelecer algumas configurações típicas de aberturas mais adequadas. Estas configurações podem ser previamente simuladas e seus resultados sintetizados e tabulados na forma de distribuições de velocidade média modular e armazenados em banco de dados.

Esta idéia vem de encontro ao fato de que determinados ambientes possuem dimensões bem definidas, mantendo uma razão de aspecto dentro de determinados limites. O que facilita a criação de um banco de dados com simulações feitas com configurações típicas de janelas e portas.

Para cada leiaute a ser analisado é possível fazer a divisão do espaço em regiões a fim de definir um índice que reflita a demanda pela circulação de ar. Pela confrontação entre os índices de demanda de ventilação obtidos do leiaute e de índices de velocidade média modular das configurações típicas, em suas

respectivas regiões, permite que se identifique e selecione a configuração de aberturas mais adequada para o leiaute em estudo.

A Figura 1 mostra o sistema de análise e avaliação da configuração típica mais adequada para determinado leiaute.

Por questão de simplicidade os ambientes de estudo foram limitados a dormitórios.

3.1. Índice de velocidade média modular

Givoni (1962) fez medições da velocidade do vento em salas com diversas configurações de aberturas para entrada e saída de ar, de modo que foram mapeadas as velocidades médias cobrindo todo o modelo. Com base nestas medições, analisou a influência do posicionamento das aberturas e sua dimensão na ventilação dentro do ambiente.

Baseado no trabalho de Givoni (1962), Motezuki, Cheng e Pipinel (2005) propuseram um índice para análise da ventilação relacionando a velocidade do ar na abertura de entrada com a velocidade média calculada para todos os subdomínios de um ambiente. Este índice é denominado aqui por índice de velocidade média modular sendo calculado conforme a equação (1).

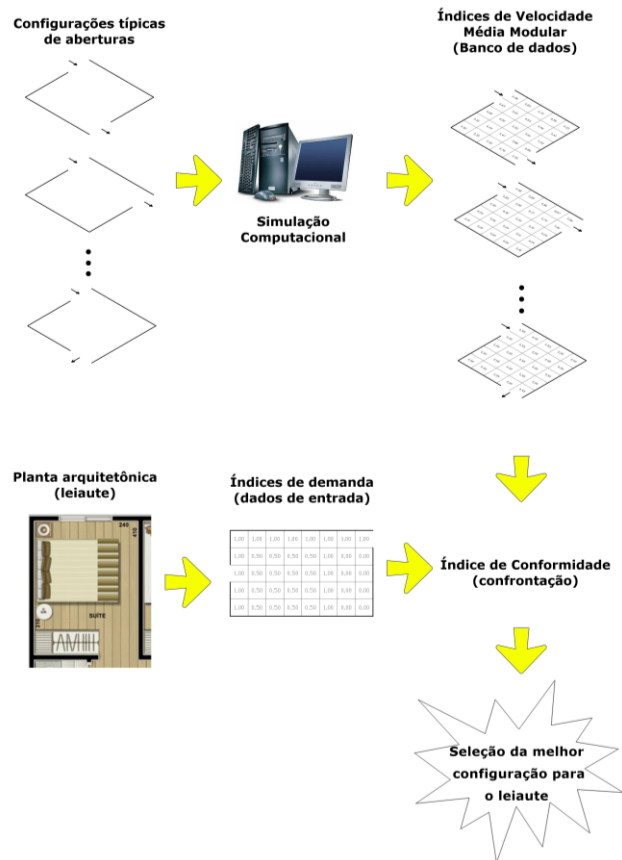


Figura 1 – Visão geral da metodologia proposta

$$IV = \frac{|\text{velocidade média no ambiente}|}{|\text{velocidade na abertura de entrada de ar}|} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sqrt{u_{i,j}^2 + v_{i,j}^2 + w_{i,j}^2}}{n|V_r|} \quad (1)$$

Onde:

IV é o índice de velocidade média modular;

$u_{i,j}$, $v_{i,j}$, $w_{i,j}$ são as componentes da velocidade em um ponto i, j ;

V_r é uma velocidade de referência, no caso, a velocidade na entrada de ar;

n e m são a quantidade de pontos na direção de i e j respectivamente.

Utilizando este índice também é possível efetuar uma análise local da ventilação por meio da determinação da velocidade média modular em um determinado volume da sala em relação à velocidade na abertura de entrada. A Figura 2 mostra um caso onde é aplicado o índice de velocidade média modular sobre o resultado obtido por simulação baseada em CFD, as setas em tonalidade avermelhada e tamanho maior representam as velocidades mais altas, enquanto as setas de tonalidade azul e dimensão menor representam as velocidades menores.

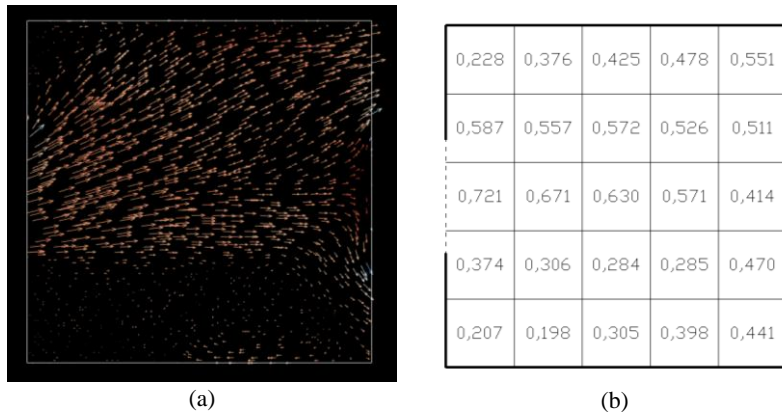


Figura 2 – Comparação entre o campo de velocidades obtido por CFD (a) e o índice de velocidade média modular para as regiões (b)

3.2. Índice de demanda de ventilação

Define-se o índice de demanda da ventilação como o índice que representa os requisitos de ventilação no ambiente, sendo este o dado de entrada a ser definido pelo projetista com base no leiaute do ambiente.

Tomando como exemplo o caso da Figura 3, uma planta de dormitório com duas camas, um armário e um criado mudo, a demanda de ventilação sobre as camas deve ser limitada, pois o excesso de velocidade do vento causa desconforto, sobre o armário a demanda por circulação de ar é nula, uma vez que o próprio armário bloqueia grande parte do pé direito, por sua vez o criado mudo pode ser considerado como parte do corredor devido a sua dimensão reduzida. O corredor tem função essencial de servir como eixo de referência da ventilação, conduzindo o ar pelo ambiente na direção da saída.



Figura 3 – Comparação entre os resultados obtidos utilizando dois critérios diferentes para o índice de demanda de ventilação

Para se determinar o índice de demanda de ventilação pode se utilizar diversos critérios, dentre eles, os mostrados na Figura 3: máxima ventilação e conforto.

O critério de máxima ventilação é o mais simples de se aplicar, uma vez que há poucas opções e decisões a serem tomadas. As regiões não bloqueadas e onde se deseja ventilar recebem o índice 1,0 e as regiões com bloqueio ou restrição recebem o índice 0,0.

No critério de conforto o índice de demanda em cada região depende do tipo de bloqueio ou restrição existente nela podendo variar entre 0,0 e 1,0, por exemplo, nas regiões sobre a cama pode-se requerer uma ventilação um pouco menor, resultando em um índice de demanda de ventilação menor, enquanto que sobre uma escrivaninha ou área de serviço pode-se requerer uma ventilação mais intensa, o que leva a um índice de demanda de ventilação maior.

Uma dificuldade no uso dos índices é a dimensão das regiões a serem consideradas, uma vez que regiões muito grandes não conseguem representar os principais detalhes do ambiente como camas, armários etc. e regiões muito pequenas, com 1 cm de lado por exemplo, apesar de serem capazes de representar com maior fidelidade os obstáculos à ventilação perdem o significado físico e a praticidade na avaliação da ventilação. Considerando isto, neste trabalho, como ponto de partida para análise, escolheu-se uma região com aproximadamente 50 cm de lado, que representa razoavelmente bem os obstáculos, sem perder o significado físico, além de ter uma dimensão próxima a da projeção em planta de uma pessoa.

3.3. Estratégias de seleção

As estratégias de seleção são as formulações adotadas para a comparação e escolha das configurações de abertura que melhor atendem aos requisitos do projeto. Para isso escolheu-se um método simples, a soma dos mínimos quadrados, e outros mais elaborados com a utilização da similaridade nebulosa, que é essencialmente uma forma generalizada do conceito de equivalência matemática (ZADEH, 1971).

De acordo com estes conceitos, a identidade se dará apenas pela equivalência de todas as seções, em geral isto não ocorre e o método seleciona dentre os avaliados aquele que obtiver maior grau de conformidade, portanto mais próximo, do parâmetro de avaliação.

Para utilizar estes métodos, o índice de velocidade média modular (IV) e o índice de demanda de ventilação (ID) passam a ser representados respectivamente, por graus de pertinência de ventilação adequada e graus de pertinência de demanda de ventilação, conforme a Equação (2) e (3).

$$\mu_v(i, j) = IV_{i,j} \quad \text{com } i = 1..m \text{ e } j = 1..n \quad 0 \leq \mu_v(i, j) \leq 1,0 \quad (2)$$

$$\mu_D(i, j) = ID_{i,j} \quad \text{com } i = 1..m \text{ e } j = 1..n \quad 0 \leq \mu_D(i, j) \leq 1,0 \quad (3)$$

Onde:

$\mu_V(i, j)$ é o grau de pertinência de ventilação adequada na região (i, j) ;

$\mu_D(i, j)$ é o grau de pertinência de demanda de ventilação na região (i, j) ;

n é o número de subdivisões na vertical;

m é o número de subdivisões na horizontal;

$IV_{i,j}$ é o índice de velocidade média modular na região (i, j) ;

$ID_{i,j}$ é o índice de demanda de ventilação na região (i, j) .

3.3.1. Soma dos Mínimos Quadrados (MQ)

Na soma dos mínimos quadrados, dada pela Equação (4), a diferença entre o índice de velocidade média modular e o índice de demanda da ventilação é elevada ao quadrado de modo a se obter sempre um valor positivo e quanto maior a diferença entre os valores, maior o impacto no valor da soma. Estes valores são somados e o resultado pode ser utilizado para comparação, quanto menor a soma, melhor é a aproximação.

$$MQ\langle \mu_V, \mu_D \rangle = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\mu_V(i, j) - \mu_D(i, j))^2 \quad (4)$$

3.3.2. Índice de conformidade (IC)

O índice de conformidade é um critério de comparação muito utilizado na lógica nebulosa (*Fuzzy Logic*). Ele estabelece um grau de semelhança entre dois elementos com base nos diversos atributos que definem as características dos elementos. Este grau de semelhança resulta da relação entre o que existe em comum entre os dois elementos, representado pela intersecção entre os dois e que pela lógica nebulosa é dada pela função mínimo, pelo conjunto formado por ambos, representado pela união e que é dada pela função máximo (CHENG, 2007).

O valor do IC, calculado conforme a Equação (5), varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1 for o valor, maior é o grau de semelhança ou afinidade entre os dois conjuntos. Portanto a configuração típica ótima para determinado tipo de leiaute será aquele que maximizar o IC.

$$IC\langle \mu_V, \mu_D \rangle = \begin{cases} \frac{1}{n * m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\min(\mu_V(i, j), \mu_D(i, j))}{\max(\mu_V(i, j), \mu_D(i, j))} & \text{p/ } \mu_V(i, j) \neq 0 \text{ e } \mu_D(i, j) \neq 0 \\ 1,0 & \text{p/ } \mu_V(i, j) = \mu_D(i, j) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Na Equação (5) quando $\mu_V(i, j)$ e $\mu_D(i, j)$ são iguais a zero, o resultado deve ser igual a 1, uma vez que os dois valores são idênticos e, portanto, em conformidade total.

3.3.3. Máxima Similaridade na estrutura generalizada de Łukasiewicz (MS)

Luukka, Saastamoinen e Könönen (2001) elaboraram um método de classificação utilizando o conceito de estrutura de Łukasiewicz, que é a única estrutura de múltiplos valores onde a média de diversas similaridades nebulosas ainda é uma similaridade nebulosa.

A máxima similaridade na estrutura generalizada de Łukasiewicz que, por simplicidade, será chamada apenas de máxima similaridade, cuja expressão já formulada para a abordagem proposta é dada pela Equação (6):

$$MS\langle \mu_V, \mu_D \rangle = \left(\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{i,j} \sqrt[p]{1 - |\mu_V(i, j)^p - \mu_D(i, j)^p|}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{i,j}} \right) \quad (6)$$

Onde:

$W_{i,j}$ é um peso diferente de zero para cada região i, j ;

p é um número natural fixo.

Na Equação (6) tanto $W_{i,j}$ quanto p podem ser definidos de modo a melhorar a sensibilidade do método.

As regiões que contêm aberturas e obstáculos grandes são ponderadas da mesma forma que aquelas livres de restrição, o que pode levar o método a escolher uma configuração típica fisicamente incompatível com o leiaute, por exemplo, colocando uma janela na posição do armário. Procurou-se contornar este problema no processo de escolha da configuração típica mais adequada fazendo com que o método as avalie de modo diferenciado, aumentando a importância no atendimento dos requisitos por meio do acréscimo de peso $W_{i,j}$ para estas regiões peculiares.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a análise das estratégias procedeu-se da seguinte maneira, primeiro foi feita uma análise qualitativa usando a abordagem proposta para identificar a configuração típica de aberturas mais adequada ao leiaute. Em seguida foram executadas simulações em CFD para cada configuração típica de aberturas, porém considerando os móveis dentro do dormitório. Conforme os leiautes, os resultados das simulações em CFD são utilizados, para efeito de análise das estratégias propostas, como referência.

Em suma, a análise dos resultados obtidos foi separada em etapas:

- Determinação dos índices de demanda de ventilação no leiaute escolhido;
- Análise das configurações típicas de aberturas usando a abordagem proposta;
- Simulação usando CFD completo dos leiautes, incluindo os móveis;
- Análise das estratégias propostas.

4.1. Leiautes de estudo

Para a análise da eficácia das estratégias de seleção foram utilizados os três casos de leiaute apresentados na Tabela 1. Na coluna da direita da tabela estão os índices de demanda da ventilação nos subdomínios do ambiente, ou seja, requisitos do projeto estabelecidos conforme o leiaute, devido a existência de obstáculos ou restrições à circulação de ar. As áreas hachuradas representam os locais onde existe obstáculo ou restrição à circulação de ar.

Tabela 1 – Casos e leiaute utilizados na análise da eficácia das estratégias de seleção

Casos de leiaute		Índices de demanda de ventilação																																								
Leiaute 1 (L1)		<table border="1"> <tr><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> </table>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0																																			
Leiaute 2 (L2)		<table border="1"> <tr><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> </table>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0																																			
1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,0																																			
Leiaute 3 (L3)		<table border="1"> <tr><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>0,0</td></tr> </table>	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,0										
0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0																																					
0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0																																					
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0																																					
0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,0																																					
0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,0																																					

4.2. Análise das configurações típicas

Para cada caso foram consideradas três configurações típicas de abertura com a janela em diferentes posições. Neste trabalho optou-se por não mudar a posição das portas, uma vez que determinado o leiaute do pavimento as portas são elementos difíceis de serem reposicionados. As simulações de ventilação para as configurações das aberturas foram executadas previamente, desconsiderando a presença dos móveis e os resultados armazenados no sistema, banco de dados da Figura 1. Os resultados numéricos são sintetizados na forma de índices de velocidade média modular, conforme ilustrado na Figura 2.

A Tabela 2 mostra as configurações típicas de aberturas C1, C2 e C3, e os respectivos índices de velocidade média modular obtidos por meio de simulação, que são utilizadas na análise dos leiautes L1 e L2. A Tabela 3 mostra as configurações típicas de aberturas C4, C5 e C6, e os respectivos índices de velocidade média modular obtidos por meio de simulação, que são utilizadas na análise dos leiaute L3

Tabela 2 – Configurações típicas de aberturas C1, C2 e C3 utilizados na análise dos leiautes L1 e L2 e seus respectivos índices de velocidade média modular







	Configuração de abertura	Índice de velocidade média modular																																								
Configuração típica 1 (C1)		<table border="1"> <tr><td>0,26</td><td>0,30</td><td>0,35</td><td>0,39</td><td>0,43</td><td>0,64</td><td>0,72</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>0,53</td><td>0,55</td><td>0,58</td><td>0,56</td><td>0,51</td><td>0,50</td><td>0,57</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>0,79</td><td>0,80</td><td>0,84</td><td>0,85</td><td>0,81</td><td>0,78</td><td>0,71</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>0,55</td><td>0,49</td><td>0,36</td><td>0,32</td><td>0,39</td><td>0,44</td><td>0,44</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>0,40</td><td>0,50</td><td>0,49</td><td>0,58</td><td>0,63</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,47</td></tr> </table>	0,26	0,30	0,35	0,39	0,43	0,64	0,72	0,57	0,53	0,55	0,58	0,56	0,51	0,50	0,57	0,50	0,79	0,80	0,84	0,85	0,81	0,78	0,71	0,55	0,55	0,49	0,36	0,32	0,39	0,44	0,44	0,51	0,40	0,50	0,49	0,58	0,63	0,67	0,64	0,47
0,26	0,30	0,35	0,39	0,43	0,64	0,72	0,57																																			
0,53	0,55	0,58	0,56	0,51	0,50	0,57	0,50																																			
0,79	0,80	0,84	0,85	0,81	0,78	0,71	0,55																																			
0,55	0,49	0,36	0,32	0,39	0,44	0,44	0,51																																			
0,40	0,50	0,49	0,58	0,63	0,67	0,64	0,47																																			
Configuração típica 2 (C2)		<table border="1"> <tr><td>0,34</td><td>0,27</td><td>0,31</td><td>0,42</td><td>0,50</td><td>0,60</td><td>0,63</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>0,30</td><td>0,27</td><td>0,30</td><td>0,36</td><td>0,33</td><td>0,32</td><td>0,32</td><td>0,64</td></tr> <tr><td>0,25</td><td>0,29</td><td>0,33</td><td>0,40</td><td>0,42</td><td>0,40</td><td>0,44</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>0,64</td><td>0,70</td><td>0,75</td><td>0,77</td><td>0,81</td><td>0,83</td><td>0,80</td><td>0,71</td></tr> <tr><td>0,68</td><td>0,75</td><td>0,84</td><td>0,90</td><td>0,93</td><td>0,91</td><td>0,82</td><td>0,65</td></tr> </table>	0,34	0,27	0,31	0,42	0,50	0,60	0,63	0,54	0,30	0,27	0,30	0,36	0,33	0,32	0,32	0,64	0,25	0,29	0,33	0,40	0,42	0,40	0,44	0,75	0,64	0,70	0,75	0,77	0,81	0,83	0,80	0,71	0,68	0,75	0,84	0,90	0,93	0,91	0,82	0,65
0,34	0,27	0,31	0,42	0,50	0,60	0,63	0,54																																			
0,30	0,27	0,30	0,36	0,33	0,32	0,32	0,64																																			
0,25	0,29	0,33	0,40	0,42	0,40	0,44	0,75																																			
0,64	0,70	0,75	0,77	0,81	0,83	0,80	0,71																																			
0,68	0,75	0,84	0,90	0,93	0,91	0,82	0,65																																			
Configuração típica 3 (C3)		<table border="1"> <tr><td>0,62</td><td>0,65</td><td>0,70</td><td>0,77</td><td>0,94</td><td>1,00</td><td>0,80</td><td>0,69</td></tr> <tr><td>0,60</td><td>0,60</td><td>0,63</td><td>0,66</td><td>0,72</td><td>0,76</td><td>0,72</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>0,49</td><td>0,49</td><td>0,54</td><td>0,59</td><td>0,63</td><td>0,67</td><td>0,68</td><td>0,76</td></tr> <tr><td>0,62</td><td>0,44</td><td>0,44</td><td>0,45</td><td>0,50</td><td>0,55</td><td>0,51</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>0,51</td><td>0,52</td><td>0,54</td><td>0,54</td><td>0,59</td><td>0,58</td><td>0,47</td><td>0,46</td></tr> </table>	0,62	0,65	0,70	0,77	0,94	1,00	0,80	0,69	0,60	0,60	0,63	0,66	0,72	0,76	0,72	0,75	0,49	0,49	0,54	0,59	0,63	0,67	0,68	0,76	0,62	0,44	0,44	0,45	0,50	0,55	0,51	0,59	0,51	0,52	0,54	0,54	0,59	0,58	0,47	0,46
0,62	0,65	0,70	0,77	0,94	1,00	0,80	0,69																																			
0,60	0,60	0,63	0,66	0,72	0,76	0,72	0,75																																			
0,49	0,49	0,54	0,59	0,63	0,67	0,68	0,76																																			
0,62	0,44	0,44	0,45	0,50	0,55	0,51	0,59																																			
0,51	0,52	0,54	0,54	0,59	0,58	0,47	0,46																																			

Tabela 3 – Configurações típicas de aberturas C4, C5 e C6 utilizados na análise do leiaute L3 e seus respectivos índices de velocidade média modular

Configuração típica 4 (C4)		<table border="1"> <tr><td>0,23</td><td>0,30</td><td>0,29</td><td>0,37</td><td>0,43</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>0,59</td><td>0,68</td><td>0,67</td><td>0,68</td><td>0,65</td><td>0,74</td></tr> <tr><td>0,76</td><td>0,87</td><td>0,88</td><td>0,88</td><td>0,80</td><td>0,60</td></tr> <tr><td>0,62</td><td>0,58</td><td>0,57</td><td>0,49</td><td>0,37</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>0,35</td><td>0,38</td><td>0,55</td><td>0,58</td><td>0,53</td><td>0,52</td></tr> </table>	0,23	0,30	0,29	0,37	0,43	0,57	0,59	0,68	0,67	0,68	0,65	0,74	0,76	0,87	0,88	0,88	0,80	0,60	0,62	0,58	0,57	0,49	0,37	0,51	0,35	0,38	0,55	0,58	0,53	0,52
0,23	0,30	0,29	0,37	0,43	0,57																											
0,59	0,68	0,67	0,68	0,65	0,74																											
0,76	0,87	0,88	0,88	0,80	0,60																											
0,62	0,58	0,57	0,49	0,37	0,51																											
0,35	0,38	0,55	0,58	0,53	0,52																											
Configuração típica 5 (C5)		<table border="1"> <tr><td>0,41</td><td>0,39</td><td>0,38</td><td>0,34</td><td>0,37</td><td>0,58</td></tr> <tr><td>0,45</td><td>0,46</td><td>0,41</td><td>0,44</td><td>0,40</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>0,52</td><td>0,52</td><td>0,40</td><td>0,41</td><td>0,48</td><td>0,95</td></tr> <tr><td>0,81</td><td>0,77</td><td>0,68</td><td>0,68</td><td>0,75</td><td>0,77</td></tr> <tr><td>0,77</td><td>0,78</td><td>0,80</td><td>0,77</td><td>0,64</td><td>0,58</td></tr> </table>	0,41	0,39	0,38	0,34	0,37	0,58	0,45	0,46	0,41	0,44	0,40	0,90	0,52	0,52	0,40	0,41	0,48	0,95	0,81	0,77	0,68	0,68	0,75	0,77	0,77	0,78	0,80	0,77	0,64	0,58
0,41	0,39	0,38	0,34	0,37	0,58																											
0,45	0,46	0,41	0,44	0,40	0,90																											
0,52	0,52	0,40	0,41	0,48	0,95																											
0,81	0,77	0,68	0,68	0,75	0,77																											
0,77	0,78	0,80	0,77	0,64	0,58																											
Configuração típica 6 (C6)		<table border="1"> <tr><td>0,68</td><td>0,71</td><td>0,72</td><td>0,71</td><td>0,68</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>0,68</td><td>0,65</td><td>0,65</td><td>0,67</td><td>0,66</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>0,27</td><td>0,17</td><td>0,15</td><td>0,16</td><td>0,16</td><td>0,31</td></tr> <tr><td>0,31</td><td>0,20</td><td>0,18</td><td>0,14</td><td>0,15</td><td>0,33</td></tr> <tr><td>0,34</td><td>0,35</td><td>0,38</td><td>0,38</td><td>0,34</td><td>0,37</td></tr> </table>	0,68	0,71	0,72	0,71	0,68	0,65	0,68	0,65	0,65	0,67	0,66	0,63	0,27	0,17	0,15	0,16	0,16	0,31	0,31	0,20	0,18	0,14	0,15	0,33	0,34	0,35	0,38	0,38	0,34	0,37
0,68	0,71	0,72	0,71	0,68	0,65																											
0,68	0,65	0,65	0,67	0,66	0,63																											
0,27	0,17	0,15	0,16	0,16	0,31																											
0,31	0,20	0,18	0,14	0,15	0,33																											
0,34	0,35	0,38	0,38	0,34	0,37																											

4.3. Análise em CFD dos leiautes incluindo móveis

Tabela 4 – Resultado da aplicação do índice de velocidade média modular para as configurações típicas de cada leiaute incluindo os móveis.

	L1	L2	L3																																																																																																																								
Configuração típica 1 simulada com móveis (CFD1)	<table border="1"> <tr><td>0,32</td><td>0,25</td><td>0,27</td><td>0,32</td><td>0,43</td><td>0,66</td><td>0,53</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,51</td><td>0,52</td><td>0,46</td><td>0,45</td><td>0,49</td><td>0,64</td><td>0,43</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,70</td><td>0,72</td><td>0,68</td><td>0,61</td><td>0,59</td><td>0,63</td><td>0,35</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,58</td><td>0,45</td><td>0,32</td><td>0,23</td><td>0,26</td><td>0,57</td><td>0,41</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,35</td><td>0,35</td><td>0,38</td><td>0,42</td><td>0,41</td><td>0,54</td><td>0,36</td><td>0,00</td></tr> </table>	0,32	0,25	0,27	0,32	0,43	0,66	0,53	0,00	0,51	0,52	0,46	0,45	0,49	0,64	0,43	0,00	0,70	0,72	0,68	0,61	0,59	0,63	0,35	0,00	0,58	0,45	0,32	0,23	0,26	0,57	0,41	0,00	0,35	0,35	0,38	0,42	0,41	0,54	0,36	0,00	<table border="1"> <tr><td>0,35</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,34</td><td>0,45</td><td>0,70</td><td>0,58</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,55</td><td>0,45</td><td>0,49</td><td>0,54</td><td>0,57</td><td>0,70</td><td>0,45</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,78</td><td>0,72</td><td>0,74</td><td>0,78</td><td>0,70</td><td>0,62</td><td>0,28</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,64</td><td>0,40</td><td>0,39</td><td>0,43</td><td>0,41</td><td>0,61</td><td>0,37</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,50</td><td>0,36</td><td>0,36</td><td>0,35</td><td>0,30</td><td>0,47</td><td>0,37</td><td>0,00</td></tr> </table>	0,35	0,33	0,33	0,34	0,45	0,70	0,58	0,00	0,55	0,45	0,49	0,54	0,57	0,70	0,45	0,00	0,78	0,72	0,74	0,78	0,70	0,62	0,28	0,00	0,64	0,40	0,39	0,43	0,41	0,61	0,37	0,00	0,50	0,36	0,36	0,35	0,30	0,47	0,37	0,00	<table border="1"> <tr><td>0,19</td><td>0,21</td><td>0,24</td><td>0,26</td><td>0,37</td><td>0,53</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,57</td><td>0,56</td><td>0,59</td><td>0,62</td><td>0,74</td><td>0,80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,78</td><td>0,81</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,85</td><td>0,61</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,52</td><td>0,35</td><td>0,25</td><td>0,29</td><td>0,58</td><td>0,64</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,27</td><td>0,25</td><td>0,30</td><td>0,36</td><td>0,59</td><td>0,68</td><td></td><td></td></tr> </table>	0,19	0,21	0,24	0,26	0,37	0,53			0,57	0,56	0,59	0,62	0,74	0,80			0,78	0,81	0,82	0,82	0,85	0,61			0,52	0,35	0,25	0,29	0,58	0,64			0,27	0,25	0,30	0,36	0,59	0,68		
0,32	0,25	0,27	0,32	0,43	0,66	0,53	0,00																																																																																																																				
0,51	0,52	0,46	0,45	0,49	0,64	0,43	0,00																																																																																																																				
0,70	0,72	0,68	0,61	0,59	0,63	0,35	0,00																																																																																																																				
0,58	0,45	0,32	0,23	0,26	0,57	0,41	0,00																																																																																																																				
0,35	0,35	0,38	0,42	0,41	0,54	0,36	0,00																																																																																																																				
0,35	0,33	0,33	0,34	0,45	0,70	0,58	0,00																																																																																																																				
0,55	0,45	0,49	0,54	0,57	0,70	0,45	0,00																																																																																																																				
0,78	0,72	0,74	0,78	0,70	0,62	0,28	0,00																																																																																																																				
0,64	0,40	0,39	0,43	0,41	0,61	0,37	0,00																																																																																																																				
0,50	0,36	0,36	0,35	0,30	0,47	0,37	0,00																																																																																																																				
0,19	0,21	0,24	0,26	0,37	0,53																																																																																																																						
0,57	0,56	0,59	0,62	0,74	0,80																																																																																																																						
0,78	0,81	0,82	0,82	0,85	0,61																																																																																																																						
0,52	0,35	0,25	0,29	0,58	0,64																																																																																																																						
0,27	0,25	0,30	0,36	0,59	0,68																																																																																																																						
Configuração típica 2 simulada com móveis (CFD2)	<table border="1"> <tr><td>0,48</td><td>0,37</td><td>0,36</td><td>0,34</td><td>0,36</td><td>0,76</td><td>0,56</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,41</td><td>0,26</td><td>0,20</td><td>0,15</td><td>0,26</td><td>0,77</td><td>0,57</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,37</td><td>0,29</td><td>0,22</td><td>0,25</td><td>0,38</td><td>0,85</td><td>0,53</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,69</td><td>0,64</td><td>0,57</td><td>0,57</td><td>0,63</td><td>0,83</td><td>0,42</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,74</td><td>0,73</td><td>0,57</td><td>0,48</td><td>0,45</td><td>0,64</td><td>0,38</td><td>0,00</td></tr> </table>	0,48	0,37	0,36	0,34	0,36	0,76	0,56	0,00	0,41	0,26	0,20	0,15	0,26	0,77	0,57	0,00	0,37	0,29	0,22	0,25	0,38	0,85	0,53	0,00	0,69	0,64	0,57	0,57	0,63	0,83	0,42	0,00	0,74	0,73	0,57	0,48	0,45	0,64	0,38	0,00	<table border="1"> <tr><td>0,48</td><td>0,44</td><td>0,42</td><td>0,36</td><td>0,29</td><td>0,66</td><td>0,56</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,44</td><td>0,23</td><td>0,24</td><td>0,24</td><td>0,21</td><td>0,61</td><td>0,57</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,41</td><td>0,24</td><td>0,27</td><td>0,33</td><td>0,39</td><td>0,70</td><td>0,53</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,74</td><td>0,57</td><td>0,54</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,70</td><td>0,41</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,77</td><td>0,63</td><td>0,58</td><td>0,56</td><td>0,49</td><td>0,57</td><td>0,34</td><td>0,00</td></tr> </table>	0,48	0,44	0,42	0,36	0,29	0,66	0,56	0,00	0,44	0,23	0,24	0,24	0,21	0,61	0,57	0,00	0,41	0,24	0,27	0,33	0,39	0,70	0,53	0,00	0,74	0,57	0,54	0,57	0,55	0,70	0,41	0,00	0,77	0,63	0,58	0,56	0,49	0,57	0,34	0,00	<table border="1"> <tr><td>0,31</td><td>0,26</td><td>0,26</td><td>0,28</td><td>0,46</td><td>0,61</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,36</td><td>0,30</td><td>0,27</td><td>0,27</td><td>0,43</td><td>0,83</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,49</td><td>0,45</td><td>0,41</td><td>0,44</td><td>0,65</td><td>0,91</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,72</td><td>0,66</td><td>0,62</td><td>0,65</td><td>0,82</td><td>0,79</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,68</td><td>0,70</td><td>0,65</td><td>0,59</td><td>0,69</td><td>0,68</td><td></td><td></td></tr> </table>	0,31	0,26	0,26	0,28	0,46	0,61			0,36	0,30	0,27	0,27	0,43	0,83			0,49	0,45	0,41	0,44	0,65	0,91			0,72	0,66	0,62	0,65	0,82	0,79			0,68	0,70	0,65	0,59	0,69	0,68		
0,48	0,37	0,36	0,34	0,36	0,76	0,56	0,00																																																																																																																				
0,41	0,26	0,20	0,15	0,26	0,77	0,57	0,00																																																																																																																				
0,37	0,29	0,22	0,25	0,38	0,85	0,53	0,00																																																																																																																				
0,69	0,64	0,57	0,57	0,63	0,83	0,42	0,00																																																																																																																				
0,74	0,73	0,57	0,48	0,45	0,64	0,38	0,00																																																																																																																				
0,48	0,44	0,42	0,36	0,29	0,66	0,56	0,00																																																																																																																				
0,44	0,23	0,24	0,24	0,21	0,61	0,57	0,00																																																																																																																				
0,41	0,24	0,27	0,33	0,39	0,70	0,53	0,00																																																																																																																				
0,74	0,57	0,54	0,57	0,55	0,70	0,41	0,00																																																																																																																				
0,77	0,63	0,58	0,56	0,49	0,57	0,34	0,00																																																																																																																				
0,31	0,26	0,26	0,28	0,46	0,61																																																																																																																						
0,36	0,30	0,27	0,27	0,43	0,83																																																																																																																						
0,49	0,45	0,41	0,44	0,65	0,91																																																																																																																						
0,72	0,66	0,62	0,65	0,82	0,79																																																																																																																						
0,68	0,70	0,65	0,59	0,69	0,68																																																																																																																						
Configuração típica 3 simulada com móveis (CFD3)	<table border="1"> <tr><td>0,66</td><td>0,68</td><td>0,72</td><td>0,78</td><td>0,90</td><td>0,91</td><td>0,47</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,64</td><td>0,61</td><td>0,55</td><td>0,56</td><td>0,59</td><td>0,62</td><td>0,38</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,33</td><td>0,24</td><td>0,14</td><td>0,13</td><td>0,19</td><td>0,34</td><td>0,44</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,36</td><td>0,26</td><td>0,18</td><td>0,17</td><td>0,23</td><td>0,46</td><td>0,38</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,39</td><td>0,40</td><td>0,36</td><td>0,37</td><td>0,35</td><td>0,43</td><td>0,32</td><td>0,00</td></tr> </table>	0,66	0,68	0,72	0,78	0,90	0,91	0,47	0,00	0,64	0,61	0,55	0,56	0,59	0,62	0,38	0,00	0,33	0,24	0,14	0,13	0,19	0,34	0,44	0,00	0,36	0,26	0,18	0,17	0,23	0,46	0,38	0,00	0,39	0,40	0,36	0,37	0,35	0,43	0,32	0,00	<table border="1"> <tr><td>0,67</td><td>0,71</td><td>0,75</td><td>0,79</td><td>0,90</td><td>0,90</td><td>0,44</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,65</td><td>0,57</td><td>0,57</td><td>0,57</td><td>0,54</td><td>0,53</td><td>0,35</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,33</td><td>0,19</td><td>0,18</td><td>0,14</td><td>0,09</td><td>0,26</td><td>0,43</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,38</td><td>0,19</td><td>0,18</td><td>0,14</td><td>0,09</td><td>0,37</td><td>0,39</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,43</td><td>0,36</td><td>0,38</td><td>0,34</td><td>0,28</td><td>0,44</td><td>0,33</td><td>0,00</td></tr> </table>	0,67	0,71	0,75	0,79	0,90	0,90	0,44	0,00	0,65	0,57	0,57	0,57	0,54	0,53	0,35	0,00	0,33	0,19	0,18	0,14	0,09	0,26	0,43	0,00	0,38	0,19	0,18	0,14	0,09	0,37	0,39	0,00	0,43	0,36	0,38	0,34	0,28	0,44	0,33	0,00	<table border="1"> <tr><td>0,60</td><td>0,61</td><td>0,61</td><td>0,61</td><td>0,63</td><td>0,63</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,60</td><td>0,61</td><td>0,62</td><td>0,63</td><td>0,68</td><td>0,62</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,17</td><td>0,14</td><td>0,13</td><td>0,18</td><td>0,22</td><td>0,29</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,18</td><td>0,13</td><td>0,08</td><td>0,11</td><td>0,16</td><td>0,27</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,22</td><td>0,20</td><td>0,19</td><td>0,21</td><td>0,27</td><td>0,32</td><td></td><td></td></tr> </table>	0,60	0,61	0,61	0,61	0,63	0,63			0,60	0,61	0,62	0,63	0,68	0,62			0,17	0,14	0,13	0,18	0,22	0,29			0,18	0,13	0,08	0,11	0,16	0,27			0,22	0,20	0,19	0,21	0,27	0,32		
0,66	0,68	0,72	0,78	0,90	0,91	0,47	0,00																																																																																																																				
0,64	0,61	0,55	0,56	0,59	0,62	0,38	0,00																																																																																																																				
0,33	0,24	0,14	0,13	0,19	0,34	0,44	0,00																																																																																																																				
0,36	0,26	0,18	0,17	0,23	0,46	0,38	0,00																																																																																																																				
0,39	0,40	0,36	0,37	0,35	0,43	0,32	0,00																																																																																																																				
0,67	0,71	0,75	0,79	0,90	0,90	0,44	0,00																																																																																																																				
0,65	0,57	0,57	0,57	0,54	0,53	0,35	0,00																																																																																																																				
0,33	0,19	0,18	0,14	0,09	0,26	0,43	0,00																																																																																																																				
0,38	0,19	0,18	0,14	0,09	0,37	0,39	0,00																																																																																																																				
0,43	0,36	0,38	0,34	0,28	0,44	0,33	0,00																																																																																																																				
0,60	0,61	0,61	0,61	0,63	0,63																																																																																																																						
0,60	0,61	0,62	0,63	0,68	0,62																																																																																																																						
0,17	0,14	0,13	0,18	0,22	0,29																																																																																																																						
0,18	0,13	0,08	0,11	0,16	0,27																																																																																																																						
0,22	0,20	0,19	0,21	0,27	0,32																																																																																																																						

Para cada combinação de configuração típica de abertura e leiaute do ambiente estudada foi realizada uma simulação usando CFD com os móveis dentro dela, que denominamos de “CFD completo”, de modo que os resultados destas simulações pudessem servir como referência para a análise do desempenho das estratégias de seleção. Os resultados são apresentados na forma de índice de velocidade média modular, Tabela 4.

4.4. Análise das estratégias de seleção

Para o método de máxima similaridade existe a possibilidade de usar pesos de modo a alterar a importância de determinada região na estratégia de escolha, por exemplo, os casos foram analisados com o peso de todas as regiões igual a 1,0 e com os pesos diferenciados, conforme mostra Figura 4. Na Figura 4 os pesos nos contornos são maiores, pois o contorno é o local onde se concentram os itens de maior importância à ventilação, como as aberturas de entrada e saída de ar, além de grandes obstáculos, como o armário.

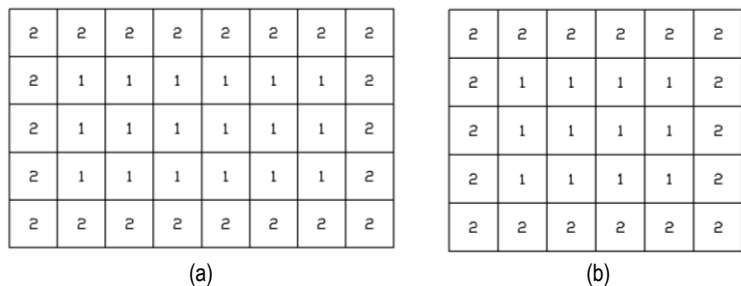


Figura 4 – (a) Pesos utilizados nos casos 1 e 2 e (b) Pesos utilizados no caso 3

Na Figura 5 são mostrados os resultados das estratégias de seleção. Para cada gráfico, o gráfico de barras da esquerda representa os resultados obtidos da aplicação da abordagem proposta usando as configurações típicas. Por exemplo, utilizando o índice de demanda de ventilação de L1 com a configuração C1 aplicando a estratégia de mínimos quadrados obtém-se o valor de 6,76. Para o gráfico de barras da direita são mostrados os resultados obtidos usando CFD completo, por exemplo, utilizando o índice de demanda de ventilação de L1 com o resultado CFD1, aplicando o método dos mínimos quadrados, obtém-se o valor de 6,10.

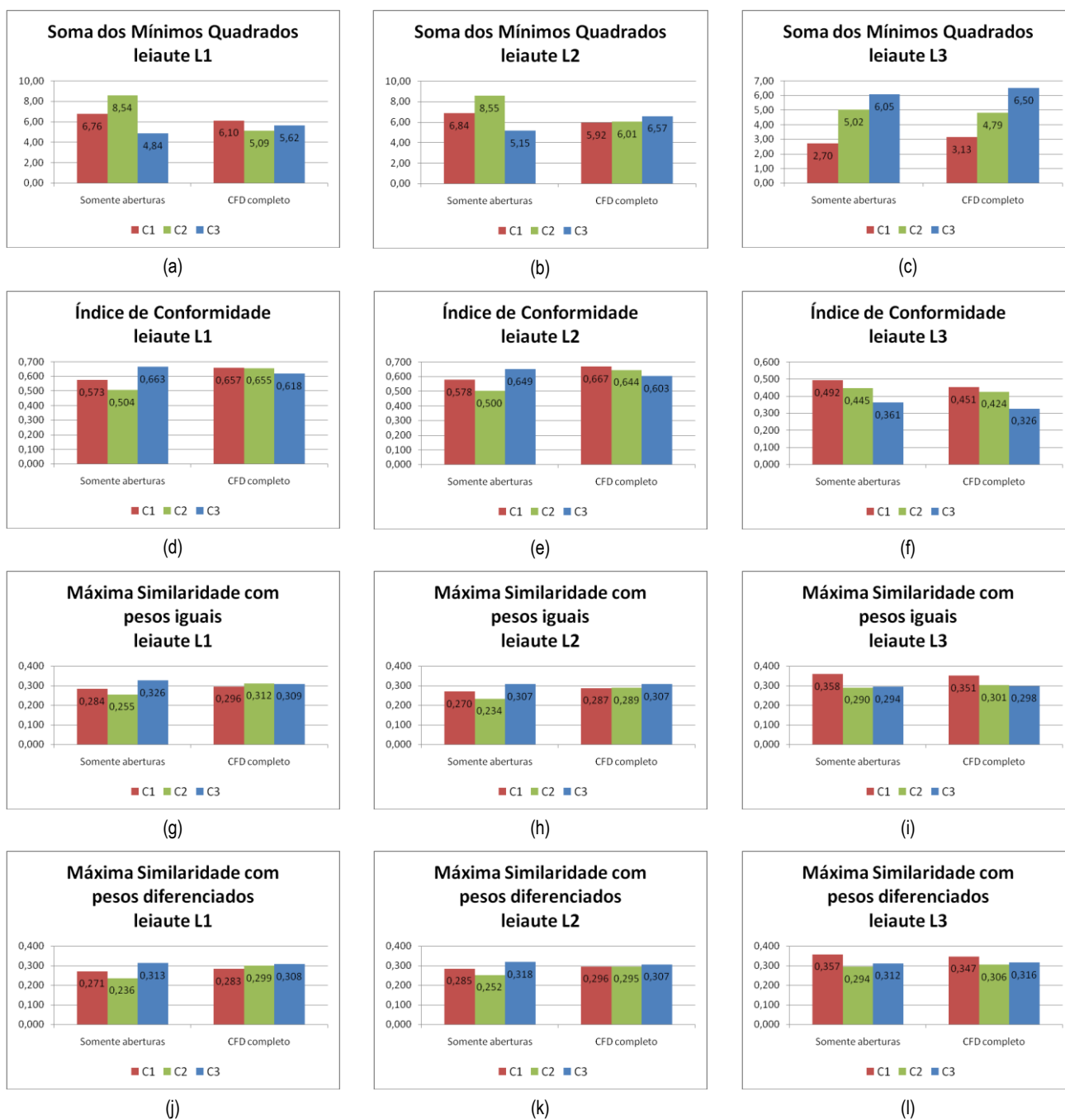


Figura 5 – Resumo dos resultados fornecidos pelos métodos de seleção

Ainda na Figura 5 observa-se que para o leiaute L1, gráficos (a), (d), (g) e (j), as estratégias forneceram resultados diferentes para a abordagem proposta e o CFD completo, que considera a existência de mobília no ambiente. A maior discrepância entre os resultados da abordagem e do CFD completo é ligado à configuração típica C2. No entanto, para a estratégia de máxima similaridade com pesos diferenciados, tanto a abordagem proposta como o CFD completo indicam a configuração C3 como melhor opção.

Para o leiaute L2, gráficos (b), (e), (h) e (k), usando as estratégias de soma dos mínimos quadrados e de índice de conformidade, a abordagem proposta e o CFD completo indicam diferentes resultados, enquanto que usando as estratégias de máxima similaridade com pesos iguais ou diferenciados, tanto a abordagem proposta com o CFD completo, indicam a configuração C3 para o leiaute L2.

Para o leiaute L3 verificou se que independente das estratégias utilizadas a abordagem proposta e o CFD completo indicam a configuração C1 como melhor solução para o posicionamento das aberturas.

Dos resultados da análise, pode-se concluir que, utilizando a estratégia de máxima similaridade com pesos diferenciados, a abordagem proposta forneceu os mesmos resultados daqueles obtidos com CFD completo para os três leiautes estudados. Sendo assim, a aplicação conjunta da estratégia com a abordagem

proposta pode ser usada como substituição da simulação CFD completa na análise qualitativa e a escolha da melhor configuração de abertura para um determinado leiaute.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposta uma abordagem para simplificar a análise da ventilação em ambientes de habitação. A abordagem utiliza índices de ventilação previamente calculadas e, por meio de técnicas de reconhecimento de padrões, identifica a melhor configuração das aberturas, levando-se em conta o leiaute do ambiente.

Várias estratégias de seleção utilizando conceitos de lógica nebulosa foram testadas. Dentre estas estratégias a que se destaca é a máxima similaridade na estrutura generalizada de Łukasiewicz, que mostrou maior coerência entre os resultados obtidos com a simulação do ambiente completo em CFD.

Utilizando a abordagem proposta é possível o desenvolvimento de um sistema computacional simples para a análise da ventilação, sem que sejam necessários conhecimentos aprofundados das formulações da dinâmica dos fluidos ou mesmo dos parâmetros de simulação.

6. REFERÊNCIAS

- CHENG, L. Y. **Quantificação de variáveis subjetivas no projeto**: apostila da disciplina PCC-5015. 2007.
- GIVONI, B. **Basic study of ventilation problems in housing in hot countries**: Final report, sponsored by the Ford foundation. Haifa Technion – Building Research Station, Israel Institute of Technology, 1962.
- LUUKKA, P.; SAASTAMOINEN, K.; KÖNÖNEN, V. A Classifier Based on the Maximal Fuzzy Similarity in the Generalized Łukasiewicz-Structure. In: The 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2001, Melbourne, Australia. **Proceedings...** Melbourne: IEEE, 2001. p. 195-198. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1007281>. Acesso em 17 Dez 2008.
- MOTEZUKI, F. K.; CHENG, L. Y.; PIPINEL, E. A. R. Análise computacional da influência das aberturas na ventilação cruzada. In: VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 1280-1289. 1 CD-ROM.
- MOTEZUKI, F. K. **Um estudo sobre a simulação computacional da ventilação cruzada em habitações e sua aplicação no projeto arquitetônico**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- MUNDT, E. (Ed.); MATHISEN, H. M.; NIELSEN, P. V.; MOSER, A. **Ventilation effectiveness**: REHVA Guidebook n°2. 2004. 74p.
- ZADEH, L. A. Similarity Relations and Fuzzy Orderings. **Information Sciences**, v. 3, n. 2, 1971. p. 177-200.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida.