

## **AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NA DINÂMICA DA VENTILAÇÃO NA RUA CENTRAL DA VILA 37: MUDANÇAS NA OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO**

**Patricia R. C. Drach (1); José Karam F. (2)**

- (1) Coordenação de Mecânica Computacional - CMC – Laboratório Nacional de Computação Científica – LNCC/MCT, Brasil - e-mail: [pdrach@lncc.br](mailto:pdrach@lncc.br)  
(2) Coordenação de Mecânica Computacional - CMC – Laboratório Nacional de Computação Científica – LNCC/MCT, Brasil - e-mail: [jkfi@lncc.br](mailto:jkfi@lncc.br)

### **RESUMO**

No início do século XX a cidade do Rio de Janeiro vivenciou um grande crescimento populacional expandindo seus limites para regiões mais distantes, os antigos subúrbios. A instalação de indústrias e de chácaras residenciais definiu um novo perfil de ocupação nestas áreas. Visando suprir as novas demandas de mão-de-obra, vilas operárias foram construídas em grande parte dos antigos subúrbios da cidade. Dentre estas novas construções está a Vila 37 originalmente formada por 24 casas e um sobrado situado em sua entrada. A construção das habitações da Vila 37, situada no bairro do Catete, na cidade do Rio de Janeiro, aconteceu, portanto, num momento de expansão desta cidade e numa época em que não havia ainda ocorrido o aterro da orla da praia do Flamengo, de modo que as residências estavam mais próximas do mar. Outras transformações como construção de novas e mais altas edificações contribuíram para promover uma grande alteração da malha urbana no sítio destas pequenas casas. Pelos projetos originais das habitações, bem como, das construções existentes na época de implantação do conjunto pode-se notar que as alterações sofridas por esta região são suficientes para induzir uma nova dinâmica nos campos de vento que atuam no interior da vila. Adotando a modelagem computacional e a simulação numérica, compararemos o perfil do campo de velocidades no interior da rua central da Vila 37. Para tal é adotado o método misto estabilizado de elementos finitos – tipo Petrov-Galerkin – aplicado às equações de Navier-Stokes. Os resultados obtidos para os dois casos, ou seja, o projeto original e a configuração atual das casas, serão comparados. Os resultados computacionais sugerem a capacidade do entorno de interferir no perfil de ventilação na rua central da vila. A modelagem computacional traz como contribuição a possibilidade de avaliar as alterações sofridas por edificações ao longo do tempo e, por vezes antes que as consequências de intervenções inadequadas sejam irreversíveis.

Palavras-chave: Ambiente construído; ocupação do solo; elementos finitos; campo de vento.

### **ABSTRACT**

The construction of the houses of Vila-37, located in the neighbourhood of Catete, in Rio de Janeiro city, happened in a moment of expansion of the city and when the embankment of Flamengo beach had not happened, so these residences were closer to the sea. Beside the creation of the Flamengo embankment, other transformations imposed to the region began to alter the profile and the quality of the ventilation in those homes. Now, they are buried by the urban volumes. When observing the original projects of these small houses as well as the existent constructions at the time of its implantation, it can be noticed that the alterations imposed to the group are enough to induce new wind field dynamics inside the group and inside the houses. The analysis starts by solving the air circulation problem to determine the wind fields, using a mixed stabilised finite element method - type Petrov-Galerkin - applied to the full Navier-Stokes equations. The computational results obtained to both cases, the original project or the actual scenario will be compared. These results suggest that the microclimate is able to interfere with the ventilation pattern in vila's main street. The computational modelling brings as a contribution the possibility to evaluate the alterations suffered by constructions along the time and before that the consequences of inadequate interventions are irreversible.

Keywords: Built environment; soil occupation; finite elements; wind field.

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do final do século XVIII, com a chegada da revolução industrial, a migração do campo em direção aos centros urbanos experimentou um grande crescimento. No Brasil, entre os anos de 1872 e 1890, ou seja, no final do século XIX e início do século XX, a população urbana na cidade do Rio de Janeiro quase dobrou em apenas 18 anos. Uma grande migração da população rural - principalmente de ex-escravos - tornou a cidade um enorme mercado de trabalho informal e o principal centro econômico e financeiro do país, apesar de seu centro urbano possuir características típicas de uma colônia (VON DER WEID, 2004). Este novo perfil social da cidade, associado a uma rápida urbanização aumentou a demanda e a oferta de bens e serviços, trazendo muitos problemas para a administração desta estrutura. A cidade do Rio de Janeiro precisou estender seus limites para áreas não antes ocupadas. A instalação de indústrias e de chácaras para as classes mais abastadas nestas novas áreas definiu um novo perfil de ocupação. Nesta época, bairros como Botafogo, Glória e Copacabana não eram áreas de interesse da população. As dificuldades de transporte urbano deixavam estes bairros muito distantes do centro de decisões de cidade. Diante deste quadro surgiu a necessidade de transporte coletivo visando servir os trabalhadores de um modo mais apropriado.

Em 1856, o Dr. Thomas Cochrane conseguiu a primeira concessão para estabelecer a linha de veículos (puxados por burros) sobre trilhos de ferro, ligando o Centro à Tijuca (VON DER WEID, 2004). Posteriormente, outras concessões foram dadas a outras companhias para cobrir trajetos diferenciados. Em 1883, a Botanical-Garden Rail Road passou a chamar-se Companhia do Caminho de Carris de Ferro do Jardim Botânico - ligando o Centro da cidade à zona rural de Botafogo e passando pelos subúrbios de Glória e Catete (VON DER WEID, 2004). Segundo o Inventário Analítico: Arquivo Textual (Light Serviços de Eletricidade Sociedade Anônima), em 1891 a Companhia Ferro-Carril Jardim Botânico, atendendo a crescente demanda por transporte, assinou um convênio com a empresa General Electric para a construção de uma usina termoeletrica na Rua 2 de Dezembro, Catete. A linha de ligação Largo do Machado / Rua da Carioca foi eletrificada, naquele ano ainda. A criação das linhas de transporte colaborou com a crescente urbanização, que aconteceu nos antigos subúrbios da cidade, proporcionando um deslocamento mais rápido.

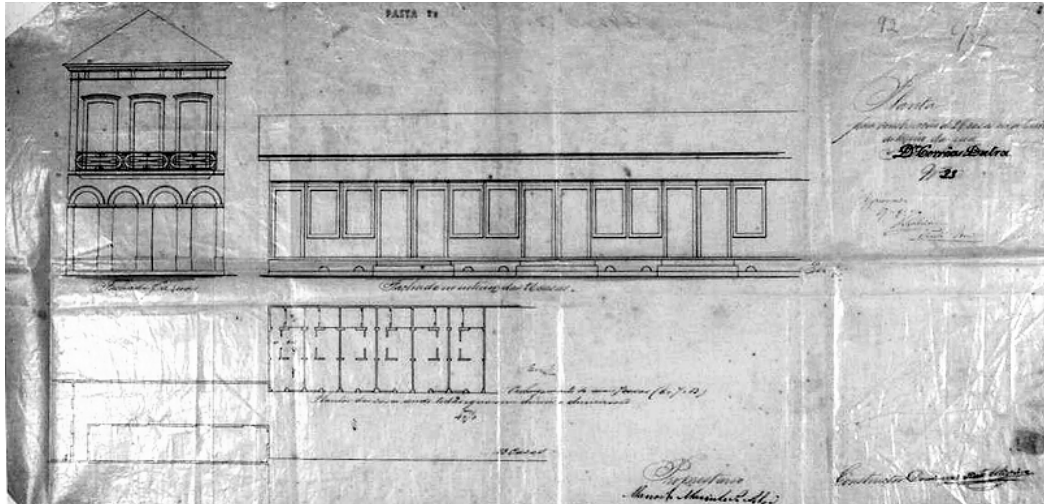
Col. Marcelo Almirante



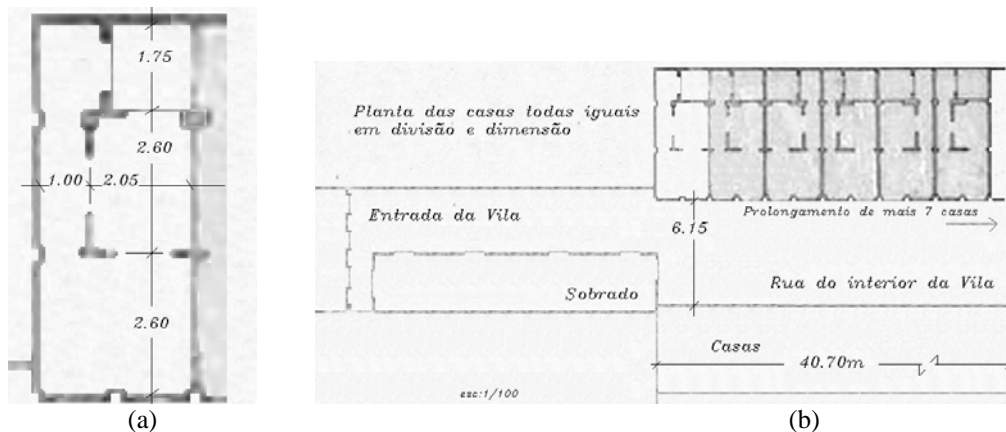
**Figura 1** – Veículo puxado por burro. Coleção Marcelo Almirante.

Indústrias estabelecidas nos subúrbios da cidade, Laranjeiras, Jardim Botânico, Gávea, Botafogo, Tijuca e Andaraí atraíram verdadeiros núcleos operários para suas proximidades. Esta população trabalhadora residia em vilas operárias construídas pela própria empresa em que trabalhava ou em cortiços improvisados. Além disso, aconteceu a ocupação residencial dos subúrbios com a construção de chácaras e sítios (CRULS, 1952). Das vilas operárias originais, muitas resistiram ao longo do tempo, nos bairros citados, apesar de suas casas terem sofrido alterações, principalmente ampliações - as residências eram usualmente muito pequenas.

As casas da Vila 37 foram construídas pelo Sr. Manuel Marinho da Silva no ano de 1890, portanto, neste momento de grandes alterações na cidade do Rio de Janeiro. Situada, à época, à Rua Doutor Corrêa Dutra 23 - antigo número 9 - Catete, era formada por um conjunto de 24 casas de um pavimento e, ainda, um sobrado de dois pavimentos localizado em sua entrada. Apesar do projeto original apresentar a previsão da construção de 26 casas, apenas 24 casas ocupam a vila. A fotografia na Figura 2 apresenta o projeto original desta vila e nas Figuras 3(a) e 3(b) podem ser observados os detalhes da planta de situação e da planta baixa da casa padrão, respectivamente. Estes documentos foram obtidos através do Arquivo Geral da Cidade do Rio de Janeiro - AGCRJ (1980).

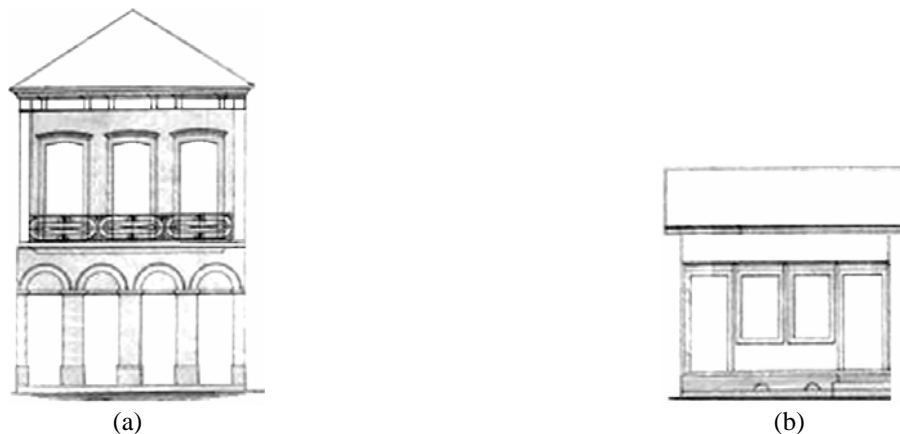


**Figura 2.** Fotografia do projeto original de 1890 - Arquivo Geral da Cidade do Rio de Janeiro - AGCRJ.



**Figura 3 -** Detalhe do projeto original (AGCRJ): planta baixa (a) e de localização (b).

Na Figura 4 podem ser observados outros detalhes da planta original de 1890, como a “fachada da rua” em referência ao sobrado localizado na entrada da vila e a fachada da casa padrão.



**Figura 4 -** Detalhe do projeto original (AGCRJ): fachada da rua (a) e fachada de duas casas padrão (b).

A construção da Vila 37 aconteceu num momento de expansão da cidade do Rio de Janeiro na direção do bairro de Botafogo e, como foi visto anteriormente, da criação da linha de Bonde Largo do Machado / Carioca. As casas eram muito pequenas contando originalmente apenas com sala, corredor, quarto e cozinha, observar a Figura 3(a). Segundo antigos moradores, os banheiros eram situados na rua interna da vila e eram de uso coletivo bem como os tanques para lavagem de roupa.

Ainda é interessante acrescentar, para uma melhor compreensão da localização da vila, que na época de sua construção não havia ainda ocorrido o aterro do Flamengo, de modo que havia uma maior proximidade do mar. Isto pode ser observado no mapa da Figuras 5, que apresenta a praia do Flamengo antes da construção do aterro, com a linha branca tracejada indicando a atual posição do mar. A Figura 6 apresenta detalhe do mapa da região da Praia do Flamengo no ano de 1904, imagem extraída de Gastão Cruls (CRULS, 1952). e permite uma melhor observação da distância entre a Rua Dr. Corrêa Dutra e o mar naquela época, bem como a localização da Vila 37, antigo número 23.



**Figura 5** - Praia do Flamengo – detalhe do mapa anterior ao aterro, 1904 - Imagem adaptada do livro de Gastão Cruls. A linha branca no mapa indica a porção de terra acrescida através do aterro.



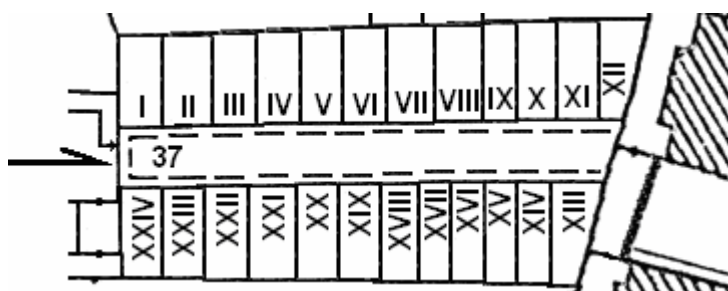
**Figura 6** - Praia do Flamengo – detalhe do mapa anterior ao aterro, 1904 - Imagem adaptada do livro de Gastão Cruls. É possível observar o número 23, número da Vila 37 nesta época.



Com o decorrer dos anos, muitas construções destes antigos subúrbios da cidade foram demolidas dando lugar a prédios. A sede da Presidência da República fixou-se no Palácio do Catete (antiga residência do Barão de Nova Friburgo, o português Antônio Clemente Pinto). O bairro foi tomado por novas construções e, assim, o antigo sobrado situado à frente da vila, cedeu lugar, em 1955, a um prédio de oito andares. Por volta desta data, existem registros de pedidos junto à Secretaria de Obras da Cidade do Rio de Janeiro (atualmente arquivados junto à Secretaria Municipal de Urbanismo - Superintendência de parcelamento e edificações), por parte de vários proprietários de casas da Vila 37, de licença para construção de um segundo pavimento.

As transformações ocorridas no sítio desta e de outras vilas da cidade começaram a alterar o perfil e a qualidade da ventilação nestas moradias, agora, soterradas pelos volumes urbanos. Não só a malha urbana, num processo contínuo, sofreu novas transformações, mas também as próprias casas. No caso da Vila 37, as casas cresceram verticalmente, já que no projeto original não havia espaço no entorno das moradias. Atualmente algumas casas já possuem 4 pavimentos.

As 24 casas podem ser observadas na planta de localização (Figura 7), encontrada nos processos de reforma das referidas casas. É interessante observar que no ano de 1995, apenas 3 casas (XXII, XVII e II) permaneciam com um único pavimento e 18 das 24 casas já possuíam mais de 2 pavimentos. As fotos da Figura 8 apresentam as casas do lado esquerdo e do lado direito vistos da rua central da Vila 37 (DRACH, 2007).



**Figura 7** - Planta de situação (Secretaria Municipal de Urbanismo - 1955).



**Figura 8** – Imagens do interior da vila: lado esquerdo (a) e lado direito (b).

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é observar que a alteração de uso do solo tem a capacidade de interferir na dinâmica de ventilação. Os resultados computacionais sugerem a capacidade do entorno de interferir no perfil de ventilação na rua central da vila estudada bem como no interior das edificações. Estes resultados atendem às expectativas geradas a partir da observação *in loco*.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Formulação Matemática

A circulação de ar pode ser modelada através da determinação da solução da equação de conservação da massa e das equações de conservação do momento linear em velocidade e pressão. No caso do ar as equações do momento se transformam nas equações de Navier-Stokes. Assim, a formulação matemática do problema pode ser escrita como: determinar  $\mathbf{u}$  e  $p$  que satisfaçam ao seguinte sistema de equações

$$\text{div}(\mathbf{u}) = 0, \text{ em } \Omega \times [0, T], \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\nabla \mathbf{u}) \mathbf{u} - 2\mu \text{div} \varepsilon(\mathbf{u}) + \nabla p = 0, \text{ em } \Omega \times [0, T], \quad (2)$$

com suas condições iniciais e de contorno,

$$\nabla(\mathbf{u}) \cdot \vec{\mathbf{n}} = 0 \text{ em } \Gamma_v \times [0, T], \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \bar{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, t) \text{ em } \Gamma_u \times [0, T] \text{ e } \mathbf{u}(\mathbf{x}, 0) = \mathbf{u}_0$$

onde:

$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$  é o vetor velocidade,  $p = p(\mathbf{x}, t)$  é a pressão,  $\mu$  é a viscosidade,  $\rho$  é a massa específica,

$\vec{\mathbf{n}}$  é o vetor normal,  $\varepsilon(\mathbf{u}) = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)$ ,  $\Omega$  é o domínio com contorno  $\Gamma = \Gamma_v \cup \Gamma_u$  e o

tempo  $t \in [0, T]$ .

### 3.2 Método de Solução

No caso específico da equação de Navier-Stokes incompressível, depara-se com a dificuldade de construir espaços de aproximação com divergente nulo quando métodos tradicionais são usados, como o método de Galerkin que pode gerar oscilações espúrias na solução. Para garantir a estabilidade da solução preservando sua consistência aqui foi implementado e aplicado, nos casos de circulação interior, o método Petrov-Galerkin, que garante estabilidade quanto a restrições internas do campo de velocidade, (KARAM FILHO, 1992), bem como permite lidar com efeitos advectivos a partir de moderados. Para a discretização no tempo o método adotado foi o de diferenças finitas, backward Euler.

Seja  $R_l^h$  o polinômio usual de elementos finitos de ordem  $l$  e classe  $C^0$  e definidos os espaços de dimensão finita a seguir

$$V_h = \left\{ \mathbf{u}_h \in (H_0^1(\Omega) \cap R_l^h(\Omega))^2, \mathbf{u}_h(\mathbf{x}, t) = \bar{\mathbf{u}}_h(\mathbf{x}, t) \text{ em } \Gamma_u \right\} \subset (H^1(\Omega))^2$$

$$V_h^0 = \left\{ \mathbf{v}_h \in (H_0^1(\Omega) \cap R_l^h(\Omega))^2, \mathbf{v}_h(\mathbf{x}, t) = 0 \text{ em } \Gamma_u \right\} \subset (H^1(\Omega))^2$$

$$P^h = \left\{ p_h \in (L^2(\Omega) \cap R_l^h(\Omega)); \int_{\Omega} p_h \partial \Omega = 0 \right\} \subset (L^2(\Omega))$$

com as normas usuais

$$\|\mathbf{u}\|_1^2 = \|\mathbf{u}\|_0^2 + \|\nabla \mathbf{u}\|_0^2 \text{ de } H^1 \text{ e } \|p\| = \|p\|_0 \text{ de } L^2.$$

Os campos de vento podem ser determinados pela formulação a seguir:

Encontrar  $\{\mathbf{u}^h, p^h\} \in V^h \times P^h$  satisfazendo o sistema a seguir

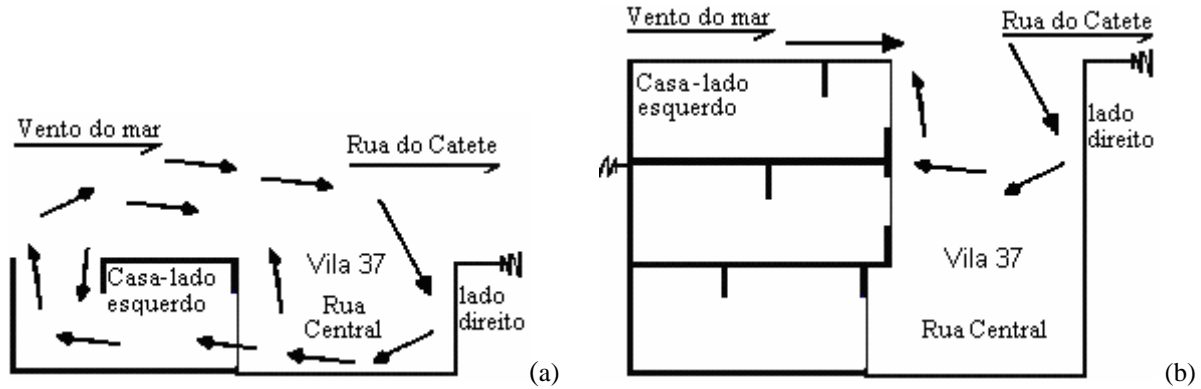
$B(\mathbf{u}_h, p_h; \mathbf{v}_h, q_h) = 0, \forall (\mathbf{v}_h, q_h) \in V_h \times P_h$  onde:

$$B(\mathbf{u}_h, p_h; \mathbf{v}_h, q_h) = \left( \frac{\partial \mathbf{u}_h}{\partial t}, \mathbf{v}_h \right) + ((\nabla \mathbf{u}_h) \mathbf{a}_h, \mathbf{v}_h) + 2\nu (\varepsilon(\mathbf{u}_h), \varepsilon(\mathbf{v}_h)) - (p_h, \text{div}(\mathbf{v}_h)) + \\ (q_h, \text{div}(\mathbf{u}_h)) + (\text{div}(\mathbf{u}_h), \delta_2 \text{div}(\mathbf{v}_h)) + \delta_1 \sum_{e=1}^{Nel} \left( \frac{\partial \mathbf{u}_h}{\partial t} + (\nabla \mathbf{u}_h) \mathbf{a}_h - 2\nu \text{div} \varepsilon(\mathbf{u}_h) + \nabla p_h, \right. \\ \left. ((\nabla \mathbf{v}_h) \mathbf{a}_h - 2\nu \text{div} \varepsilon(\mathbf{v}_h) + \nabla q_h) \right) + \gamma(p_h, q_h), \quad \forall \mathbf{v}_h \in V_h^0 \text{ e } q_h \in P_h.$$

Com  $\gamma \ll 1$  e  $\delta_1$  e  $\delta_2$  parâmetros de estabilização sugeridos por (Franca and Frey, 1992).

#### 4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

As casas localizadas do lado esquerdo da vila recebem o vento do mar em sua fachada cega e aquelas localizadas do lado direito recebem este mesmo vento diretamente nas aberturas, como portas e janelas. As Figuras 9(a) e 9(b) trazem os croquis da “suposta” circulação de ar na rua central da vila - primeiramente para o projeto original e depois para a situação atual.

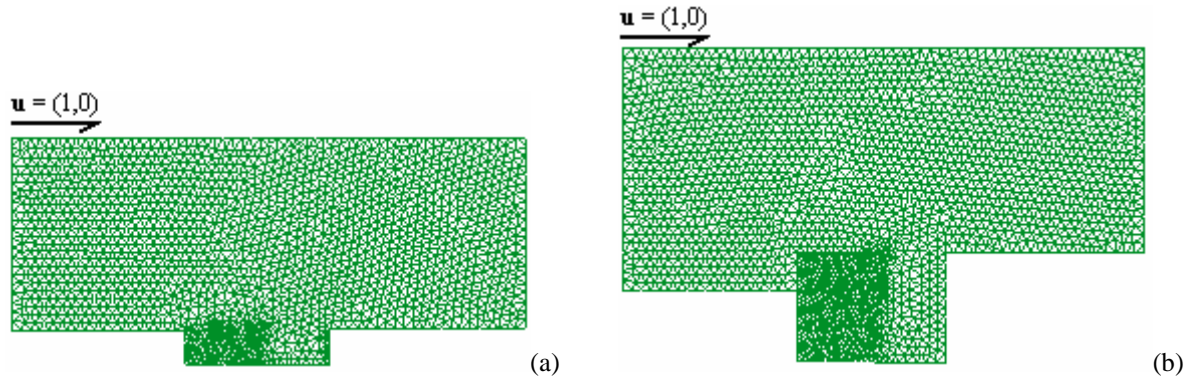


**Figura 9** - Croquis da “suposta” circulação de ar na rua central da vila - projeto original (a) e situação atual (b).

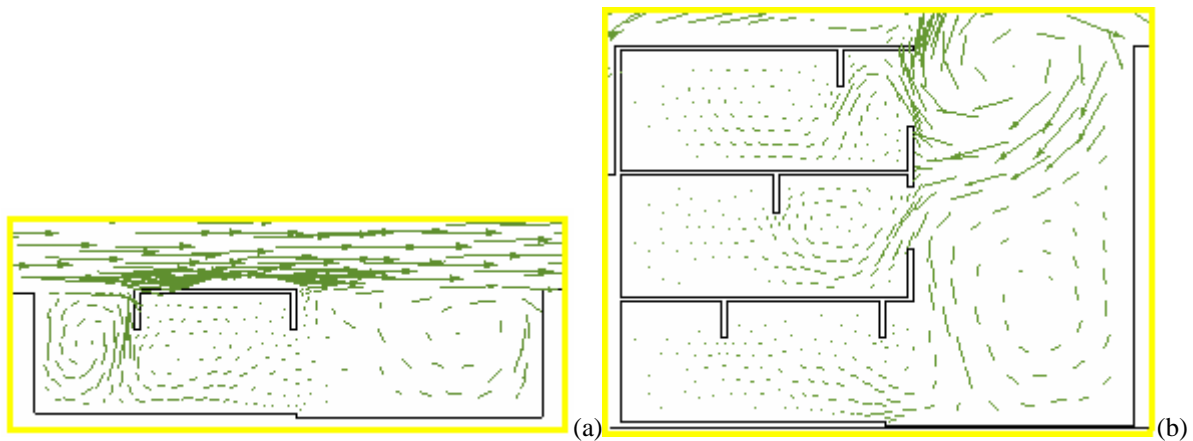
Para as simulações computacionais foram geradas malhas (Figura 10) num domínio de área maior do que aquela ocupada pela região de interesse, de maneira a permitir que as condições de contorno pudessem ser impostas na fronteira do domínio, deixando livres as regiões onde a velocidade desconhecida foi determinada pela solução do problema. O possível desacoplamento entre o vento fora e dentro do cânion traria vantagens, em termos computacionais. No sistema acoplado, a área externa necessária para efetuar a simulação da dinâmica de ventilação é bem grande, assim, o desacoplamento contribuiria para a redução da malha gerada e, por conseguinte do tempo computacional. Dentre as dificuldades, apareceria a necessidade dos ajustes das condições de contorno, uma vez que estas precisariam ser calculadas na entrada do cânion. No caso de haver facilidade para obtenção e ajustes destes dados a possibilidade do desacoplamento parece bem interessante. Neste foi considerada uma abordagem computacional 2D que pode ser estendida para uma aproximação 3D, já que a formulação matemática não apresenta restrições em relação à qualquer dimensão.

As setas nas figuras indicam a direção da circulação de ar no exterior do conjunto, sendo esta direção assumida como a do vento dominante. O valor adotado para este vento foi de 1m/s, que segundo a Escala Beaufort, usada na previsão de tempo, corresponde a uma brisa ou bafagem. Ventos de sudeste parecem razoáveis para uma situação geral como foi o caso neste estudo. Num estudo mais específico, outros fatores também teriam que levados em conta, dentre eles: a estação do ano (o sistema de ventos no estado do Rio é influenciado por um sistema de alta pressão no oceano Atlântico, cuja posição varia com época do ano); a hora do dia, pois as regiões costeiras são influenciadas por regime de brisas. O vento sopra do mar para a terra durante o dia e da terra para o mar à noite; e as condições do tempo na data do experimento, uma vez que, caso ocorra entrada de uma frente fria, por exemplo, tudo pode mudar.

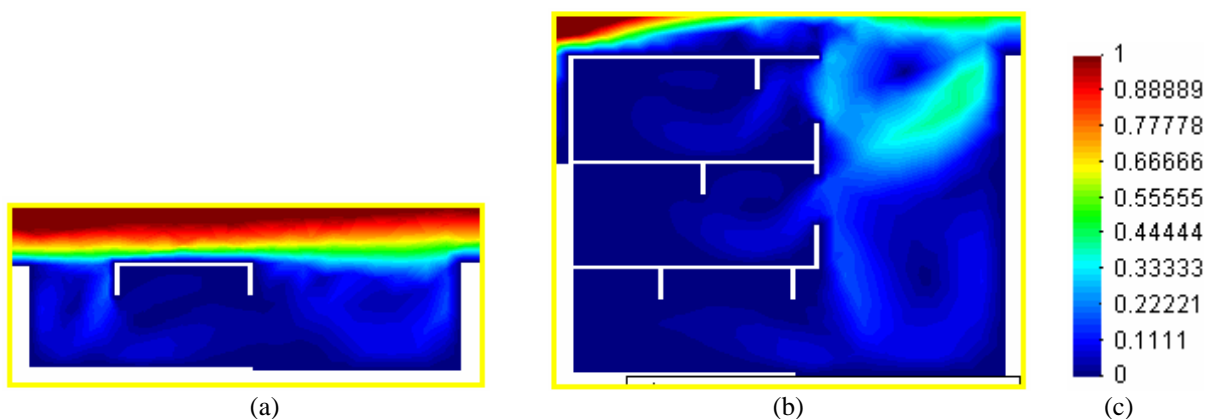
Para tornar possível a comparação entre os resultados a mesma escala de cores foi adotada, em outras palavras, a mesma faixa de vento. Os resultados são apresentados na forma de campo de velocidades,  $\mathbf{u}$  (Figura 11), em m/s, e isolinhas de  $|\mathbf{u}|$ , Figuras 12 a 14. A cor mais escura será adotada para velocidades superiores a 1.0 m/s na escala de cores, Figura 12. Para uma visão mais detalhada da circulação de ar dentro dos ambientes os resultados também foram apresentados para duas outras escalas com os maiores valores inferiores ao previamente apresentado, ou seja, a cor mais escura será adotada para velocidades superiores a 0.8 m/s, Figura 13, e 0.5 m/s, Figura 14.



**Figura 10** – Malha global - projeto original (a) e situação atual (b).



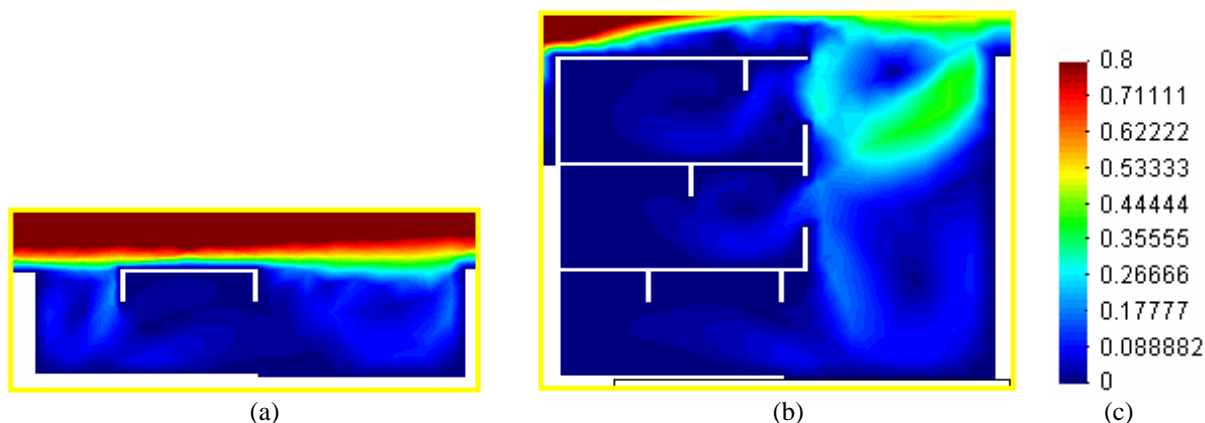
**Figura 11** – Campo de velocidades - projeto original (a) e situação atual (b).



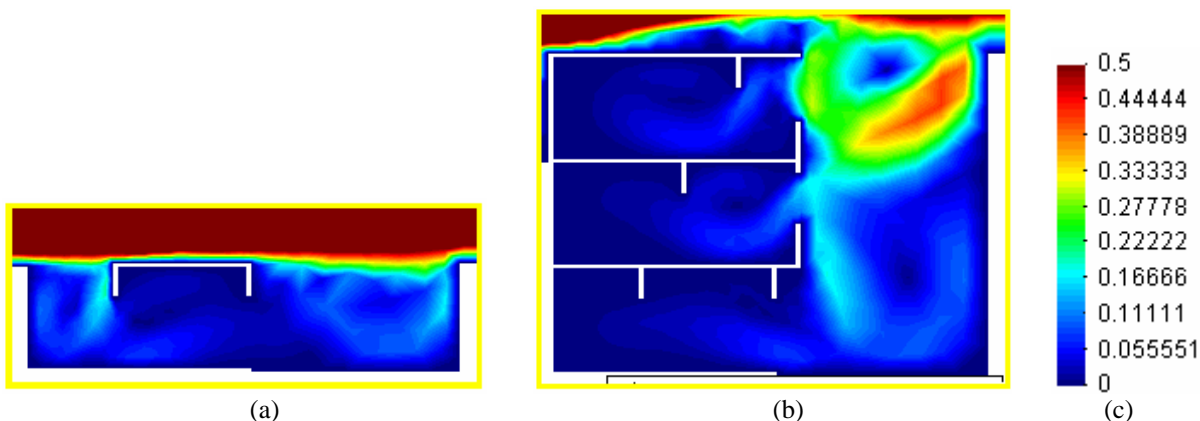
**Figura 12** – Isolinhas de  $|\mathbf{u}|$  - projeto original (a), situação atual (b) e escala de cores (c).

Conforme esperado, a partir dos resultados computacionais é possível observar que a atual configuração reduziu a ventilação no interior das edificações. A existência de entradas e saídas de ar em apenas um lado da edificação não propiciou uma boa ventilação. O perfil do campo de vento na rua central da vila sofreu alterações apesar de aparentemente não terem sido observadas grandes perdas na ventilação.





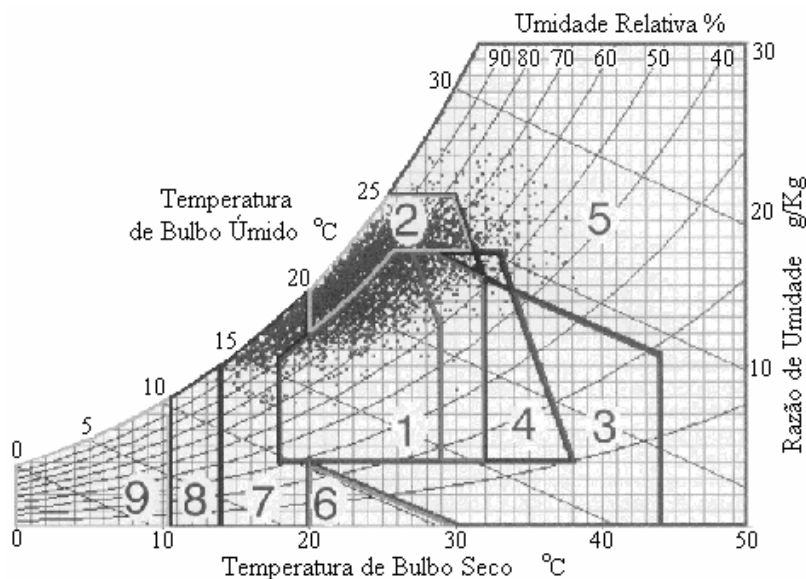
**Figura 13** – Isolinhas de  $|u|$  - projeto original (a), situação atual (b) e escala de cores (c).



**Figura 14** – Isolinhas de  $|u|$  - projeto original (a), situação atual (b) e escala de cores (c).

## 5 DISCUSSÃO

Estudos indicam a necessidade de ventilar (EVANS, 2005), tanto para o caso de conforto, como de saúde e higiene. No caso da cidade de Rio de Janeiro estas recomendações de ventilação ainda ficam mais pertinentes, uma vez a cidade é localizada em região de clima quente. A carta bioclimática para a cidade de Rio de Janeiro apresentada em LAMBERTS *et al* (1977) (Figura 15), mostra uma grande concentração de pontos na região onde a estratégia de ventilação é recomendada (número 2).



**Figura 15.** Carta bioclimática para a cidade de Rio de Janeiro - LAMBERTS *et al* (1977).

Na Figura 15 as estratégias mais recomendadas para a região são: (1) Zona de conforto, (2) Ventilação, (3) Resfriamento evaporativo, (4) Massa térmica para resfriamento e (5) Ar condicionado. A partir dos resultados observados na carta bioclimática, LAMBERTS *et al.* teceram alguns comentários: apesar da concentração de pontos na zona de conforto, (20%), a estratégia de ventilação (57%) é a mais indicada. Também foi observada a existência de pontos localizados na região onde o uso de ar condicionado (3%) é recomendado. Eles também apontaram a possibilidade de resolver o problema de desconforto térmico em 61% das horas-ano a partir da adoção de ventilação passiva. Este valor é suficientemente alto para justificar a procura de soluções que adotem sistemas de ventilação natural. Estas estratégias passivas ainda trazem a vantagem de serem renováveis e não poluentes.

## 6 CONCLUSÕES

No caso da Vila 37, não há como questionar a necessidade de alteração do projeto original. As casas eram efetivamente muito pequenas e não dispunham de terreno algum que deixasse outra opção aos moradores além da verticalização. Com a elevação do gabarito das casas da vila e de seu entorno, ocorreram alterações no sistema de circulação de ar do conjunto.

A partir do observado parece interessante atuar na direção de obter ganhos de ventilação nestas residências como forma de resolver grande parte dos problemas relacionados ao conforto. Como caminho pode-se sugerir a introdução de ventilação cruzada. Devido à impossibilidade de adotar o uso de aberturas em pelo menos dois dos lados das casas, por causa do lote estreito sem qualquer espaço, a solução teria que vir de um modo incomum. Uma das possibilidades pode ser através do uso de outros mecanismos de abertura controlados pelos usuários do ambiente. Como por exemplo, a abertura de passagens de vento no telhado, como tubos de ventilação, que podem permitir a circulação de vento dentro das casas. Embora esta não seja uma opção tradicional aqui no Brasil, parece interessante pensar na possibilidade de sua adoção, uma vez que esta tem se mostrado eficiente em outras regiões semelhantes além de permitir o controle da ventilação.

## 7 REFERÊNCIAS

AGCRJ. Arquivo Geral da Cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Cultura, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2006. Plantas das casas do Senhos Manuel Marinho da Silva (1890).

BROOKS, A and HUGHES, T J R. Streamline Upwind/Petrov-Galerkin formulations for convection dominated flows with particular emphasis on the incompressible Navier-Stokes equations. **Computer Methods in Applied Mechanics Engineering**. v. 32. p. 199-259, 1982.

CRULS, A G. 1952. **Aparência do Rio de Janeiro**. José Oympio, Rio de Janeiro.

DRACH, P R C. 2007. **Computational Modelling and Numerical Simulation in Architecture Aiming at Comfort of Building Environments**. 2007. 286 f. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional) –Laboratório Nacional de Computação Científica–LNCC/MCT, Rio de Janeiro, 2007.

EVANS, J. M. 1980. **Housing, Climate and Comfort**. Architectural Press LTD, London, 1980.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. e PEREIRA, E F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Editora PW, São Paulo, 1997.

FRANCA, L P AND FREY, S L. 1992. Stabilized finite element methods: II. The incompressible Navier-Stokes equations. **Computer Methods in Applied Mechanics Engineering**. v. 99. p. 209-233, 1992.

VON DER WEID. **O bonde como elemento de expansão urbana no Rio de Janeiro**. Setor de História da Fundação Casa de Rui Barbosa, 2004.

## 8 AGRADECIMENTOS

Patricia R. C. Drach, gostaria de agradecer ao Laboratório Nacional de Computação Científica – LNCC/MCT e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). José Karam F. gostaria de agradecer ao projeto PRONEX/FAPERJ no. E -26/171.199/2003.