



## REALIZAÇÃO DE TESTES PARA A VENTILAÇÃO NATURAL EM TÚNEL DE VENTO PARA ANALISAR A EFICIÊNCIA DOS SHEDS EM HOSPITAIS DA REDE SARAH.

**Edson Matsumoto (1), Lucila Chebel Labaki (2) Renata Martinho de Camargo (3),  
Jéssica Cristine da Silva Fonseca Matos (4), Marieli Azoia Lukiantchuki (5),  
Rosana Maria Caram (6)**

(1) Dr, Pós-Doutorando do Departamento de Arquitetura e  
Construção, Unicamp, edmatsu@widesoft.com.br

(2) Dra, Professora do Departamento de Arquitetura e Construção  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, SP

(3) Eng.Civil,Mestranda do Departamento de Arquitetura e  
Construção, Unicamp, engtecno@uol.com.br.

(4) Aluna de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Unip, jessyarq@gmail.com.

(5) Arquiteta, Mestranda do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, EESC, USP,  
mlukiantchuki@yahoo.com.br.

(6) Dra, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo,  
EESC,USP,rcaram@sc.usp.br

### RESUMO

A ventilação natural em regiões tropicais é uma eficiente estratégia de projeto para a obtenção de conforto térmico e para a redução do consumo de energia. O aproveitamento dos recursos naturais e das condicionantes do clima melhora a integração do edifício com o entorno e a obtenção do conforto através de sistemas passivos de condicionamento. Os Hospitais da Rede Sarah Kubischek projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, são considerados verdadeiros exemplos de arquitetura bioclimática, devido as suas soluções passivas de conforto. Os sheds são elementos arquitetônicos adotados nos hospitais da rede, promovendo a iluminação e a ventilação natural. Buscando melhorar a sua eficiência em relação à ventilação natural, o arquiteto modifica essas soluções em cada novo projeto. Este artigo tem como objetivo analisar a eficiência da ventilação natural em dois hospitais da Rede Sarah: Belém e Brasília. A análise foi realizada através da construção de modelos físicos reduzidos, que foram testados no túnel de vento de camada limite da FEC/Unicamp. Os testes incluem medições de velocidade do vento em vários pontos dentro e fora dos edifícios, utilizando como equipamento o anemômetro de fio quente. A comparação entre os dois tipos de sheds é importante para elaborar recomendações de projetos visando um melhor uso da ventilação natural. Os resultados mostram que tanto o conjunto de aberturas e o sistema de sheds do hospital de Belém quanto o posicionamento desse hospital proporcionam uma melhor ventilação nos ambientes internos do que o hospital de Brasília Lago Norte.

Palavras-chave: túnel de vento, ventilação natural, shed

## 1 INTRODUÇÃO

A ventilação natural nas edificações é uma eficiente estratégia bioclimática para a obtenção de conforto térmico e para redução do consumo de energia, pois utiliza aberturas e/ou dispositivos passivos para produzir a movimentação do ar no interior dos ambientes. De acordo com Jones (2001) um dos principais benefícios da ventilação natural é a redução do consumo de energia, pois minimiza diretamente o uso de sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado. Além disso, essa estratégia passiva de condicionamento é importante por razões de salubridade dos ambientes e de seus ocupantes, pois permite uma renovação contínua do ar interno de um recinto. Bower (1995) destaca que a ventilação garante aos usuários um ar confortável e saudável, além de poder ser utilizada para diluir os poluentes, removendo-os através da diferença de pressão.

Os captadores de vento são dispositivos situados acima do nível da cobertura das edificações cuja função é incrementar a ventilação natural nos espaços internos. Dependendo da configuração dos mesmos e da posição de suas aberturas em relação à direção dos ventos incidentes, podem funcionar tanto como coletores, quanto como extratores do fluxo de ar (CHANDRA, 1989).

Nas obras de João Filgueiras Lima, Lelé, observam-se soluções bioclimáticas que favorecem o conforto ambiental térmico e minimizam o consumo energético das edificações. Cada uma das soluções propostas pelo arquiteto procura o conforto dos usuários por meios passivos, tais como: ventilação e resfriamento evaporativo. O grande destaque de sua produção arquitetônica são os Hospitais da Rede Sarah Kubitschek, considerados verdadeiros exemplos de arquitetura bioclimática, devido às suas soluções passivas de conforto.

A rede Sarah é composta por dez hospitais, sendo o primeiro do ano de 1980 localizado em Brasília, e posteriormente foram implantados nas cidades de São Luis, Salvador, Belo Horizonte, Fortaleza, Rio de Janeiro (Centro infantil), Brasília (Lago-norte), Macapá, Belém e novamente Rio de Janeiro (hospital), inaugurado em 2009.

A maioria desses hospitais se localiza em regiões de clima quente e úmido. No entanto existem edifícios localizados em climas quentes e secos, como Brasília. Diante disso, os objetos de estudo desse artigo são os Hospitais Sarah Kubitschek, localizados nas cidades de Brasília e Belém, regiões que possuem climas diferentes, quente-seco e quente-úmido, respectivamente (figuras 1a e 1b).



(a)



(b)

**Figura 1 – (a) Sarah Brasília Lago Norte e (b) Sarah Belém (Arquivo fotográfico CTRS, 2010)**

Os efeitos da ventilação natural podem ser estudados de diversas maneiras desde a concepção do projeto. Uma delas é através de ensaios no túnel de vento, onde são reproduzidas condições semelhantes às que ocorrem no ambiente atmosférico, sendo possível estudar o comportamento do vento na escala urbana e do edifício.

## 2 HOSPITAIS DA REDE SARAH KUBITSCHEK

### 2.1 Hospitais da Rede Sarah: Brasília Lago Norte

O conjunto arquitetônico se estrutura em apenas um pavimento, sendo constituído por diversos espaços interligados e protegidos por uma sucessão de coberturas onduladas. O conjunto está localizado em um grande terreno em declive, às margens do lago Paranoá, sendo as áreas internas totalmente integradas a jardins adjacentes (LATORRACA, 1999). Os sheds desse complexo são limitados por ambientes e as janelas são protegidas da incidência da radiação solar direta através da localização de brises fixos.

Segundo Lamberts (1997), Brasília tem apenas dois períodos climáticos no ano: o seco e o chuvoso. Invariavelmente, o mês mais seco é agosto. O mês mais frio é junho. No restante do ano o clima é ameno e agradável, com temperatura média de 22 graus. Os ventos predominantes provêm do leste, incidindo no hospital com ângulo de 53° (figuras 2 e 3).

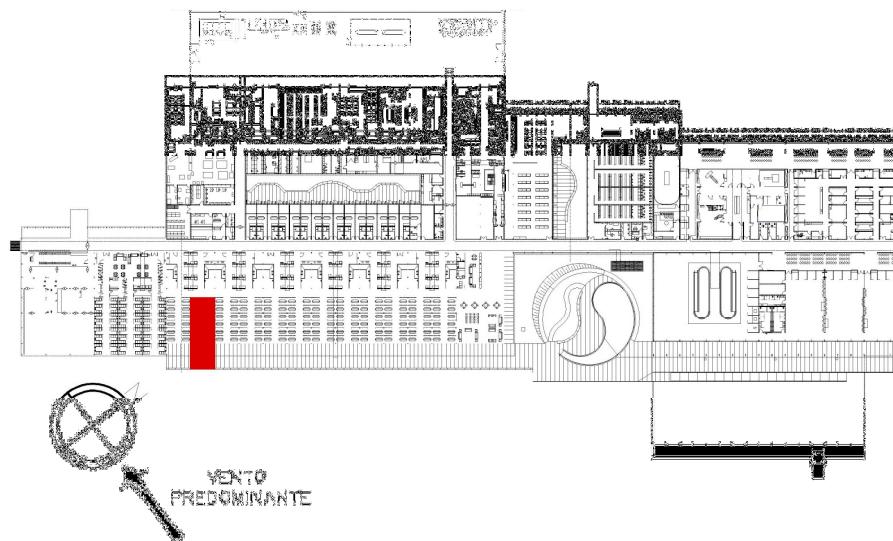


Figura 2 –Implantação – Hospital Sarah Brasília Lago Norte (Arquivo CTRS, 2010)



Figura 3 – Foto Aérea do Sarah Lago Norte ([www.maps.google.com.br](http://www.maps.google.com.br))

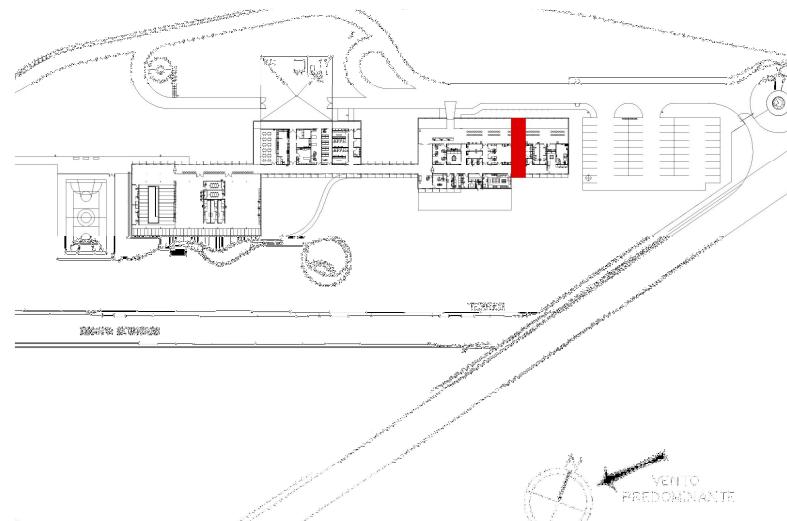
### 2.2 Hospitais da Rede Sarah: Belém

O Hospital Sarah Belém possui uma arquitetura com soluções práticas e econômicas que valorizam a luminosidade natural e os aspectos climáticos. A unidade de diagnóstico e

tratamento possui 3.268 m<sup>2</sup> de área construída e se localiza próximo a uma área de proteção ambiental (REDE SARAH, 2010). Nesse complexo os sheds também se encontram limitados ao edifício, e novamente a existência de brises fixos protege as aberturas e evita a incidência direta da radiação solar nos ambientes internos.

Por sua proximidade ao Equador, Belém tem um clima characteristicamente quente e úmido. Os valores elevados de pluviosidade e a de umidade associam-se às altas temperaturas durante todo o ano, existindo pouca variação entre as temperaturas diurna e noturna. Nota-se que o clima é demasiado quente e úmido (CASTRO, 1997). Diante disso, é indispensável o movimento de ar para amenizar as condições climáticas durante o ano.

Os níveis muito altos de radiação solar que atingem as edificações, combinado com as temperaturas externas que superam 30°C, possibilitam situações extremas de desconforto térmico. Isso pode ser ainda reforçado pelos altos índices de umidade relativa, que alcançam valores médios de 86% durante o ano. Os ventos dominantes provêm do leste e nordeste incidindo no hospital a um ângulo de 68 ° (figuras 4 e 5).



**Figura 4 – Implantação do Hospital Sarah de Belém (Arquivo CTRS)**



**Figura 5 – Foto Aérea do Sarah Belém (www.maps.google.com.br)**

### 3 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a eficiência da ventilação natural dos Hospitais Sarah localizados nas cidades de Brasília e Belém, através de ensaios no túnel de vento e analisar como a implantação influencia na ventilação natural.

## 4 METODOLOGIA

### 4.3 Construções de maquetes e ensaios no túnel de vento

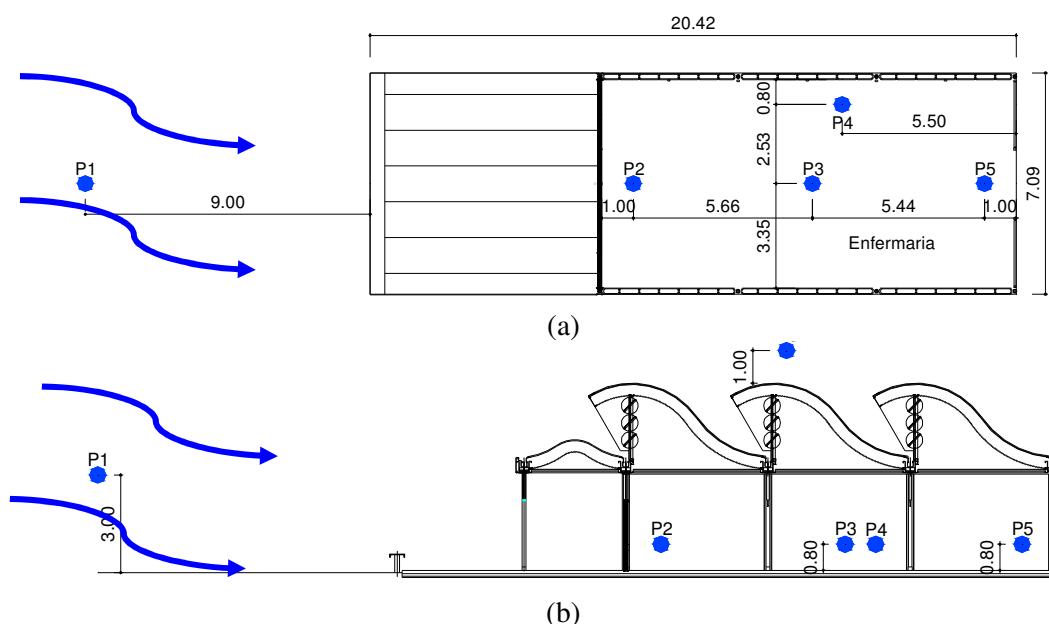
Foi analisada a eficiência da ventilação natural através da construção de maquetes e ensaios no túnel de vento de camada limite (COOK, 1973; BLESSMANN, 1982; COUNIHAN, 1969). As dimensões da seção de ensaio do túnel de vento do Laboratório de conforto ambiental e física aplicada da Unicamp são de 0,90m de largura por 0,80m de altura, totalizando uma área transversal de 0,72 m<sup>2</sup>. A maquete deve obstruir até 7% desta área, ou seja, a área frontal da maquete, perpendicular ao vento, deve ter no máximo 0,05m<sup>2</sup>. Na direção horizontal ao longo do túnel, não há restrições com relação às dimensões. Foram construídas maquetes referentes ao ambulatório e a enfermaria destes hospitais, por serem locais de grande permanência dos pacientes. As escalas utilizadas para a construção dos modelos físicos foram estabelecidas de acordo com as dimensões da seção de ensaio do túnel. Na tabela a seguir apresentam-se os dados referentes a cada modelo físico reduzido.

**Tabela 1 – Dados de cada modelo físico reduzido**

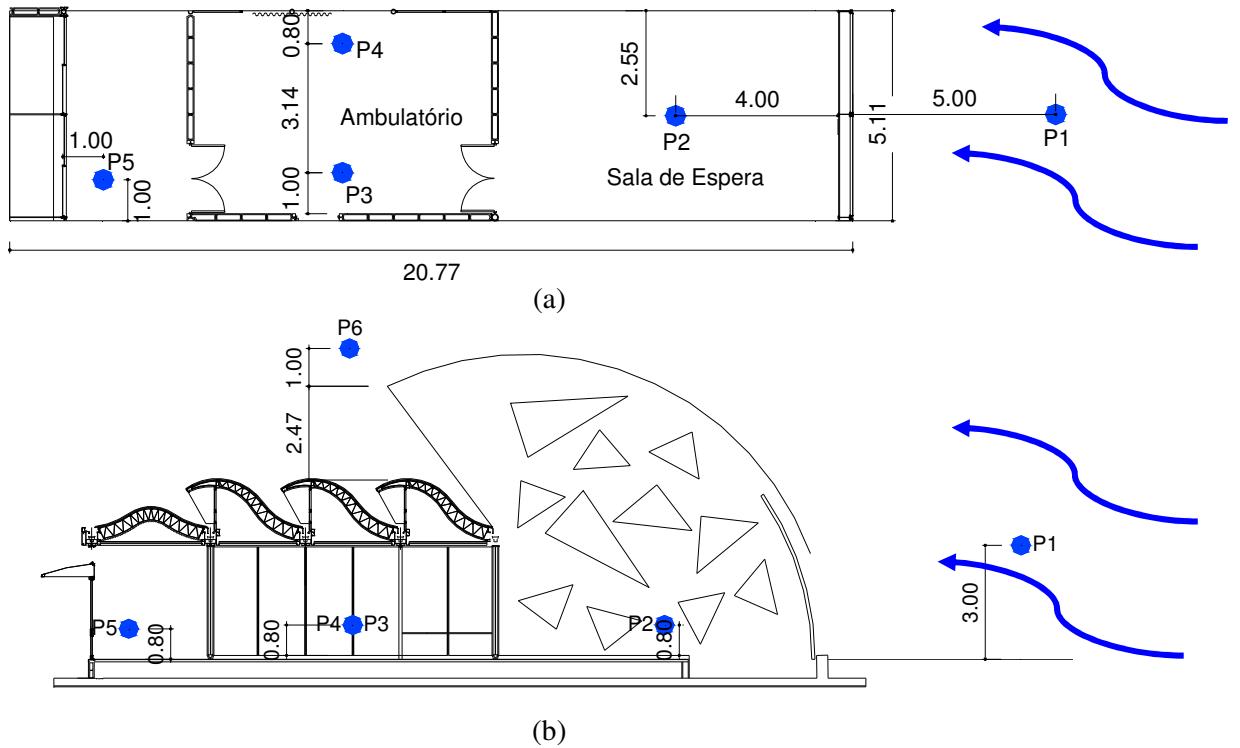
|                     | Hospital de Brasília | Hospital de Belém    |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Escala</b>       | 1:30                 | 1:30                 |
| <b>Área frontal</b> | 0,047m <sup>2</sup>  | 0,045 m <sup>2</sup> |

Para medir a velocidade interna das maquetes no túnel de vento, foram instalados no interior das maquetes quatro sensores miniaturas do anemômetro de fio quente - Multichannel Dantec - (OWER, PANKHURST, 1977), através de furos na parte inferior dos modelos. Os sensores internos foram localizados a uma altura, equivalente na escala real, de 80 cm a partir do piso, altura referente ao paciente deitado na cama-maca, conforme mostram as figuras 6 e 7.

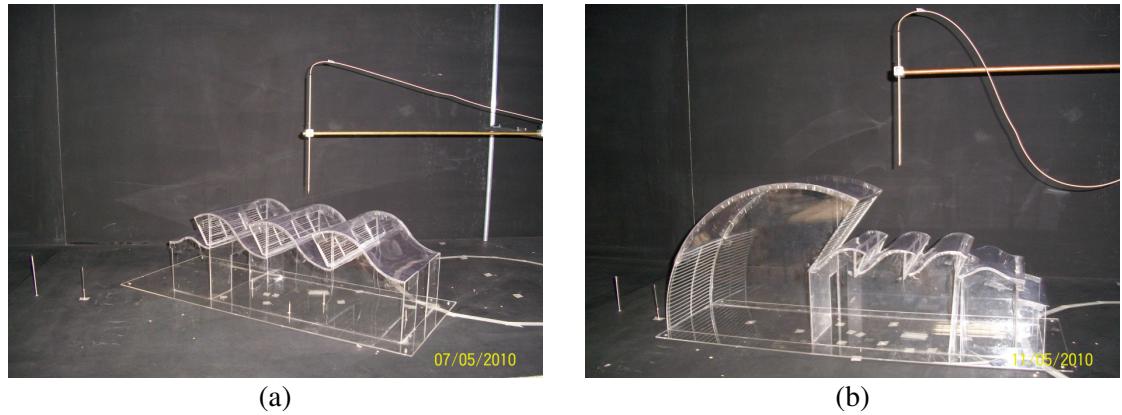
Na parte externa da maquete, dois sensores foram instalados. Para medir a velocidade do vento externo antes de atingir o modelo físico, um sensor foi localizado na parte frontal da maquete. Assim tem-se o valor do escoamento não perturbado. Por último, para ter conhecimento do valor da velocidade do vento próximo aos sheds, um sensor foi instalado na parte superior externa da maquete, conforme ilustram as figuras 8a e 8b. As maquetes foram posicionadas dentro do túnel de vento levando em consideração a incidência dos ventos dominantes.



**Figura 6 – Localização dos pontos de medidas no Hospital Sarah Brasília Lago Norte (Acervo CTRS, 2010, adaptado pelos autores)**



**Figura 7** – Localização dos pontos de medidas no Hospital Belém (Acervo CTRS, 2010, adaptado pelos autores)



**Figura 8** – Hospitais instrumentados (a) Sarah Lago Norte (b) Sarah Belém (Acervo dos autores, 2010)

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

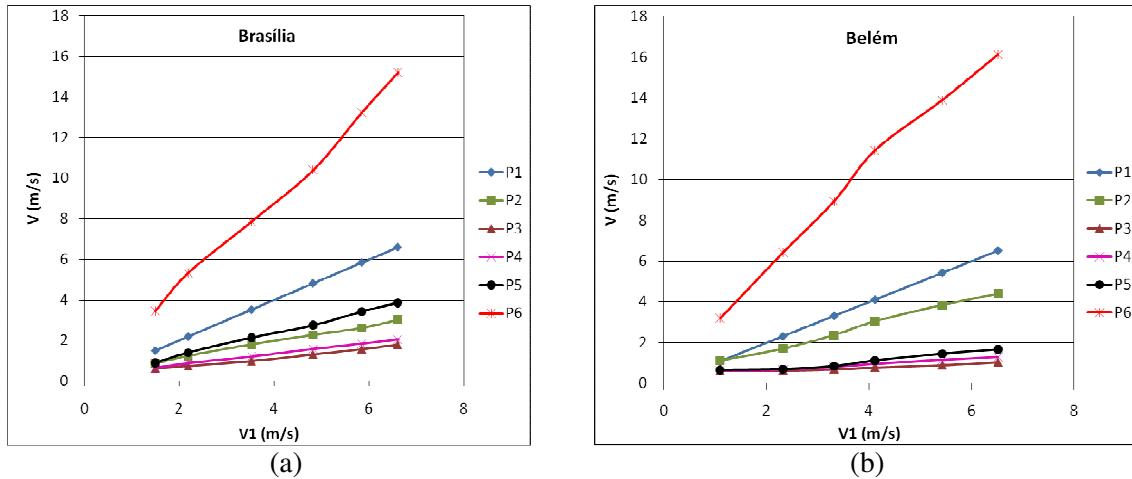
Nos ensaios das maquetes dos módulos dos hospitais de Brasília Lago Norte e de Belém, as velocidades foram medidas em seis pontos indicados nas figuras 6 e 7. Um ponto externo estava localizado a uma distância de 9m e 5m, respectivamente da fachada do hospital, a uma altura de 3m do solo (P1) e o outro ponto, a 1m acima do shed (P6). Os pontos internos (P2, P3, P4, P5), foram localizados na direção longitudinal em relação ao vento e a uma altura de 0,80m. No hospital de Brasília Lago Norte, o shed funciona como captador de ar e no de Belém, como extrator de ar.

As figuras 9a e 9b mostram as velocidades do ar no interior e no exterior dos hospitais de Brasília Lago Norte e Belém, respectivamente, em função da variação da velocidade na fachada (V1).

Observa-se a mesma tendência linear na variação das velocidades nos seis pontos medidos, tanto no hospital de Brasília Lago Norte quanto no de Belém. A velocidade na fachada foi

medida no ponto P1. No ponto P6 (acima do shed) observa-se que a velocidade é superior à velocidade no ponto P1. Isto mostra que o ar é acelerado devido ao desvio do escoamento para cima devido à presença dos sheds (P6).

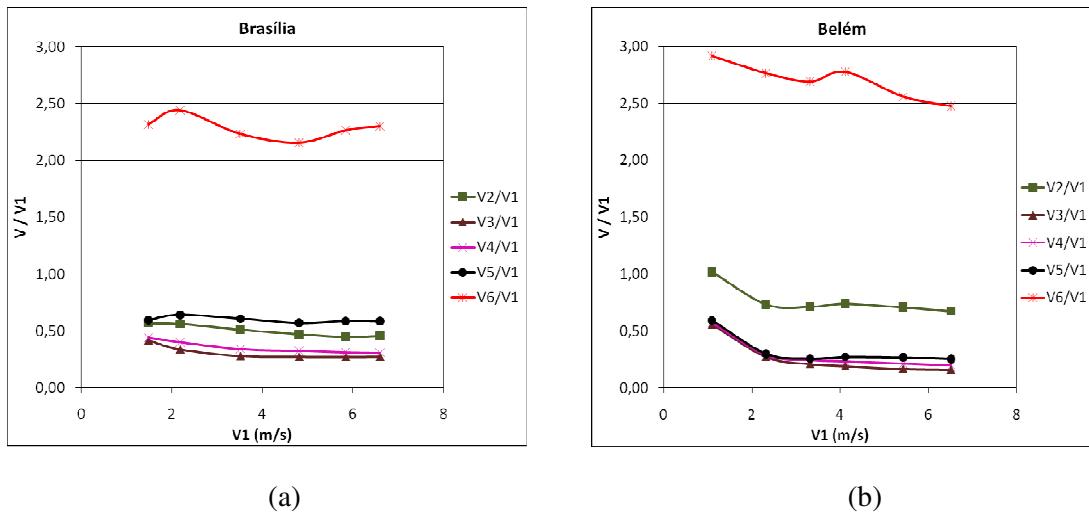
Nos pontos internos P2, P3, P4 e P5 as velocidades são inferiores às do ponto P1. Estes pontos estão localizados onde a área transversal ao escoamento sofre uma expansão, o que provoca esta redução na velocidade. As velocidades nos pontos P2 e P5 são superiores aos dos pontos P3 e P4 porque o ponto P2 está próximo à abertura de entrada e ocorre uma expansão na forma de jato de ar e o ponto P5 está próximo à abertura de saída, onde o ar é estrangulado e sai na forma de jato. Para o hospital de Brasília, o efeito de jato no ponto P5 é mais intenso do que no ponto P2, enquanto que para o hospital de Belém o efeito de jato ocorre com maior intensidade no ponto P2.



**Figura 9** – Velocidades no interior e no exterior dos hospitais em função da variação da velocidade na fachada ( $V_1$ ), para (a) Brasília Lago Norte; (b) Belém.

Os gráficos da figura 10 mostram a razão entre as velocidades nos pontos P2, P3, P4, P5 e P6 ( $V_2, V_3, V_4, V_5$  e  $V_6$ , respectivamente) e a velocidade no ponto P1 ( $V_1$ ), em função de  $V_1$ . De maneira geral, os valores da razão apresentam uma pequena queda com o aumento da velocidade frontal  $V_1$ , devido à interferência da edificação no escoamento, que aumenta a turbulência e provoca perda de energia, fazendo com que o aumento da velocidade na fachada não seja totalmente transformado em ganho de velocidade no interior e no exterior da edificação.

Ao comparar os dois hospitais, verifica-se que as razões para as velocidades  $V_2$  e  $V_6$ , nos pontos P2 e P6, respectivamente, apresentam valores maiores para o hospital de Belém.



**Figura 10** - Razão entre as velocidades medidas nos pontos internos e externos e a velocidade na fachada

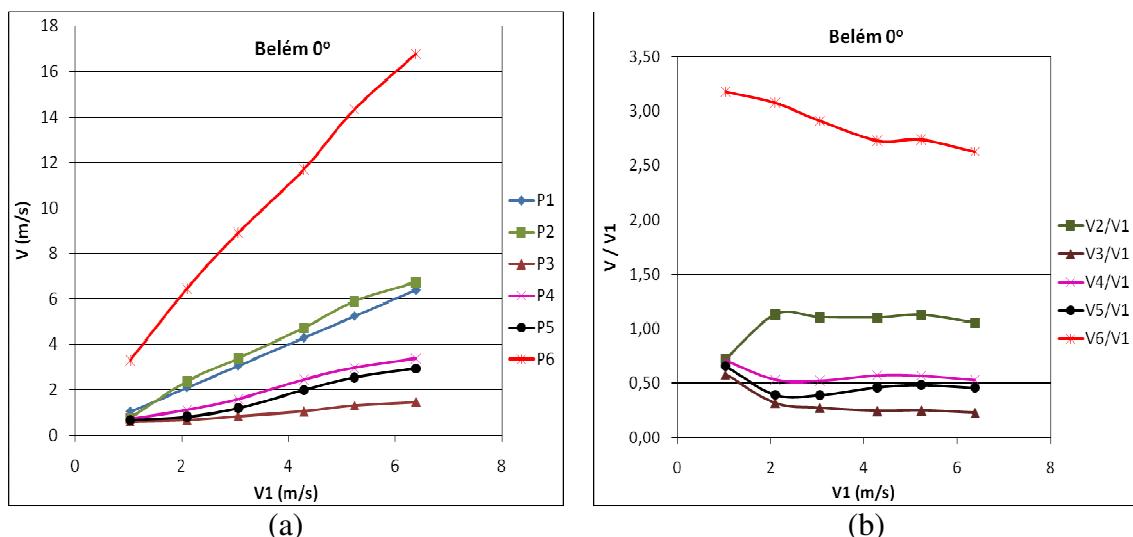
do hospital (V1), em função de V1, para (a) Brasília Lago Norte; (b) Belém. Os valores da Tab.2 mostram que, de maneira geral, o hospital de Belém apresenta velocidades internas superiores às do hospital de Brasília Lago Norte.

**Tabela 2** - Diferença (%) entre as razões médias internas para os hospitais de Brasília e Belém.

|                      | RAZÃO MÉDIA EM CADA PONTO INTERNO |       |       |       | RAZÃO MÉDIA PARA O HOSPITAL |
|----------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|
|                      | V2/V1                             | V3/V1 | V4/V1 | V5/V1 | V/V1                        |
| <b>Brasília</b>      | 0,51                              | 0,35  | 0,38  | 0,59  |                             |
| <b>Belém</b>         | 0,85                              | 0,36  | 0,39  | 0,42  |                             |
| <b>Diferença (%)</b> | 65,0                              | 3,9   | 2,7   | -28,3 | 10,4                        |

Para verificar a influência da orientação do hospital de Belém, foi realizado, também, um ensaio no túnel de vento posicionando o hospital na direção do vento dominante, incidindo perpendicularmente à fachada. O gráfico da Fig.11a mostra a variação da velocidade do vento nos seis pontos internos e externos, em função da velocidade na fachada e a Fig.11b, a razão entre as velocidades medidas nos pontos internos e externos e a velocidade na fachada do hospital.

Comparando os resultados das figuras 9b e 10b com os resultados das figuras 11a e 11b verifica-se que as velocidades para o hospital se fosse posicionado na direção do vento dominante são superiores em aproximadamente 23% em relação aos valores para o hospital na posição na qual foi implantado (Tabela 3).



**Figura 11** – (a) Variação da velocidade do vento nos seis pontos internos e externos, em função da velocidade na fachada do hospital de Belém ( $V_1$ ); (b) Razão entre as velocidades medidas nos pontos internos e externos e a velocidade na fachada do hospital de Belém ( $V_1$ ) em função de  $V_1$ .

As diferenças entre as razões médias para as duas posições dos hospitais de Belém mostram que as velocidades internas são significativamente superiores para o hospital posicionado na direção do vento dominante (tabela 3).

**Tabela 3** - Diferença (%) entre as razões médias internas para o hospital de Belém, na direção na qual foi implantada ( $68^\circ$ ) e na direção do vento dominante ( $0^\circ$ ).

|                                    | RAZÃO MÉDIA EM CADA PONTO INTERNO |       |       |       | RAZÃO MÉDIA PARA O HOSPITAL |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|
|                                    | V2/V1                             | V3/V1 | V4/V1 | V5/V1 | V/V1                        |
| <b>Belém <math>68^\circ</math></b> | 0,85                              | 0,36  | 0,39  | 0,42  |                             |
| <b>Belém <math>0^\circ</math></b>  | 0,89                              | 0,40  | 0,62  | 0,56  |                             |
| <b>Diferença (%)</b>               | 5,2                               | 12,9  | 60,4  | 32,0  | 22,8                        |

## **6 CONCLUSÃO**

Na comparação dos resultados obtidos para os hospitais de Brasília Lago Norte e de Belém nas posições implantadas, observam-se velocidades um pouco superiores, produzindo uma diferença na razão média das velocidades de 10,4 % maior, para o hospital de Belém. Isto mostra que o conjunto de aberturas e o sistema de sheds do hospital de Belém, que funciona como extrator de ar, ventila melhor o interior do que o sistema de aberturas e sheds do hospital de Brasília Lago Norte, que funciona como captador de ar.

Observa-se, também, que o posicionamento do hospital de Belém na direção do vento dominante proporcionaria uma melhoria média, em torno de, 22,8 % na ventilação natural do seu interior.

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Acervo do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – **CTRS** (2008). Salvador-Bahia.
- BLESSMANN, J. The boundary layer TV-2 wind tunnel of the UFRGS. **J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.**, 10, p. 231, 1982.
- BOWER, J. Understanding ventilation: How to design, select and install residential ventilation systems. The Healty House Institute, 1995.
- CASTRO F.C. **Exemplos de arquitetura tropical erudita e suas adaptações na Amazônia**. UFPA Belém, 1997.
- CHANDRA.S.Ventilative Cooling. In: COOK,J.(Ed.) **Passive cooling**.Cambridge:MIT,1989.
- COOK, N. J. On simulating the lower third of the urban adiabatic boundary layer in a wind tunnel. **Atm. Environ.**, 7, p. 691, 1973.
- COUNIHAN, J. An improved method of simulating an atmospheric boundary layer in a wind tunnel. **Atm. Environ.**, 3, p. 197, 1969.
- JONES, J.; WEST, A. W. Natural ventilation and collaborative design. **ASHRAE Journal**. November, 2001.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.
- LATORRACA, G. **João Filgueiras Lima – Lelé**. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi; Lisboa: Ed. Blau, 1999.
- REDE SARAH (2010). Disponível em:< <http://www.sarah.br/>> Acesso em 15 de Maio de 2010.
- OWER, E.; PANKHURST, R. C. **The Measurement of Air Flow**. Pergamon Press, 5. ed., Oxford, 363 p., 1977.

## **8 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento da presente pesquisa e bolsas de mestrado (M. A. L.) e iniciação científica (J. C. S. F. M.).