

CONFERIDO
PROC. Nº 0117121109
RUB. 161
PRPG 161 101 12012

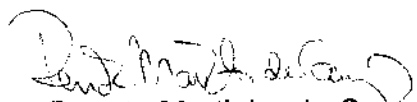
ERRATA

Eu, Renata Martinho de Camargo, ex-aluna do curso de Mestrado em Engenharia Civil, informo que deve-se considerar a seguinte errata :

Onde se lê: Estudo da eficiência da ventilação natural dos sheds em hospitais da Rede Sarah.

Leia-se: Estudo da eficiência para a ventilação natural dos sheds em hospitais da Rede Sarah.

Sem mais.


Renata Martinho de Camargo


Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki
Orientadora



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL DOS SHEDS EM HOSPITAIS DA REDE SARAH

RENATA MARTINHO DE CAMARGO



CAMPINAS-SP
2011

RENATA MARTINHO DE CAMARGO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL
DOS SHEDS EM HOSPITAIS DA REDE SARAH**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Arquitetura e Construção.

Orientadora: Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki

**Campinas, SP
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C14e	Camargo, Renata Martinho Estudo da eficiência para a ventilação natural dos sheds em hospitais da rede Sarah / Renata Martinho de Camargo. --Campinas, SP: [s.n.], 2011. Orientador: Lucila Chebel Labaki. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. I. Ventilação natural. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.
------	---

Título em Inglês: Study of the efficiency of natural ventilation of sheds Sarah network
in hospitals

Palavras-chave em Inglês: Natural ventilation

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Rosana Maria Caram, Karin Maria Soares Chvatal

Data da defesa: 22-08-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Estudo da eficiência para a ventilação natural dos sheds em hospitais da Rede Sarah

Renata Martinho de Camargo

Dissertação de mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profª Drª Lucila Chebel Labaki
FEC / UNICAMP



Profª Drª Rosana Maria Caram
FEC / UNICAMP



Profª Drª Karin Maria Soares Chvatal
IAU/USP

Campinas, 22 de agosto de 2011.

Dedico este trabalho à minha querida família:

Meus amados filhos, Pedro e Lucas.

Meu marido, Guido.

Meus pais, Henrique e Yaci.

AGRADECIMENTOS

À Lucila Chebel Labaki, grande mestre, pela orientação, incentivo e confiança depositada nesta pesquisa. Minha profunda admiração pela sua competência e sabedoria.

À Edson Matsumoto, professor e amigo, pela disposição em me auxiliar nos ensaios em túnel de vento e pela valiosa contribuição no desenvolvimento desta pesquisa, através de críticas e valiosos comentários. Muito Obrigada!

Aos professores Edson Matsumoto e Karin Maria Chvatal, pelas contribuições dadas na banca de exame de qualificação.

Ao Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC), na execução das maquetes.

À Alessandra Prata, pelo apoio na finalização deste trabalho e por compartilhar sua experiência em ensaios em túnel de vento.

À Jéssica Fonseca Matos, pelo auxílio na execução das maquetes.

Ao grupo de Conforto Térmico no Ambiente Construído, coordenado pela professora Lucila, por compartilhar seus conhecimentos em diversas áreas, através das nossas agradáveis reuniões.

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 efeitos do vento em um edifício são analisados através da dinâmica dos fluidos computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) ou de estudos em túnel de vento. É importante quantificar variáveis como: velocidade, pressão, temperatura e coeficiente de pressão. Os Hospitais da Rede Sarah Kubistchek, projetados por João Filgueiras Lima, Lelé, são considerados bons exemplos de arquitetura bioclimática, devido as suas soluções passivas de conforto, como a utilização dos *sheds*, que promovem a iluminação e a ventilação natural. Esses hospitais foram construídos em várias capitais brasileiras, com diferentes climas. Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da ventilação natural dos Hospitais Sarah localizados nas cidades de Brasília e Belém. Essas cidades foram escolhidas devido às características climáticas bastante diferenciadas – clima quente seco e quente úmido. Os *sheds* no hospital de Belém funcionam como extratores de vento, ao passo que no hospital de Brasília Lago Norte foram projetados como captadores de vento. A análise é feita através de ensaios em túnel de vento de camada limite atmosférica. Os testes incluem medições de velocidade do ar e pressão em vários pontos dentro e fora dos edifícios. O hospital de Belém é analisado em sua implantação real e na situação em que o vento predominante incide perpendicularmente à fachada. Os resultados mostram que, tanto o conjunto de aberturas e o sistema de *sheds* do hospital de Belém, quanto a sua implantação, proporcionaram maior velocidade do ar nos ambientes internos do que o hospital Brasília Lago Norte. Os resultados dos coeficientes de pressão permitiram confirmar que, para os dois hospitais analisados, o projeto de ventilação natural aproveita as áreas de maior pressão para posicionamento das aberturas de entrada e saída de ar.

Palavras- chave: ventilação natural, *sheds*, túnel de vento.

ABSTRACT

Natural ventilation in tropical regions is an efficient design strategy for achieving thermal comfort and reducing energy consumption. The utilization of natural resources and climate conditions improves integration of the building with its surroundings and allows comfort conditions through passive systems of conditioning. The effects of wind on a building are analyzed using computational fluid dynamics (CFD, Computational Fluid Dynamics) or wind tunnel studies. It is important to quantify variables such as speed, pressure, temperature and pressure coefficient. The Sarah Kubitschek Network hospital, designed by João Filgueiras Lima, Lelé, are considered good examples of bioclimatic architecture, due to the passive solutions for comfort, such as the use of sheds, which provide natural lighting and ventilation. These hospitals were built in several Brazilian cities with different climates. This study aims to evaluate the efficiency of natural ventilation of Sarah hospitals located in the cities of Brasília and Belém. These cities were chosen because of the different climate characteristics of the two cities - mild dry and hot humid. The sheds in the hospital of Belem act as wind extractors, while those in in Brasilia Lago Norte hospital was designed as a means of wind catchers. The analysis is done through testing in atmospheric boundary layer wind tunnel. The tests include measurements of air velocity and pressure at several points inside and outside of buildings. The Belém hospital is analyzed in its actual implantation and in the situation where the prevailing incident wind is perpendicular to the facade. The results show that both the number of openings and the shed system in the hospital in Belém, as well as its implantation, provided a higher air speed in indoor environments than the hospital Brasília Lago Norte. The results for the pressure coefficients allow to confirm that for both hospitals studied, the design of natural ventilation takes advantage of the higher pressure areas for positioning of the income and exit of air.

Keywords: natural ventilation, sheds, wind tunnel.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	OBJETIVOS	17
3.	A VENTILAÇÃO NATURAL NO PROJETO BIOCLIMÁTICO	19
3.1.	PRINCÍPIOS FÍSICOS DO MOVIMENTO DO AR	24
3.1.1.	VENTILAÇÃO NO INTERIOR DAS ESTRUTURAS	26
3.1.2.	CARACTERÍSTICAS DO ESCOAMENTO	29
3.2.	ASPECTOS GERIAS DE ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO	31
3.2.1.	– Camada Limite Atmosférica e características do escoamento em ensaios em túnel de vento.....	31
3.2.2.	Noções de Semelhança.....	33
3.2.3.	Semelhança entre edificação real e modelo.....	34
3.2.4.	Coeficiente de pressão	36
4.	A REDE SARAH e JOÃO FILGUEIRAS LIMA.....	40
4.1.	Captadores e extratores de vento.....	45
5.	METODOLOGIA	49
5.1.	Levantamento dos climas das cidades de Belém e Brasília através do programa Analysis Bio.....	50
5.2.	Hospitais da Rede Sarah: Brasília Lago Norte	50
5.2.1.	O clima na cidade de Brasília	50
5.2.2.	Implantação	53
5.3.	Hospitais da Rede Sarah: Belém.....	55

5.3.1. O clima de Belém	55
5.3.2. Implantação	58
5.4. Construções de maquetes.....	60
5.5. Descrição do Túnel de Vento	61
5.6. Limite de Velocidade	65
5.7. ENSAIOS NO TÚNEL DE VENTO	66
5.7.1. Medidas de velocidade	67
5.7.2. Medidas de pressão	70
6. RESULTADOS	75
6.1. Resultados do ensaio de velocidade	75
6.2. Resultados dos ensaios de medidas de pressão	79
7. CONCLUSÃO.....	89
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	95

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

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. A análise da ventilação natural deve fazer parte da fase de concepção do edifício, pois uma boa solução ameniza as temperaturas internas por meio de uma troca de ar controlada pelas aberturas. A velocidade de circulação do ar no interior da edificação e as temperaturas superficiais internas são variáveis que podem ser alteradas, por meio de estratégias arquitetônicas, sem emprego de equipamentos mecânicos, para se obter uma melhor condição de conforto dos ocupantes.

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, a importância da ventilação natural se dá também 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 para o exterior através da diferença de pressão.

Para ser eficiente, a ventilação natural depende da integração entre os princípios básicos: diferença de pressão e efeito chaminé. O fluxo de ar dentro de um ambiente é induzido pelas diferenças de pressão encontradas nas diversas superfícies do edifício. Elas podem ser geradas pelas forças devidas ao vento (pressão dinâmica) ou pela diferença de temperatura entre o interior e exterior (pressão estática).

O “efeito chaminé” ou ventilação por diferença de temperatura consiste na formação de uma coluna ascendente de ar, e sua exaustão por aberturas na parte superior da

edificação ou pela cobertura. Ela é ocasionada pelas diferenças de pressão originadas pelas diferenças de temperatura entre o ar interno e externo ao edifício. O ar externo, que geralmente possui temperaturas inferiores, irá penetrar pelas aberturas mais baixas do ambiente; já o ar interno, de temperatura mais elevada, irá ascender e sair pelas aberturas mais altas, criando um fluxo ascendente.

A intensidade do movimento do ar depende de dois fatores principais: da diferença de altura entre as aberturas de entrada e saída de ar e da diferença de temperatura entre o ar aquecido interno e o ar externo. As diferenças de pressão entre dois pontos distintos de um edifício é que determinam a direção e velocidade potenciais para a ocorrência de ventilação por pressão dinâmica. Quando uma corrente de ar entra em contato com uma edificação, as faces frontais, onde o vento incide perpendicularmente, ficam sujeitas a sobrepressões e as faces não expostas a subpressões. A face à barlavento é a zona de fluxo livre de ar; os vórtices são gerados na área onde ocorre a separação entre o fluxo livre e a região de recirculação de ar.

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).

Um exemplo importante de utilização de estratégias de ventilação natural no Brasil são os hospitais da Rede Sarah, projetados por João Filgueiras Lima, Lelé. Na concepção de projeto, Lelé se preocupou com o conforto ambiental térmico e minimização do consumo energético para o resfriamento das edificações. Os hospitais dessa Rede foram construídos em várias capitais brasileiras, com diferentes climas.

O arquiteto utiliza em suas obras estratégias de ventilação e iluminação naturais. Através da criação de novas soluções de conforto, ele integra princípios funcionais, econômicos e ambientais, alcançando não apenas um menor gasto com energia elétrica, como também espaços mais agradáveis, menos herméticos e conseqüentemente mais humanizados (LUKIENTCHUKI, 2010).

Os *sheds* são elementos arquitetônicos com presença marcante em todos os edifícios da Rede Sarah. A principal função desses elementos é favorecer a iluminação e a ventilação natural. Eles facilitam a saída do ar quente, pois as aberturas estão localizadas na cobertura. A forma do *shed* é fundamental para a eficiência da ventilação natural: quanto maior o pé-direito, mais intenso é o efeito chaminé.

Na literatura há diversos métodos simplificados para o cálculo da ventilação natural em edificações, a partir de dados como dimensões das aberturas, temperaturas, implantação, velocidade do vento incidente, coeficientes de pressão interna e externa, os quais são determinados empiricamente. Os efeitos do vento na escala urbana e na escala do edifício podem ser analisados através de ensaios de modelos reduzidos em túnel de vento de camada limite atmosférica (JIANG, 2003). Testes em túnel de vento constituem um meio eficiente de analisar a ventilação; consistem de medições de velocidade e pressão do vento em vários pontos dentro e fora do modelo do edifício, utilizando como equipamentos anemômetros de fio quente e *scanner* de pressão.

Nesse trabalho, os hospitais Sarah Belém e Brasília Lago Norte foram escolhidos devido às características climáticas bastante diferenciadas: quente úmido e clima quente seco em Belém e em Brasília respectivamente. Para se analisar a eficiência da ventilação natural nos hospitais, um aspecto importante é a comparação entre os dois tipos de *sheds* – extratores ou captadores de vento- para elaborar recomendações de projetos visando um melhor uso da ventilação natural. Os *sheds* no hospital de Belém funcionam como extratores de vento, ao passo que no hospital de Brasília Lago Norte os *sheds* foram projetados como captadores de vento.

A eficiência da ventilação natural também depende da orientação em relação à direção dos ventos predominantes. O hospital de Belém foi implantado em orientação de 68°, que não é a dos ventos predominantes. Assim considerou-se importante analisar qual seria o resultado para a ventilação do ambiente se a implantação fosse a mais favorável em relação a essa direção.

Os resultados para os ensaios de velocidade mostram que, tanto o conjunto de aberturas e o sistema de *sheds* do hospital de Belém, quanto a sua implantação, proporcionaram uma melhor ventilação nos ambientes internos do que o hospital

Brasília Lago Norte. Os resultados para os coeficientes de pressão permitiram confirmar que, para os dois hospitais analisados, o projeto de ventilação natural aproveita as áreas de maior pressão para posicionamento das aberturas de entrada e saída de ar.

O trabalho está estruturado em capítulos, como segue. Após a introdução, motivação pela pesquisa e objetivo, o capítulo 3 aborda a importância da ventilação natural no projeto bioclimático, os princípios do movimento do ar e os aspectos gerais dos ensaios em túnel de vento, logo a seguir no capítulo 4 mostra como surgiu a Rede Sarah e como o arquiteto João Filgueiras Lima procura adequar os projetos da rede Sarah às necessidades tecnológicas e ambientais do programa hospitalar. O mesmo capítulo também aborda uma das estratégias existentes para incrementar a ventilação natural como captadores e extratores de vento.

O capítulo 5 trata da metodologia adotada: os hospitais da Rede Sarah estudados: Brasília Lago Norte e Belém, as construções das maquetes, descrição do túnel de vento e as medições de velocidade e pressão.

No capítulo 6 são apresentados os resultados e sua análise e no capítulo seguinte é feita a discussão sobre os resultados obtidos nos dois hospitais analisados e a conclusão do trabalho.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS



2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência da ventilação natural nos Hospitais da Rede Sarah localizados nas cidades de Brasília e Belém, através de ensaios em túnel de vento.

Como objetivos específicos, considerou-se importante:

- Analisar a ventilação no interior e exterior das maquetes dos hospitais Sarah: Brasília Lago Norte e Belém através de resultados obtidos nos ensaios de velocidade e pressão realizados em túnel de vento.
- Comparar as velocidades do vento, obtidas nos ensaios, com as velocidades de fachada (velocidade do vento na seção do ensaio, antes de atingir os modelos reduzidos) e também com a velocidade do vento predominante nas cidades de Brasília e Belém.
- Avaliar a implantação dos dois hospitais em relação à direção dos ventos predominantes.
- Analisar a ventilação natural propiciada pelos *sheds* em situação de captadores ou extratores, através dos coeficientes de pressão obtidos.

CAPÍTULO 3

A VENTILAÇÃO NATURAL NO PROJETO BIOCLIMÁTICO



3. A VENTILAÇÃO NATURAL NO PROJETO BIOCLIMÁTICO

O processo de concepção arquitetônica no projeto bioclimático consiste em trabalhar em harmonia com o que a natureza oferece, adaptando o máximo possível os edifícios ao clima onde estão inseridos. A correspondência entre características arquitetônicas e determinadas zonas climáticas é o princípio fundamental da Arquitetura Bioclimática, que procura minimizar os impactos resultantes de uma intervenção no meio e obter uma relação harmônica entre paisagem e construção.

Nos anos 70, teve início a conscientização dos limites dos recursos energéticos do planeta; com isso a arquitetura bioclimática reapareceu como uma forma de produzir uma arquitetura adequadamente inserida no clima e contexto sócio-cultural locais, em harmonia com a topografia e o entorno, que se aproveita dos materiais disponíveis e dos recursos naturais da região, é atenta ao conforto térmico, acústico, luminoso e procura reduzir o máximo possível a necessidade de sistemas mecânicos para condicionamento do ambiente. Corbella e Yannas a definem como uma “Arquitetura preocupada na sua integração com o clima local, visando à habitação centrada sobre o conforto ambiental do ser humano e sua repercussão no planeta.” (CORBELLA; YANNAS, 2003).

O conceito em questão passou a ser incorporado e discutido na literatura especializada, e está fortemente relacionado à produção de espaços com alta eficiência energética.

Os edifícios usam ao menos 50% de toda a energia produzida em nosso planeta para aquecimento, refrigeração, iluminação, nas indústrias e na construção civil (ERG, 1999). Com isso, a maior parte deste consumo é relacionada diretamente aos aspectos da arquitetura e ao uso do espaço (MACIEL, 2006).

O projeto bioclimático é uma abordagem que tira vantagem do clima através da aplicação correta de elementos de projeto e tecnologia para economia de energia, mantendo o conforto dos ocupantes da edificação. A concepção bioclimática visa o

máximo proveito dos fenômenos naturais em benefício de um maior conforto ambiental no interior do edifício, através da adoção de elementos adequados às características regionais, condizentes às exigências de um respectivo clima. Como afirma Olgyay (1998): *“Aquellas estructuras que, en un entorno determinado, reducen tensiones innecesarias aprovechando todos los recursos naturales que favorecen el confort humano, pueden catalogarse como climáticamente equilibradas”*.

Givoni (1992) concebeu uma carta bioclimática adequada para países em desenvolvimento e para as condições brasileiras. A carta foi construída tendo como base o diagrama psicrométrico, relacionado à temperatura do ar externo e à umidade relativa. Ao plotar sobre a carta os dados da cidade em estudo, obtém-se as indicações de estratégias bioclimáticas a serem adotada para a mesma. A norma brasileira NBR 15220 modificou a carta de Givoni, para o estabelecimento do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, no qual o território do país foi dividido em oito zonas bioclimáticas. A carta é dividida em doze zonas, sendo que três são intersecções entre algumas delas, conforme a NBR 15220.

A ventilação natural é uma eficiente opção de projeto para regiões com clima tropical ou quente – úmido garantida pela conjugação dos seus princípios básicos: diferença das pressões causadas pela dinâmica dos ventos e diferenças térmicas (efeito chaminé) do meio ; devendo a mesma ser considerada em todo o processo do projeto, inclusive na concepção (CARAM e PÉREN, 2007). Esta estratégia de projeto torna-se uma eficiente opção para edificações devido à economia nos custos da obra, no consumo de energia e, sobretudo, na humanização dos ambientes.

Uma ventilação adequada deve fornecer e/ou retirar ar de um local de forma a satisfazer as exigências quanto à saúde, à segurança e à expectativa de bem-estar do ser humano. O conforto térmico das pessoas depende dos processos de troca de calor do corpo com o ambiente e por isso é influenciado pelo movimento do ar que afeta as trocas por convecção e por evaporação (RUAS e LABAKI, 2001). Com ventos de baixa velocidade, a temperatura radiante e a temperatura do ar produzem efeitos semelhantes na sensação de conforto térmico; mas, com ventos de alta velocidade, a temperatura do ar domina a percepção de conforto (CLARK, 1989).

A velocidade do vento aceitável em interiores varia de 0,5 a 2,0 m/s (BOUQUET, 1991). Este limite é baseado em problemas práticos, como desordem de papéis sobre as mesas, por exemplo, ao invés de ser baseado em exigências de conforto. Em regiões de clima quente e úmido, é provável que o poder de resfriamento da ventilação com velocidades maiores possa compensar essas desvantagens.

Na escala urbana, a análise da ventilação natural fundamenta-se na identificação de efeitos aerodinâmicos do vento em contato com a rugosidade superficial (características geomorfológicas e de assentamento). Uma vez identificados os efeitos, é possível estudar os impactos gerados na ventilação das imediações do edifício em análise (MATSUMOTO, 2007).

Além disso, devem ser observados os novos efeitos causados pela mudança do entorno que provavelmente afetarão o edifício construído ou em projeto. Esses fenômenos devem ser identificados para subsidiar o estudo da ventilação natural no edifício. Na escala do edifício, a análise inicia-se com a consideração dos fatores, fixos e variáveis, que influenciam a ventilação natural (LAWSON, 1980).

Quanto aos fatores fixos, no caso do edifício já construído, observa-se: localização e orientação do edifício em relação ao vento; relação entre espaços abertos de entorno e espaços construídos; características construtivas do edifício.

Os fatores variáveis são: direções predominantes e velocidade do vento; efeitos aerodinâmicos dos ventos, observados na etapa anterior; diferença de temperatura entre o interior e o exterior (TOLEDO, 2001).

Segundo Evans (1983), o planejamento das aberturas de entrada é a estratégia mais eficiente para definir a componente direcional do fluxo de ar, pois ele determina os vetores das forças que afetam o ar, ingressando na construção. Quando o vento sopra na direção próxima à perpendicular à entrada de ar, uma maior diferença de pressão através da construção é observada.

A localização das aberturas em função da direção do vento é de fundamental importância, quando se projeta considerando a ventilação natural como estratégia bioclimática (GANDEMER, 1989).

A forma arquitetônica interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e no exterior do edifício, influenciando, portanto, o conforto ambiental na edificação e seu consumo de energia.

No Brasil, o arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, adota em suas obras soluções bioclimáticas que favorecem o conforto ambiental térmico e minimizam o consumo energético das edificações. Cada uma das soluções propostas procura o conforto dos usuários por meios passivos, tais como: ventilação natural e resfriamento passivo. Priorizar ventilação e iluminação naturais é característica presente em suas diversas obras: escolas, centros, elementos para infra estrutura urbana, mobiliários e hospitais (CARAM E PÉREN, 2007).

Em sua obra, tem grande destaque os hospitais da Rede Sarah Kubistchek. As soluções arquitetônicas para os hospitais da Rede estão determinadas por critérios e diretrizes de projetos relativos à flexibilidade e extensibilidade da construção, criação de espaços verdes, flexibilidade das instalações, padronização de elementos da construção, iluminação natural e conforto térmico dos ambientes.

Os *sheds* são elementos arquitetônicos que têm uma presença marcante em todos os hospitais da Rede Sarah Kubistchek. Além do valor estético, eles dão unidade ao conjunto e caracterizam a linguagem arquitetônica da Rede (Péren, 2006). Eles podem funcionar como captadores de ar ou extratores de ar dependendo da orientação para a qual é projetado.

Lukiantchuki (2010) realizou alguns testes em túnel de vento de camada limite atmosférica. Os modelos ensaiados foram os hospitais Sarah do Rio de Janeiro e Sarah Salvador, foi feita uma comparação das velocidades dos setores de enfermaria dos dois hospitais e estes mostraram que o interior da enfermaria do Sarah - Rio é 17% melhor ventilado. O conjunto de aberturas de entrada de ar e o sistema de *sheds*, captando o

vento e fazendo-o passar na parte superior do ambiente interno, do hospital do Rio de Janeiro, mostrou-se mais eficiente no processo de ventilação natural do que o sistema de aberturas e *sheds* do hospital de Salvador. Esta diferença significativa deve-se a diferença das alturas dos *sheds* e suas aberturas, que são maiores no hospital do Rio de Janeiro, visto que o pé-direito do hospital de Salvador alcança no máximo 4,5m e no Rio é superior a 8m.

Em testes realizados em túnel de vento, observou-se que a área do *shed* deveria ser maior que 20% da área da seção transversal do edifício, no sentido perpendicular à direção do vento, para se obter resultados satisfatórios. A média da velocidade interna de ar em ambientes com ventilação cruzada pode ser aumentada em torno de 40%, quando o *shed* funcionar como saída de ar, e em torno de 15% quando funcionar como entrada de ar (GANDEMER et. al., 1989 apud BITTENCOURT et.al.,2006).

Prata (2005) realizou testes em túnel de vento para um modelo urbano formado por construções e edifícios altos no bairro de Moema (São Paulo), com o objetivo de explorar os valores de rugosidade, os perfis de velocidades médias devido à rugosidade atual da área e a medida de valores de coeficientes de pressão em alguns prédios inseridos na área de maior verticalização.

Uma opção aos ensaios em túnel de vento é a simulação utilizando o CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Cóstola (2011) fez simulações em um edifício de cinco pavimentos (habitação de interesse social) e constatou que diferentes configurações da simulação levam a desvios consideráveis, tanto em termos absolutos (até 0,5) quanto em termos relativos (até 50%). O teste de independência de malhas se mostrou fundamental, assim com a definição do perfil de velocidade.

Hensen (2011) fornece uma visão geral da aplicação da dinâmica dos fluidos computacional na simulação de desempenho para o ambiente ao ar livre. Para os casos analisados, o autor conclui que o CFD oferece vantagens consideráveis em comparação com a modelagem em túnel de vento, pois pode fornecer dados

detalhados de todo o campo sob condições totalmente controladas e sem restrições de similaridade.

A vantagem dos ensaios em túnel de vento ou da simulação computacional em relação às medições feitas no local está na possibilidade de planejamentos futuros, ou seja, alternativas de projeto podem ser propostas e analisadas rapidamente, assim que seja construído um modelo apropriado para a região do projeto.

3.1. PRINCÍPIOS FÍSICOS DO MOVIMENTO DO AR

O conhecimento do comportamento do ar na edificação e no seu entorno é imprescindível para estabelecer o balanço térmico da edificação, que também interfere no nível de conforto térmico e na qualidade do ar interno (ATHIENITIS: SANTAMOURIS, 1998 e CUNHA ET AL., 2001).

Na escala urbana, a análise da ventilação natural fundamenta-se na identificação de efeitos aerodinâmicos do vento em contato com a rugosidade superficial (características geomorfológicas e de assentamento). Uma vez identificados os efeitos, é possível estudar os impactos gerados na ventilação das imediações do edifício em análise (MATSUMOTO, 2006).

Novos efeitos causados pela mudança do entorno provavelmente afetarão o edifício construído ou em projeto. Esses fenômenos devem ser identificados para subsidiar o estudo da ventilação natural no edifício.

Segundo Lawson, 1980, na escala do edifício, há fatores fixos e variáveis. São fatores fixos:

- localização e orientação do edifício em relação ao vento;
- relação entre espaços abertos de entorno e espaços construídos;

- características construtivas do edifício;
- posição, tipo e tamanho das aberturas.

Quanto aos fatores variáveis, observa-se:

- direção predominante e velocidade do vento;
- efeitos aerodinâmicos dos ventos
- diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

O desempenho térmico depende da vazão de ar que atravessa a edificação (AWBI, 2003), vazão esta que pode ser calculada utilizando a dinâmica de fluidos computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) ou utilizando modelos simplificados. Os CFD's são baseados na solução das equações diferenciais de Navier-Stokes, combinadas com modelos de turbulência (YI JIANG, 2002). Estas ferramentas determinam, não somente a vazão de ar, mas também, o campo de velocidade e temperatura em toda uma região.

Na literatura, os diversos métodos simplificados existentes para o cálculo da ventilação natural em edificações utilizam cada um deles, algumas das seguintes variáveis: dimensões das aberturas, localização, velocidade do vento incidente, coeficientes de pressão interna e externa, temperaturas, coeficientes determinados empiricamente, etc.

Os modelos simplificados existentes são baseados na equação da conservação de massa, combinados com alguns parâmetros obtidos experimentalmente. Permitem obter-se a vazão de ar através da edificação, mas fornecem pouca ou nenhuma informação a respeito do campo de velocidade no espaço interno (ALLARD, 1998), fator importante para o conforto térmico.

3.1.1. VENTILAÇÃO NO INTERIOR DAS ESTRUTURAS

Uma ventilação eficiente depende da pressão do ar em todas as faces do edifício, o que determina o correto posicionamento das aberturas. Para isso, a geometria do edifício é fator fundamental. Quando o vento incide perpendicularmente em edificações alongadas, com uma grande quantidade de vedações voltadas para a área externa, facilitam a ocorrência de ventilação. Construções abertas, onde há forte integração entre os espaços internos e externos, são características construtivas que favorecem o fluxo de ar.

Segundo Evans (1983), a configuração de fluxo de ar no interior de uma construção é determinada por três fatores principais:

- 1) O tamanho e a localização das aberturas de entrada do ar;
- 2) O tipo e a configuração das aberturas usadas;
- 3) A localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas e painéis verticais e horizontais .

Segundo Aynsley (1977), o movimento de ar dentro das construções é governado, principalmente, pela direção externa do vento, pela configuração da abertura de entrada do ar e pelas forças de inércia das correntes de ar. O alinhamento das aberturas à direção do vento incidente assegura menores perdas de energia que ocorrem quando o escoamento é forçado a mudar de direção.

Para um mesmo tamanho de abertura localizada a barlavento, maiores taxas de ventilação são obtidas quando as aberturas situadas a sotavento do edifício são maiores. A figura 1 mostra resultados para a velocidade interna em função das aberturas, obtidos em estudo realizado por Givoni, 1976.

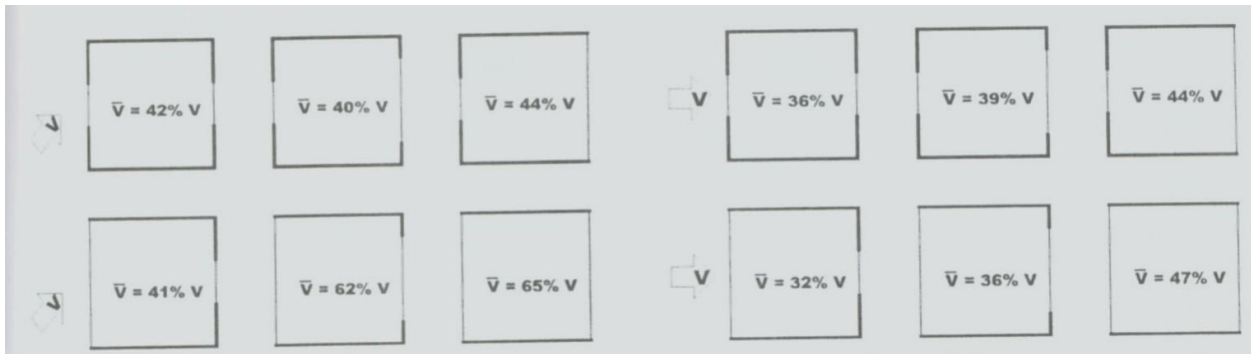


Figura 1 - Velocidade interna média em função da relação entre as aberturas de entrada e saída do ar (Fonte: Givoni, 1976).

A diferença de pressão entre as fachadas a barlavento e a sotavento se constitui na força motriz para a movimentação de ar (GIVONI, 1976). Com isso, o fluxo de ar varia em função da distância entre as aberturas: o alinhamento das aberturas à direção do vento assegura menores perdas.

As pesquisas de Givoni (1976) sugerem que maiores médias na velocidade do ar são conseguidas em ambientes com aberturas localizadas em paredes adjacentes, conforme figura 2:

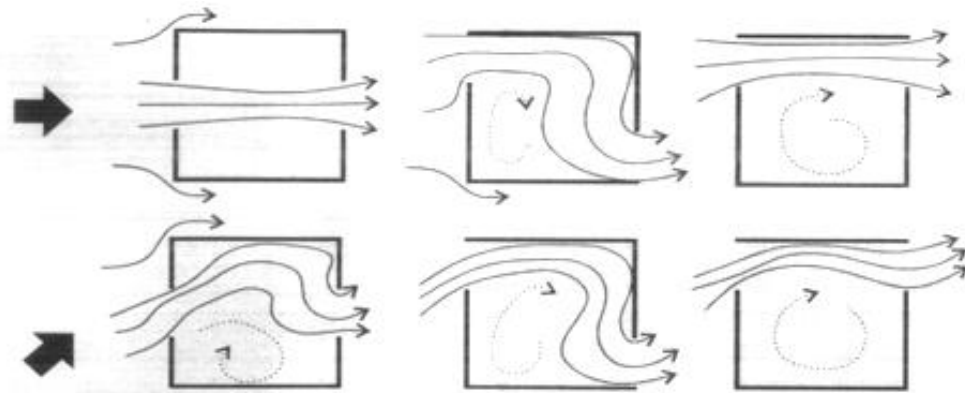


Figura 2-Efeitos das aberturas em paredes adjacentes (Fonte:Givoni, 1976).

O aumento da porosidade da construção produz também maior uniformidade da velocidade do ar nos espaços internos (EVANS, 1983). Sobin (1981) coloca que qualquer que seja a tipologia de abertura adotada, um alto grau de porosidade é desejado e pode ser conseguido através do uso de painéis de elementos vazados ou

janelas com venezianas. O uso de painéis de elementos vazados é uma prática comum em vários países para aumentar as taxas de ventilação a um baixo custo.

Segundo Bittencourt (2006), os elementos verticais podem ser: extensões de paredes internas, protetores solares verticais ou elementos estruturais. A ventilação pode ser acentuada em função do aumento de diferença de pressão criada por estes elementos, mudando a configuração do fluxo interno.

Segundo Aynsley(1977), a aerodinâmica dos edifícios estuda a relação entre o movimento do ar e as construções imersas nele. Os escoamentos do vento nas construções podem ser agrupados em três tipos: fluxo livre, onde parte da corrente de vento é localizada a barlavento do edifício, camada limite e re – circulação do fluxo .

A Lei de Bernoulli estabelece que no caso de fluxo constante de um fluido incompressível e invíscido, a energia de uma unidade de volume do fluido é conservada ao longo do seu percurso. A soma algébrica da pressão, energia cinética por unidade de volume e a energia potencial por unidade de volume é constante ao longo do fluxo de um fluido (MASSEY, 1990) (equação 1).

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{constante} \quad (1)$$

Onde: p= pressão estática (Pa)

 v =velocidade média (m/s)

 g = aceleração da gravidade (m/s²)

ρ = densidade do fluido (kg/m³)

 h = altura acima de uma referência horizontal dada (m)

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DO ESCOAMENTO

Uma corrente de ar pode apresentar dois tipos de escoamento: laminar e turbulento. No escoamento laminar as moléculas de ar movem-se em linhas de escoamento paralelo sem mistura lateral ou radial. O escoamento turbulento ocorre a altas velocidades de corrente de ar ou quando a mesma encontra um obstáculo e colide com o mesmo.

Conforme Aynsley (1977), num corpo não aerodinâmico, como um edifício, o escoamento se divide nas arestas do mesmo, causando pressões negativas ao longo das laterais e nas superfícies localizadas à sotavento. Estes campos de pressão produzidos nas superfícies de um corpo sólido determinam as forças de pressão normais a essa superfície, tais como as forças de arraste e suspensão, conforme ilustra a figura 3.

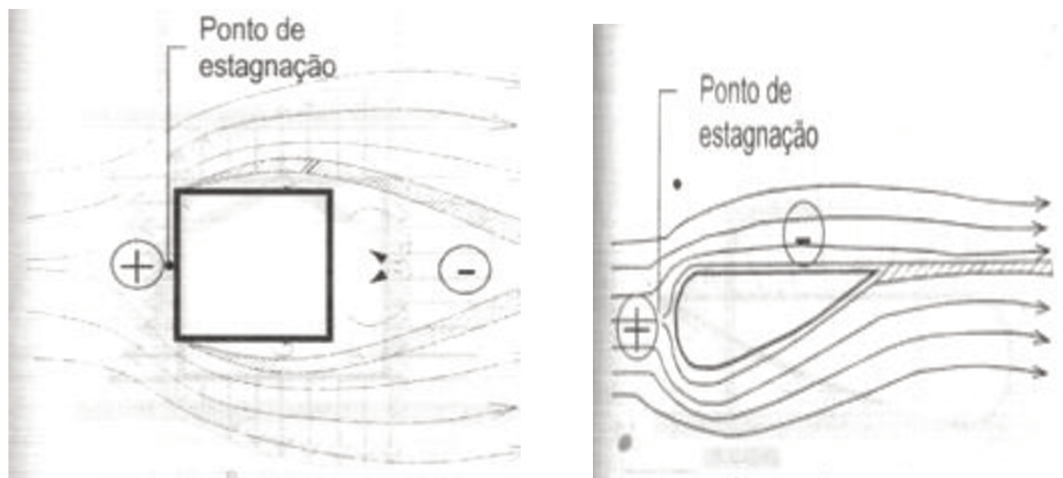


Figura 3 – Campos de pressão (Fonte: Givoni, 1976)

Um dos parâmetros importantes no estudo de escoamentos é o número de Reynolds (Re), dado pela relação:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (2)$$

Onde: ρ é a densidade do fluido.

V é a velocidade média do escoamento no duto.

D é o diâmetro ou uma dimensão característica do duto.

μ é a viscosidade dinâmica do fluido.

O número de Reynolds só permite comparar escoamentos em torno de objetos geometricamente semelhantes e igualmente orientados (Blessmann,1995; Anderson,1991).

As forças de inércia são representadas pela resistência ao vento que desvia-se do caminho original do ar e acarreta uma diminuição na velocidade do vento. As forças laterais de fricção que também diminuem a velocidade do ar são as forças viscosas (Figura 4a).

As forças viscosas atuam com mais intensidade em formas aerodinâmicas, sendo reduzidas em edificações. Em todos os casos, ambas as forças, inercial e viscosa estão sempre presentes ao mesmo tempo, embora em diferentes proporções. A densidade e a viscosidade do ar podem ser consideradas constantes para problemas de ventilação natural em climas quentes. Portanto o número de Reynolds torna-se uma função direta da forma do corpo e da velocidade do vento (MELARAGNO, 1982).

Como se pode observar na figura 4b, é necessário considerar a face do edifício normal à direção do vento predominante. A ação das forças de inércia no bloco à direita são muito menores que aquelas do bloco à esquerda, resultando em diferentes valores do número de Reynolds para a mesma construção.

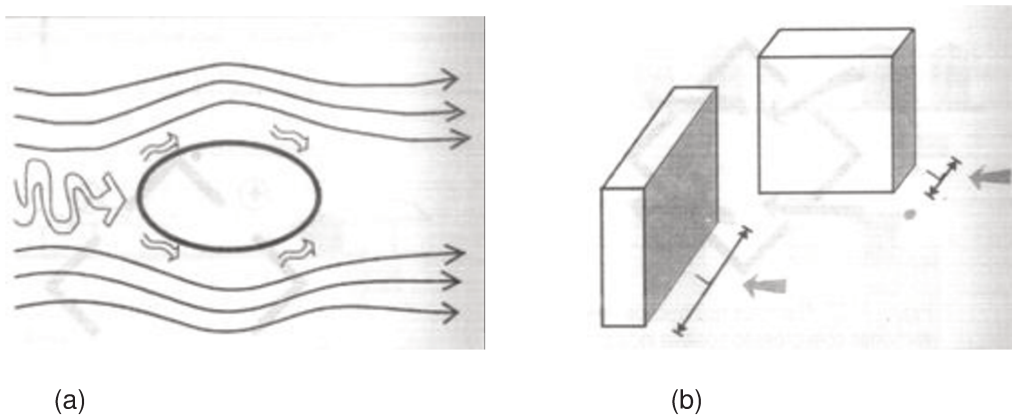


Figura 4: Forças de inércia e viscosidade atuando na estrutura (Fonte: MELARAGNO, 1982).

3.2. ASPECTOS GERAIS DE ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO

3.2.1. – Camada Limite Atmosférica e características do escoamento em ensaios em túnel de vento.

A velocidade média do vento não é constante em altura, aumentando com a distância ao solo até determinada altura. Esta variação é explicada pelo efeito de atrito provocado pelos obstáculos existente na superfície, que impedem, em maior ou menor escala, o livre fluxo do ar, e conseqüentemente alteram a velocidade do vento na zona superficial. Uma vez que a uma altura suficientemente elevada o fluxo não é perturbado pela superfície, justifica-se a existência de um gradiente de velocidades em altura, e também que este seja definido numa altura finita.

O escoamento junto da superfície da Terra é constrangido por obstáculos, que podem ser estruturas criadas pelo homem (como os edifícios), ou naturais (como montanhas ou árvores). No seu conjunto são designados como rugosidade aerodinâmica do solo.

A intensidade da perturbação provocada pela superfície reflete-se na altura da camada atmosférica perturbada e na variação em altura da velocidade do vento resultante.

O escoamento no túnel de vento de camada limite atmosférica deve ter características semelhantes às que se encontra no ambiente atmosférico, próximo à superfície (CERMAK, 2003). Com isso o gradiente vertical de velocidade na seção de ensaio do túnel de vento deve variar de zero, na superfície, até o valor da velocidade do escoamento livre, sem interferência da rugosidade da superfície. Esta camada onde ocorre a variação de velocidades é chamada de camada limite atmosférica (SIMIU, 1996) conforme ilustra a figura 5.

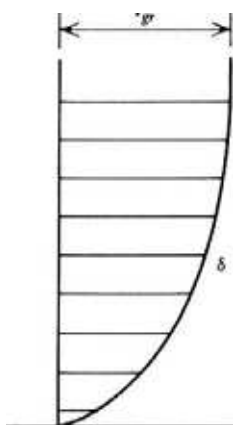


Figura 5 – Perfil de velocidades do vento na atmosfera. A velocidade varia de zero na superfície até a velocidade do vento na atmosfera livre (Fonte: SIMIU, 1996).

A Figura 6 representa as linhas de corrente características para dois tipos de escoamento incidente, sendo em a) um escoamento com perfil de velocidade médias uniforme e em b) um perfil do tipo camada limite atmosférica. Genericamente, verifica-se que em b) há a tendência da formação de uma zona de recirculação junto à face frontal, que origina uma inversão do sentido do escoamento na zona junto ao solo. Por outro lado, verifica-se que é mais provável que a zona de recirculação na face superior no caso b) seja fechada, havendo um ponto de recolagem.

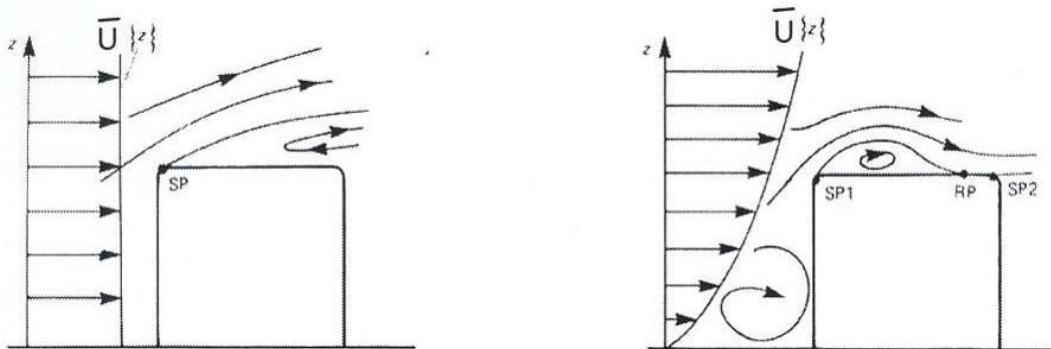


Figura 6: Desenvolvimento das linhas de corrente em torno de um obstáculo (Fonte: COOK, 1985).

a) Escoamento uniforme; b) Escoamento da camada limite

3.2.2. Noções de Semelhança

Para que seja realizado um estudo em modelo reduzido, torna-se necessário determinar as condições que devem ser satisfeitas para que os escoamentos em torno de corpos geometricamente semelhantes sejam também semelhantes. As condições conhecidas como condições de semelhanças, são: semelhança geométrica (semelhança de corpos), semelhança cinemática (semelhança de escoamentos) e semelhança dinâmica (semelhança das forças), (Blessmann, 1995). A figura 7 ilustra as semelhanças: geométrica, cinemática e dinâmica.

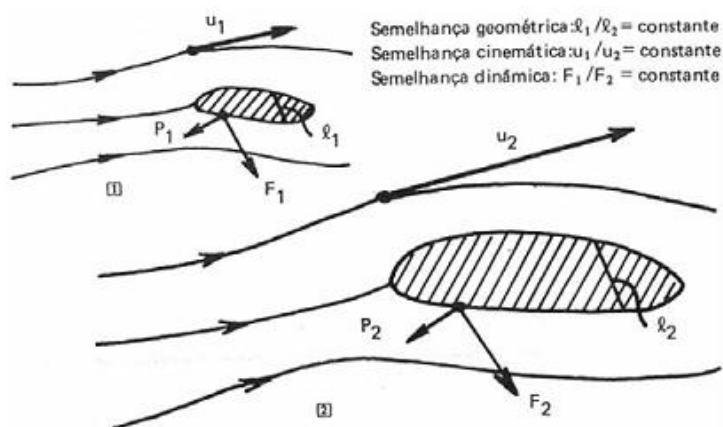


Figura 7 – Semelhanças: geométrica, cinemática, dinâmica (Fonte: Blessmann, 1995).

3.2.3. Semelhança entre edificação real e modelo

No estudo em modelos é importante a medida das pressões sobre os corpos. Ocorrendo a semelhança dinâmica, a relação entre as pressões em pontos correspondentes do modelo e da construção real é constante para qualquer par destes pontos. Portanto, medidas as pressões no modelo, conheceremos as pressões nos pontos correspondentes da construção através do coeficiente de proporcionalidade, chamado k (Blessmann, 1995).

Considerando-se a Fig.8, temos:

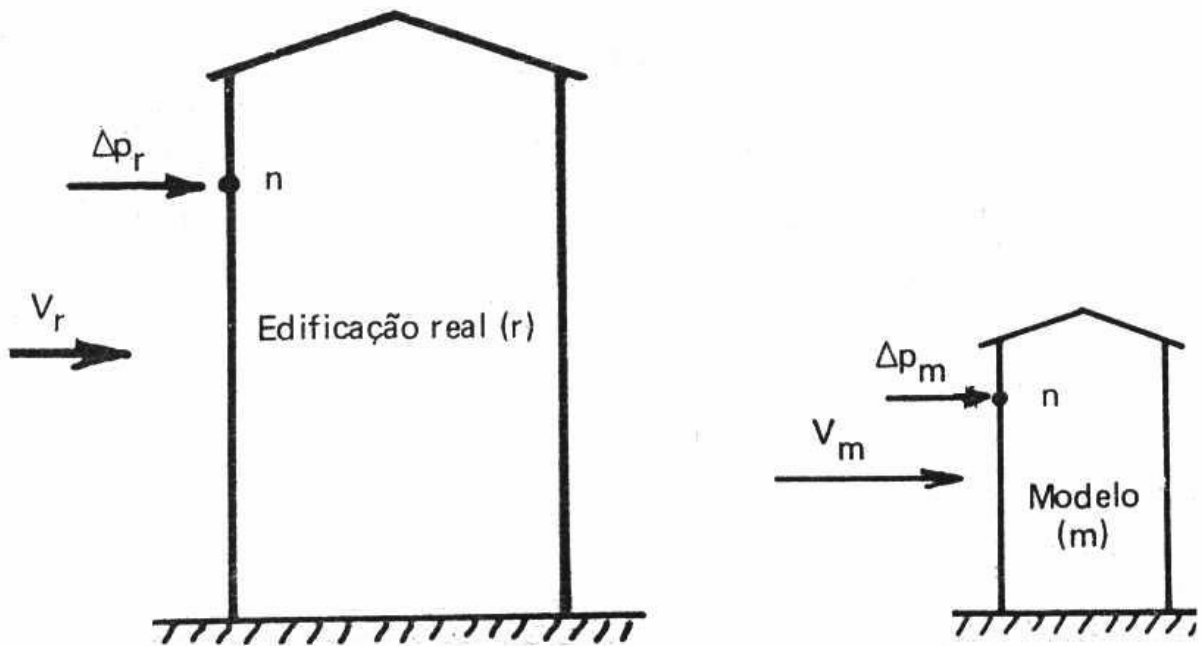


Figura 8: Semelhança entre a edificação real e modelo

Na edificação real:

Velocidade de referência: V_r

$$\text{Pressão dinâmica } p_r = \frac{1}{2} \rho V_r^2 \quad (3)$$

p_{rn} = pressão efetiva no ponto n.

p_{er} = pressão estática de referência

pressão efetiva no ponto n: $\Delta p_r = p_{rn} - p_{er}$ (4)

p_{rn} = pressão no ponto n.

p_{er} = pressão estática de referência.

Coeficiente de pressão no ponto n: $c_{pr} = \Delta p_r / p_r$ (5)

- No modelo:

Velocidade de referência: V_m

Pressão dinâmica : $p_r = \frac{1}{2} \rho V_r^2$ (6)

p_{mn} = pressão efetiva no ponto n.

p_{em} = pressão estática de referência

pressão efetiva no ponto n: $\Delta p_{mr} = p_{mn} - p_{er}$ (7)

p_{mn} = pressão no ponto n

p_{em} = pressão estática do modelo

Coeficiente de pressão no ponto n: $c_{pm} = \Delta p_{mn} / p_m$ (8)

Pela semelhança dinâmica tem-se:

$\Delta p_r / \Delta p_m = K$; $p_r / p_m = K$ (9)

Assim: $\Delta p_r = k \Delta p_m$; $p_r = K \Delta p_m$ (10)

Portanto: $c_{pr} = c_{pm}$ (11)

Isto significa que o coeficiente de pressão é o mesmo para o modelo e para a edificação real. Deste modo, as forças devido ao vento podem ser determinadas em modelo reduzido desde que se tenha semelhança geométrica, cinemática e dinâmica (SIMIU,1996).

Embora a igualdade de Reynolds conduza sempre a escoamentos semelhantes (respeitadas também as outras condições), pode-se ter escoamentos semelhantes sem igualdade de Reynolds. É o que acontece, por exemplo, com placas, edificações com cantos vivos, etc. Nestes casos, os coeficientes aerodinâmicos relevantes têm valores constantes, independentes das dimensões do corpo, da viscosidade do fluido e da velocidade do fluxo (BLESSMANN, 1995).

3.2.4. Coeficiente de pressão

A definição de coeficiente de pressão é de grande utilidade, pois estabelece não a pressão na face, mas a relação entre a pressão dinâmica do vento e a pressão exercida no edifício pelo mesmo (CÓSTOLA, 2005). Com isso, pode-se verificar as áreas que atuam como entrada e saída de ar em função de suas pressões serem negativas ou positivas.

A pressão dinâmica representa a energia cinética total do ar que atinge um corpo e é representada pela equação 12:

$$q = \left(\frac{\rho}{2}\right) \times v^2 \quad (12)$$

Onde q= pressão dinâmica (Pa) ;

ρ = densidade do ar (kg/m^3) e

v = velocidade do vento (m/s).

Segundo Liddament (1986), quando uma corrente livre atinge um obstáculo, a pressão real do vento (P), num dado ponto do obstáculo é o produto da pressão dinâmica (q) por um coeficiente de correlação, C_p (coeficiente de pressão).

Os coeficientes de pressão dependem da forma e da porosidade do edifício e da direção do vento. Eles são determinados experimentalmente (equação 13), em geral através de testes em túnel em vento. São adimensionais.

$$c_p = \frac{p - p_o}{\frac{1}{2} \rho V_o^2} \quad \text{ou} \quad c_p = \frac{p - p_{ref}}{p_{dinâmica}} \quad (13)$$

c_p = coeficiente de pressão no ponto considerado (adimensional).

p = pressão no ponto considerado (Pa).

p_o = pressão estática em um ponto do escoamento não perturbado pelo modelo físico (N/m^2).

ρ = densidade do ar no interior do túnel de vento (kg/m^3).

V_o = velocidade do ar em um ponto do escoamento não perturbado pelo modelo físico (m/s).

p_{ref} = pressão de referência.

$p_{dinâmica}$ = pressão dinâmica.

Os valores do coeficiente de pressão, compilados por Liddament (1986) consideram construções de baixa elevação, com geometria simples, diferentes direções do vento, inclinações de telhados e condições do entorno. Para a declividade dos telhados são consideradas duas inclinações, conforme mostra a figura 9:

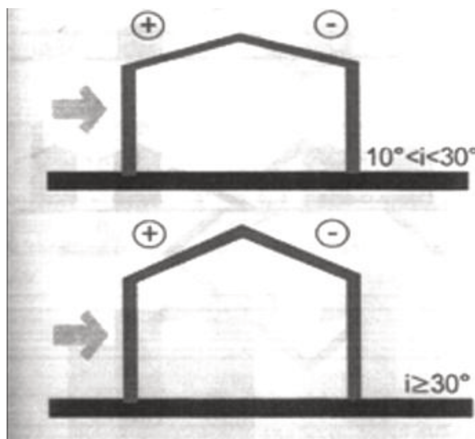


Figura 9 – Coeficientes de pressão para diferentes inclinações (Fonte: Liddament, 1986).

A tabela 1 fornece alguns dados dos coeficientes de pressão do vento para edificações comuns (edifícios com até 3 pavimentos) com tipologia simples. A relação de comprimento para altura é de 2:1 e o nível de referência da velocidade do vento é a altura do edifício.

Tabela 1 - Coeficientes de Pressão para diferentes ângulos e incidência do vento

<i>Local</i>	<i>0°</i>	<i>45°</i>	<i>90°</i>	<i>135°</i>	<i>180°</i>	<i>225°</i>	<i>270°</i>	<i>315°</i>
Fachada 1- (entrada)	0,06	-0,12	-0,2	- 0,38	-0,3	- 0,38	-0,2	-0,12
Fachada 2- (saída)	-0,3	-0,38	-0,2	-0,12	0,06	-0,12	-0,2	-0,38
Fachada 3- (lateral esquerda)	-0,3	0,15	0,18	0,15	-0,3	-0,32	-0,2	-0,32
Fachada 4- (lateral direita)	-0,3	0,32	0,2	-0,32	-0,3	0,15	0,18	0,15

Fonte: Liddament,1986

Os coeficientes de pressão obtidos na Tabela 1 são obtidos para edificações sem aberturas. Quando o ângulo de entrada do vento é maior que 45° os coeficientes de pressão tornam-se negativos.

CAPÍTULO 4

A REDE SARAH E JOÃO FILGUEIRAS LIMA



4. A REDE SARAH e JOÃO FILGUEIRAS LIMA

A rede Sarah Kubitschek teve início em 1960 com a implantação em Brasília, do Centro de Reabilitação Sarah Kubitschek, pequena unidade de atendimento em reabilitação pediátrica, atualmente chamado de “Sarinha”, administrado pela Fundação das Pioneiras Sociais. Em 1968, o médico Aloysio Campos da Paz Junior assumiu a Presidência da fundação e a direção do Centro, que passou a funcionar no ano seguinte como hospital de reabilitação de pacientes com problemas dos Sistemas nervoso Central e Locomotor.

O Sarah de Brasília foi a unidade pioneira do que mais tarde se organizou como a Rede Sarah de hospitais, com a implantação de unidades em São Luís(1993), Salvador (1994), Belo Horizonte (1997), Fortaleza (2001), Lago Norte/ Brasília (2003) , Macapá (2005) , Belém (2007) e Rio de Janeiro (2009). Todos projetados por João Filgueiras Lima (figura 10). O Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS), foi a estrutura que viabilizou a materialização dos espaços desse extraordinário centro de pesquisa médica (GUIMARÃES,2010).

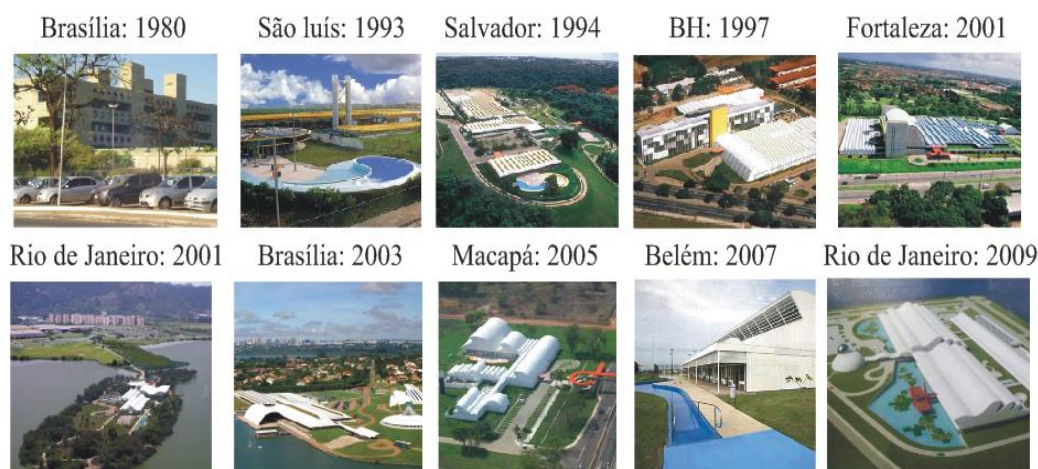


Figura 10- Hospitais da Rede Sarah Kubitschek (Fotos do acervo CTRS, 2008, adaptado por (Lukiantchuki, 2010)

O arquiteto João Filgueiras Lima procura adequar os projetos da rede Sarah às necessidades tecnológicas e ambientais do programa hospitalar, através de princípios que estruturam todos os edifícios da rede Sarah, como: padronização de elementos construtivos, espaços verdes, iluminação natural e conforto térmico dos ambientes através de sistemas naturais de ventilação.

João Filgueiras Lima desenvolveu um sistema construções modulares com aço, plástico e argamassa armada, uso de paredes não estruturais e divisórias removíveis, método de produção em série, executadas no próprio Centro de Tecnologia da Rede Sarah Kubitscheck (CTRS), tornando mais econômico, prático e limpo o canteiro de obra e o processo de manutenção.

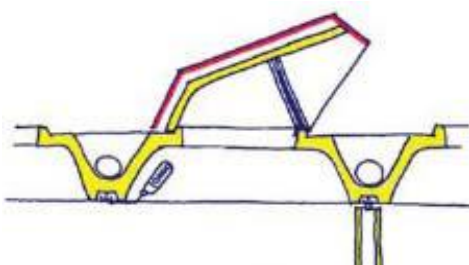
Sua característica mais marcante é a forma de utilizar ao máximo os recursos naturais: análise do terreno, entorno, posição do sol, ventos predominantes e paisagem natural. Utiliza-se freqüentemente de recursos como os *sheds* (como captadores ou extratores de vento), galerias que captam os ventos, ventilação cruzada e aspersão de água para a refrigeração. Na figura 11 observam-se os jardins internos do Hospital Sarah Brasília Lago Norte.



Figura 11- Jardins internos no ginásio do Sarah Brasília Lago Norte (Fonte: Acervo CTRS, 2008).

Os *sheds* são uma característica marcante nos hospitais, tendo como principal função favorecer a ventilação e a iluminação natural. Esses elementos foram modificados a cada novo projeto. Na tabela 2 são apresentados os principais hospitais e a evolução na sua geometria.

Tabela 2 - Evolução dos *sheds* nos hospitais da rede Sarah



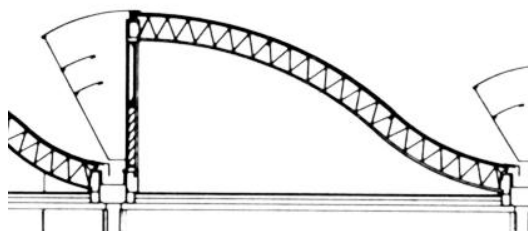
BRASÍLIA

Em 1980 no hospital Sarah de Brasília, o primeiro da rede, diferente da maioria dos hospitais da rede, esse edifício é vertical, possuindo sheds somente no térreo, subsolo 1 e subsolo 2. Elementos fabricados em ferro-cimento notamos um desenho mais retilíneo e mais contido, onde as curvas leves e soltas ainda não existiam.



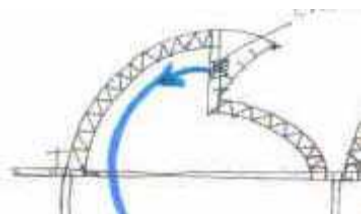
SÃO LUÍS

O formato do *shed* é parecido com o de Salvador. No entanto, os sheds foram adaptados e construídos no sistema convencional em concreto. Assim, a geometria desses elementos ficou completamente diferente do de Salvador.



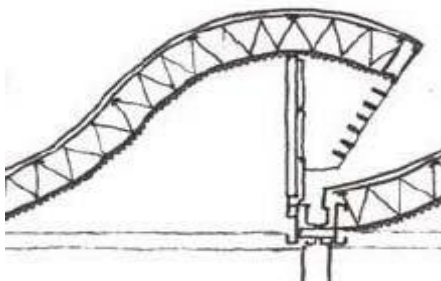
SALVADOR

Projetado nos anos 80, o Sarah de Salvador só foi concluído em 1994. Nesse caso os Sheds estão localizados a sotavento, favorecendo o efeito de sucção. Possui uma testeira externa para proteção da radiação solar direta. Os sheds já possuem um formato mais curvo e solto.



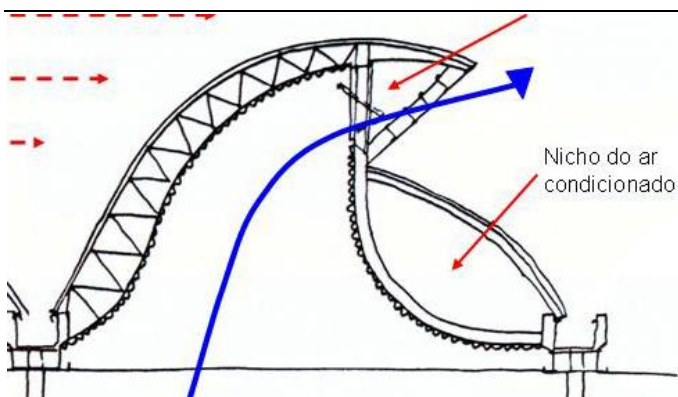
FORTALEZA

A curvatura desse shed se apresenta bem diferente do existente no Sarah de Salvador. A forma côncava do shed de Salvador se transformou em uma superfície convexa a fim de evitar a entrada da radiação de calor para dentro do shed.



BRASÍLIA LAGO NORTE

Formado por uma treliça única, o shed avança em balanço formando uma testeira. Brises na boca do shed barram a incidência da radiação solar direta.



CENTRO INFANTIL DO RIO DE JANEIRO

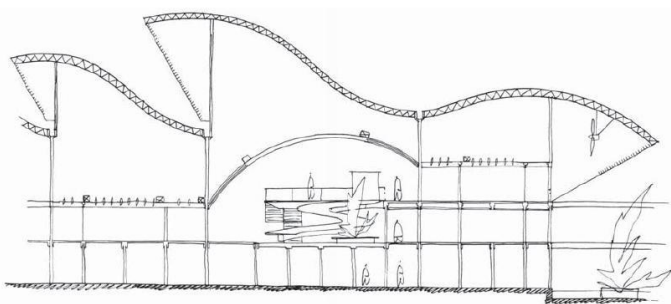
Nesse hospital tem-se um desenho mais

evoluído. A treliça é uma peça única com seção variável e seu balanço também faz a função da pestana. Surge outra curva sobre a superfície convexa, em formato invertido, gerando um entre-forro que serve de duto do sistema de ar condicionado. O desenho dos sheds permite a integração com o sistema de ar condicionado. No eixo central do shed cria-se um pé direito maior, cujo vão superior serve para a entrada da luz natural. No pé direito menor do shed, encontram-se os difusores por onde o ar é insuflado.



BELÉM

Inaugurado em 2007, é o centro de reabilitação que antecede o hospital do Rio. Possui uma conformidade diferente, aparecendo sheds com formatos desuniformes, sendo alguns maiores e outros menores. Os sheds continuam presos ao edifício, no entanto possuem geometrias maiores e mais soltas.



RIO DE JANEIRO

Possui um desenho totalmente diferenciado dos outros edifícios da rede. Nesse caso, os sheds são orientados a barlavento para captar os ventos Predominantes. Projetaram-se grandes coberturas com sheds totalmente solta e independente dos ambientes internos, como se fossem árvores sombreando o edifício e filtrando a luz natural. Entre essa cobertura externa e os ambientes internos têm-se forros móveis de policarbonato translúcidos. É a geometria que possui mais flexibilidade.

Fonte: (Péren, 2006 adaptado por Lukiantchuki, 2010)

4.1. Captadores e extratores de vento

Uma das estratégias existentes para incrementar a ventilação natural em edificações é o uso de captadores de vento. Consistem em dispositivos na forma de dutos verticais com aberturas situadas acima do nível da cobertura das edificações, podendo funcionar tanto como entrada (captadores), quanto como saída do fluxo de ar (extratores), dependendo da configuração dos mesmos e da edificação em relação à direção do fluxo de ar.

Os captadores de vento já vêm sendo empregados há bastante tempo em edificações de regiões de clima quente, como partes da África e do Oriente Médio, com bastante

sucesso (LECHNER, 1991). Esses elementos arquitetônicos, constituídos por torres verticais com aberturas na sua parte superior e inferior, têm a função de captar os ventos, numa altura onde há uma carga menor de poeira, a temperatura é mais baixa e a velocidade mais acentuada e redirecioná-los para os ambientes interiores, aumentando o movimento de ar nesses locais (Bittencourt, 2006), conforme mostra a figura 12.



Figura 12: Captadores de vento no Irã (Fonte:TIA Student Competition,2002).

Em regiões quentes e úmidas o conforto térmico depende, em elevado grau, do adequado aproveitamento da ventilação natural. Os captadores de vento localizados acima das coberturas dos edifícios se apresentam como interessante solução, uma vez que captam o vento em local onde a velocidade do vento é maior (devido à maior altura) e onde a densidade das obstruções à circulação do vento é menor (CHANDRA, 1989).

A eficácia dos captadores de vento foi examinada, visando explorar o potencial desses componentes para melhorar a ventilação no interior das edificações, mostrando que os mesmos podem ser incorporados em edificações modernas de maneira eficiente e esteticamente adequada (BAHADORI, 1981; BOWEN, 1981).

Estudos realizados com simulação computacional analisaram o potencial de utilização das torres de caixas d'água como captadores de vento para auxiliar na ventilação de

habitações populares (LÔBO, 2001; BITTENCOURT, 2001). Os resultados demonstraram que ao adotar a captação de ventos pela caixa d'água, a média da velocidade do vento interna mostrou um incremento da ordem de 100% nos ambientes das salas, em relação ao modelo onde não foi utilizado esta estratégia.

Outra solução no nível do telhado, adotada nos Hospitais da Rede Sarah, foi obtida através de grandes aberturas, que podem funcionar como extratores (figura 13) ou captadores de ar (figura 14), dependendo de sua localização em relação à direção do vento.



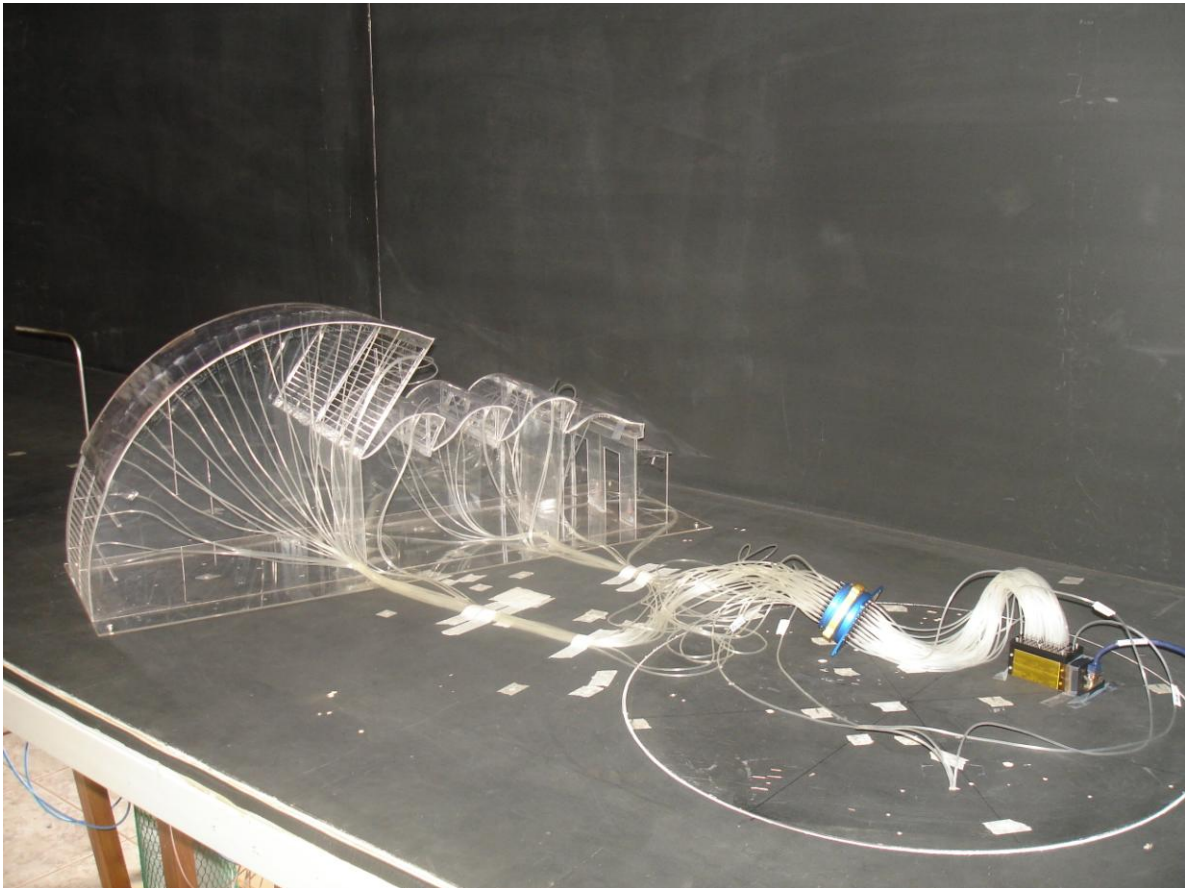
Figura 13: Exemplos de sheds funcionando como extratores de ar, (a) Sarah de Salvador e (b) Sarah de Fortaleza (Fonte: www.sarah.com.br, 2010)



Figura 14: Exemplos de *sheds* funcionando como captadores de ar, (a) Sarah Rio de Janeiro e (b) Sarah de Brasília Lago Norte (Fonte: www.sarah.com.br; 2010).

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA



5. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nas seguintes etapas:

- Levantamento dos climas das cidades de Belém e Brasília através do programa Analysis Bio.
- Levantamento dos projetos dos dois Hospitais da Rede Sarah: Brasília Lago Norte e Belém.
- Construção das maquetes: Foram construídos modelos reduzidos referentes ao ambulatório e a enfermaria dos Hospitais Sarah localizados nas cidades de Brasília e Belém.
- Realização dos ensaios de medidas de velocidade.
- Realização dos ensaios de medidas de pressão.
- Análise dos resultados obtidos nos testes.

5.1. Levantamento dos climas das cidades de Belém e Brasília através do programa Analysis Bio.

Essas cidades foram escolhidas devido às características climáticas bastante distintas: clima quente seco e quente úmido respectivamente.

A carta bioclimática de Givoni estabelece como zona de conforto térmico para o ser humano para países em desenvolvimento temperaturas de 18º C a 29º C e umidade relativa do ar de 20% a 80%.

Para análise do clima foi adotado o Programa Analysis Bio, desenvolvido pelo LABEEE/UFSC que trabalha com os dados climáticos das 8760 horas do TRY (*Test Reference Year*), a partir destes dados são plotados os valores de temperatura e umidade na carta psicométrica visando indicar as estratégias mais apropriadas para obtenção de conforto para cada período do ano.

5.2. Hospitais da Rede Sarah: Brasília Lago Norte

5.2.1. O clima na cidade de Brasília

Segundo Lamberts et al., 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 °C. A latitude é de 15º 52' e altitude de 1060m. A temperatura de bulbo seco média é de 15,4ºC e a máxima de 27ºC. A umidade relativa média anual é de 73% (RORIZ, 1999).

Conforme a NBR15220, Brasília se encontra na Zona Bioclimática 4 (figura15).

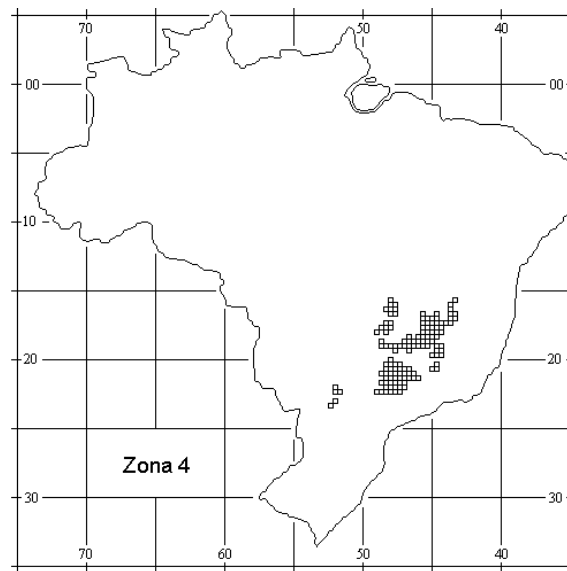


Figura 15- Localização das regiões que compõem a Zona Bioclimática 4 (Fonte:NBR15220)

A carta bioclimática (figura 16) obtida através do TRY para Brasília mostra as condicionantes climáticas.

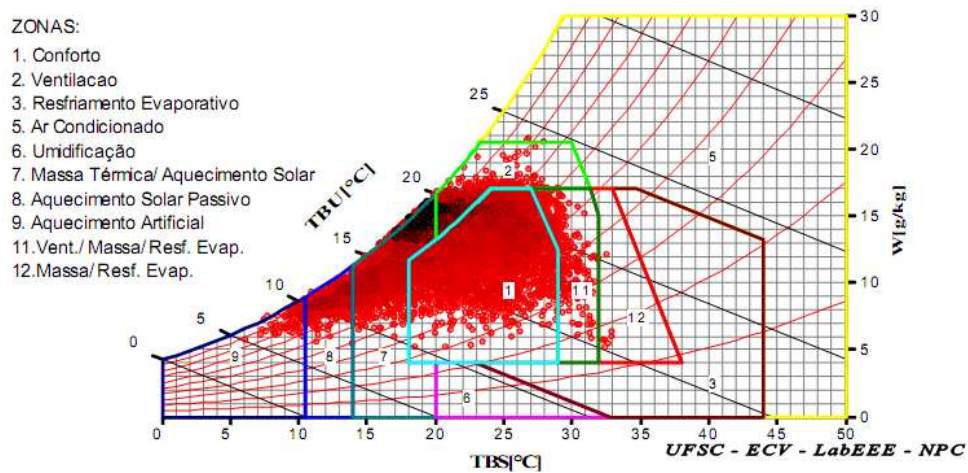


Figura 16 - Carta Bioclimática com TRY da cidade de Brasília Fonte: Programa Analysis Bio

O relatório final, emitido pelo Analysis Bio, mostra que para Brasília o conforto térmico representa 41,4% do total de horas do ano, o desconforto por calor está presente em 17,4% das horas e por frio em 41,2%. Estas condicionantes climáticas deixam a cidade 58,6% do tempo fora da área de conforto estabelecida pela carta bioclimática.

As estratégias fundamentais a serem adotadas no projeto são: ventilação natural (14,1%) massa térmica / aquecimento solar (34,1%), aquecimento solar passivo (6,16%) e quando este é insuficiente, necessário o aquecimento artificial (1%).

Nos períodos quentes a ventilação natural é a estratégia bioclimática mais indicada, nos períodos frios, a massa térmica para aquecimento e o aquecimento solar passivo são indicados em 40,26% das horas do ano.

Brasília possui predominância de ventos leste, com velocidade média anual de 3,1m/s. Utilizando -se o Programa Sol-Ar do Labeee (Labeee, Programa Sol-Ar,2005), obtem-se as velocidades e freqüências de ocorrência de ventilação na cidade de Brasília conforme as figuras 17 e 18.

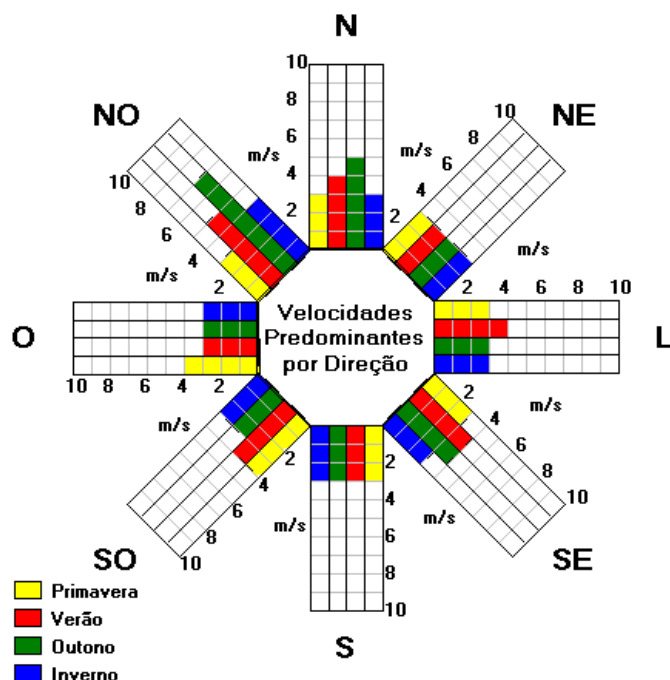


Figura 17– Velocidades dos ventos predominantes Fonte: Programa Sol-Ar, Labeee

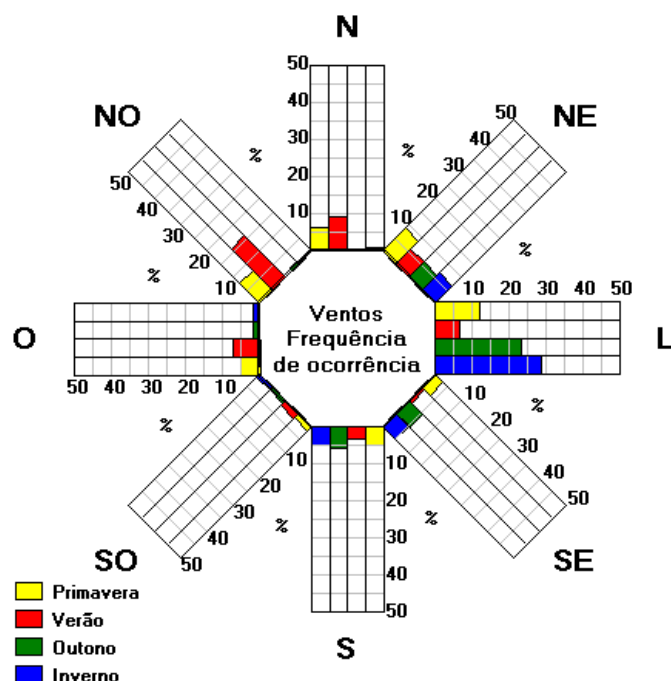


Figura 18- Brasília – Frequência dos ventos predominantes Fonte: Programa Sol-Ar, Labeee

5.2.2. Implantação

Como o tratamento de pacientes com doenças do aparelho locomotor exige áreas para a reabilitação, em 2003, surge o Centro de Apoio ao Grande Incapacitado Físico do Lago Norte, uma unidade complementar ao Sarah Brasília, possibilitando a realização de atividades de reabilitação (LIMA, 1999).

O conjunto arquitetônico se estrutura em apenas um pavimento, sendo constituído por diversos espaços interligados e protegidos por uma sucessão de coberturas onduladas, e não possui galerias para a manutenção. 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 de brises fixos, como mostra a figura 19.



Figura 19- Sheds e iluminação natural (Fonte: LIMA, 1999)

Os ventos predominantes provêm do leste, incidindo no hospital com ângulo de 53° (figuras 20 e 21). O módulo em destaque (vermelho) na figura 20 é o módulo da enfermaria, local de grande permanência dos pacientes.

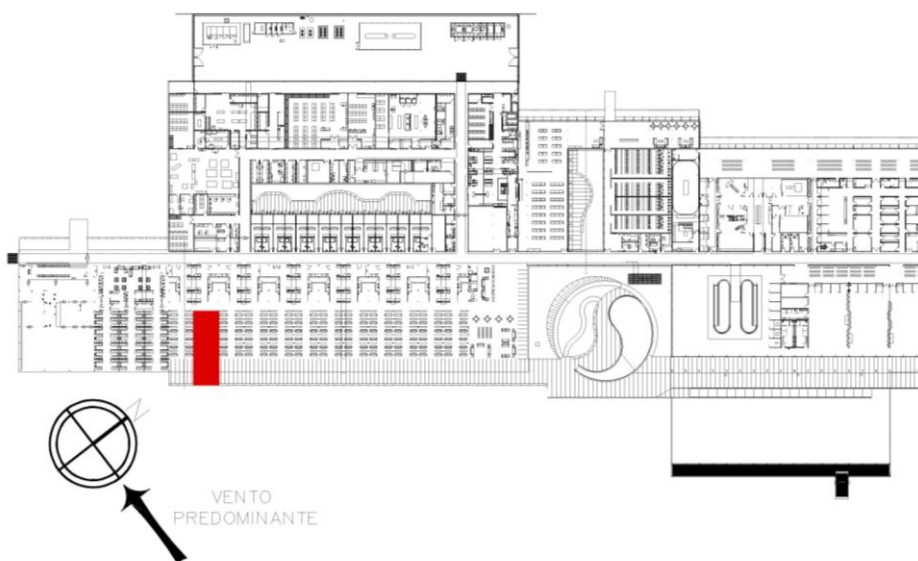


Figura 20 –Implantação – Hospital Sarah Brasília Lago Norte e módulo do ambulatório (destacado em vermelho), (Fonte: Arquivo do CTRS, 2010).



Figura 21 – Foto Aérea do Sarah Lago Norte. (Fonte: www.maps.google.com.br).

5.3. Hospitais da Rede Sarah: Belém

5.3.1. O clima de Belém

Por sua proximidade ao Equador, Belém tem um clima caracteristicamente quente e úmido. A alta pluviosidade e a alta umidade associam-se à alta temperatura durante todo o ano, existindo pouca variação entre as temperaturas diurna e noturna. Nota-se que o clima é demasiado quente e úmido. Para que haja condições confortáveis durante o dia e a maior parte da noite (Castro, 1997), 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, combinados com as temperaturas externas que superam 30°C, possibilita situações extremas de

desconforto térmico. Isso pode ser ainda reforçado pelos altos índices de umidade relativa, que alcança valores médios de 86% durante o ano.

Conforme a NBR15220, Belém está dentro das diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8, como mostra a figura 22 .

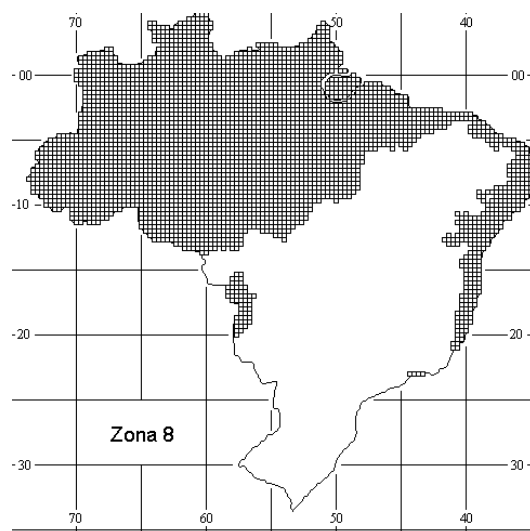


Figura 22 – Localização das regiões que compõem a Zona Bioclimática 8 (Fonte: NBR15220)

Na carta bioclimática (figura 23) de Belém, obtida com o software Analysis Bio verifica-se as condicionantes climáticas.

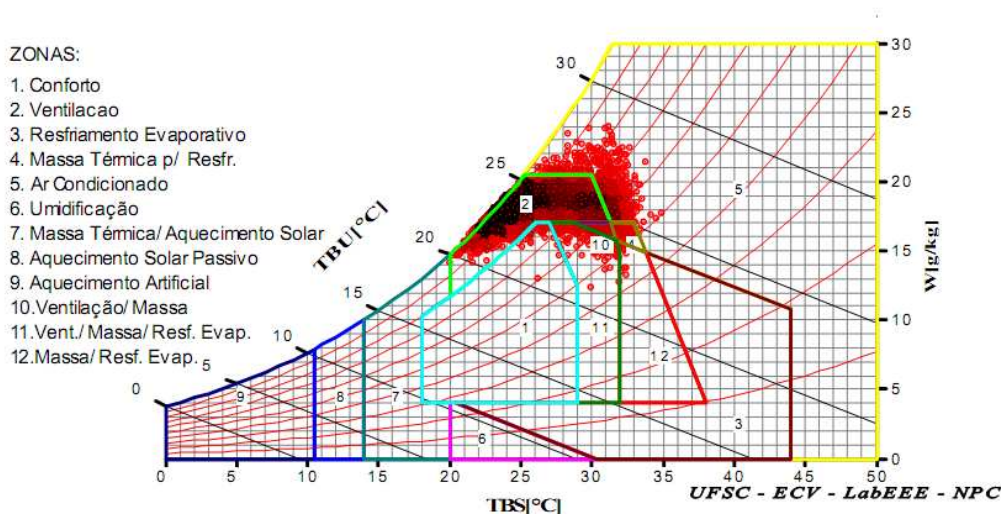


Figura 23- Carta Bioclimática com TRY da cidade de Belém (Fonte: Programa Analysis Bio)

O relatório fornecido pelo Analysis Bio, demonstra que, para Belém, o conforto térmico no ambiente interno é praticamente inexistente, representando 0,706% do total de horas do ano, e o desconforto por calor está presente em 99,1%, sendo causado pelas altas taxas de umidade e altas temperaturas que variam de 22,7 °C a 31,4° C. Estas condicionantes climáticas deixam a cidade fora da zona de conforto estabelecida pela carta bioclimática.

As estratégias fundamentais a serem adotadas no desenho das edificações são: ventilação natural (85,6%). Quando esta é insuficiente, é necessário resfriamento artificial (9.06%), sendo que ambos os casos necessita-se de 100% de sombreamento.

A ventilação é um dos elementos climáticos mais importantes não só pelo conforto mas pela salubridade dos ambientes, por esse motivo um mínimo de ventilação permanente é necessário. Belém possui predominância de ventos leste, seguido de nordeste, com velocidade média de 1,9 m/s (Roriz, 1989).

Utilizando-se o Programa Sol-Ar do Labeee, foram obtidas as velocidades e freqüências de ocorrência de ventilação na cidade de Belém, conforme figuras 24 e 25.

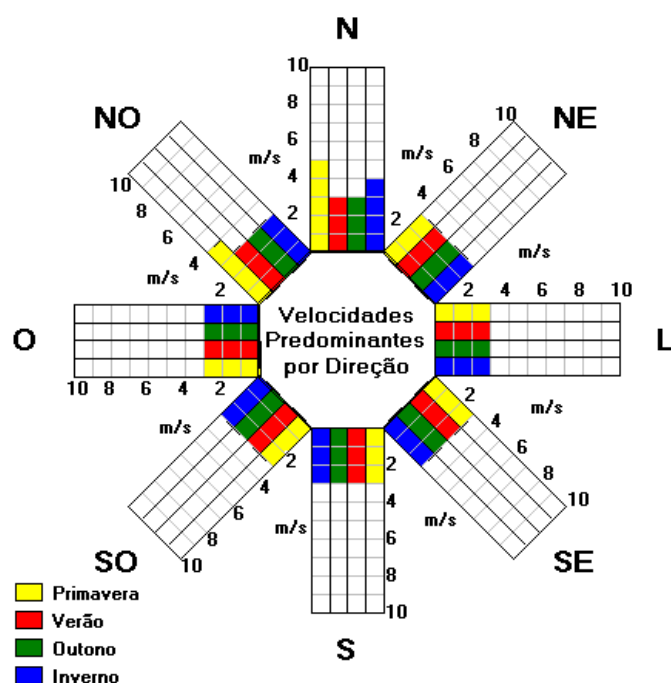


Figura 24 - Belém- Velocidades Predominantes, (Fonte: Programa Sol-Ar, Labeee).

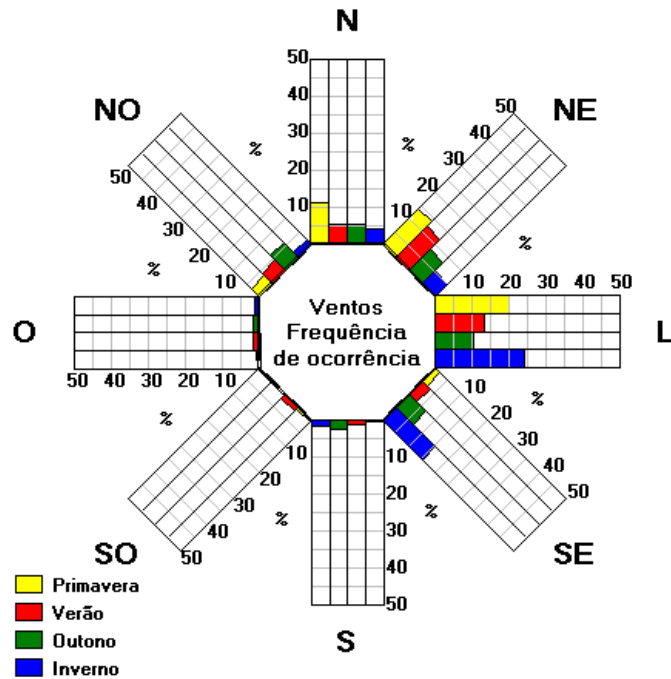


Figura 25 - Belém– Frequência das velocidades do ventos dominantes (Fonte: Programa Sol-Ar, Labeee).

5.3.2. Implantação

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 3268 m² 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 da entrada do sol direto nos ambientes internos.

Os ventos dominantes provêm do leste e nordeste incidindo no hospital a um ângulo de 68 ° (figura 26 e 27).

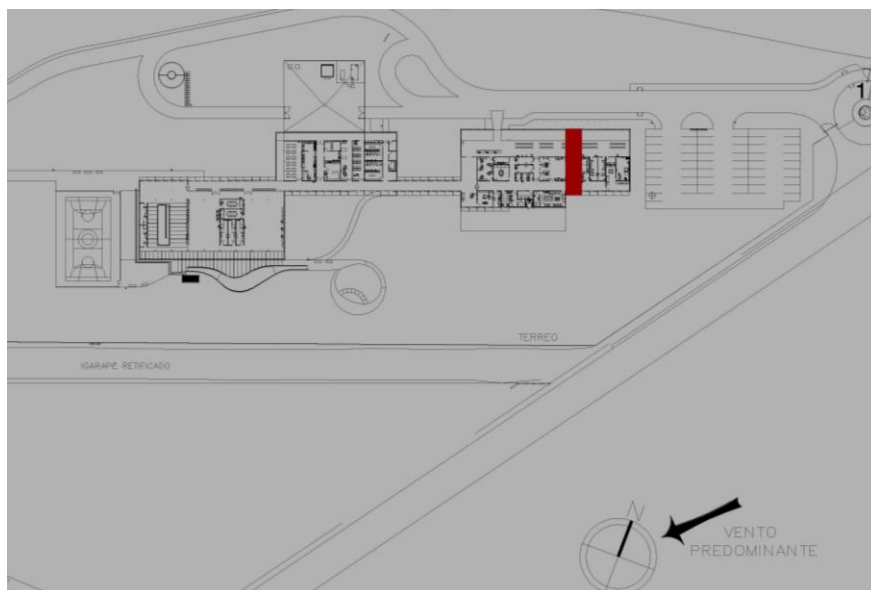


Figura 26 – Implantação do Hospital Sarah de Belém e módulo da enfermaria (destacado em vermelho), (Fonte Arquivo CTRS).

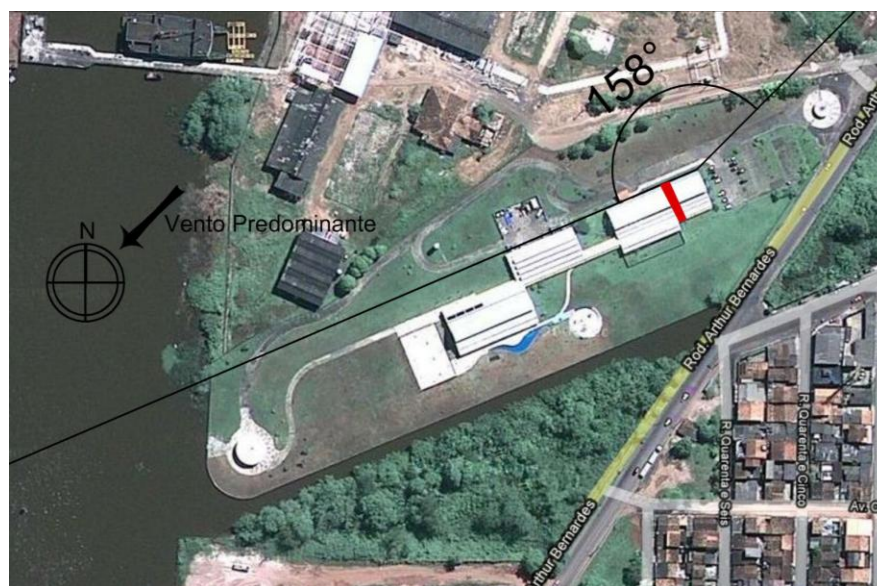


Figura 27- Foto Aérea do Sarah Belém (Fonte: www.maps.google.com.br)

5.4. Construções de maquetes

Foi analisar a eficiência da ventilação natural foram construídas maquetes e ensaios no túnel de vento de camada limite atmosférica. As dimensões da seção de ensaio do túnel de vento são de 0,90m de largura por 0,80m de altura, totalizando uma área transversal de 0,72 m². A maquete deve obstruir até 7% desta área, ou seja, a área frontal da maquete, perpendicular ao vento, deve ser no máximo 0,05 m². Na direção horizontal ao longo do túnel, não há restrições com relação às dimensões. Foram construídas maquetes no Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Unicamp.

Utilizou-se a cortadora a laser e o material utilizado foi o acrílico de 3 mm de espessura, a figura 28 mostra o momento em que foi executado o corte das peças.

As maquetes construídas foram referentes ao ambulatório e à enfermaria destes hospitais (figura 29), por serem locais de grande permanência dos pacientes, levando-se também em consideração a incidência dos ventos dominantes. As escalas utilizadas para a construção de modelos físicos foram adequadas com as dimensões exigidas pela seção de ensaio do túnel.



Figura 28 – Corte dos sheds na cortadora a laser

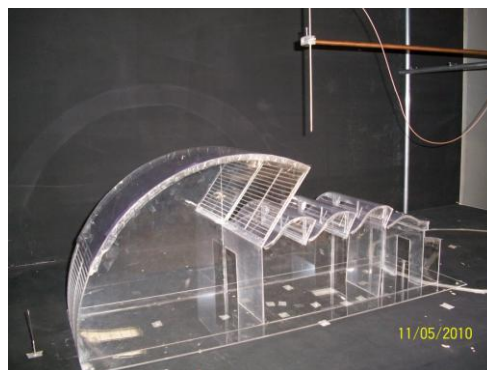


Figura 29- Maquete do Hospital Sarah Belém

Na tabela 3 a seguir apresentam-se os dados referentes a cada modelo físico reduzido.

Tabela 3 – Dados de cada modelo físico

	Hospital de Brasília	Hospital de Belém
Escala	1:30	1:30
Área frontal	0,047m ²	0,045 m ²

5.5. Descrição do Túnel de Vento

O túnel de vento de camada limite atmosférica está montado no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Ele é o mais recomendado para ensaios em edificações, pois sua principal característica é possuir uma câmara de ensaios de grande comprimento em relação a sua seção transversal, permitindo a instalação de obstáculos geradores de turbulência (figura 30) para simular a camada limite atmosférica.

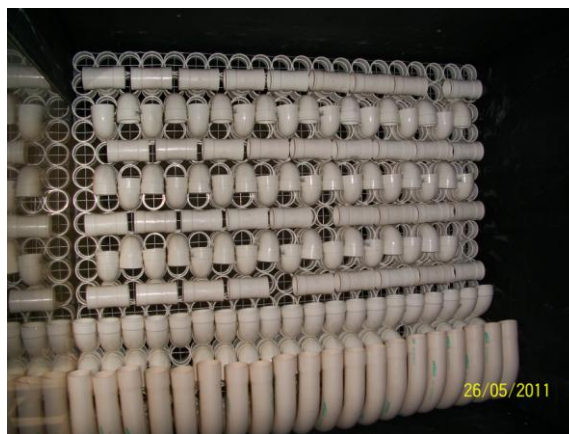


Figura 30- Obstáculo gerador de turbulência.

O túnel tem comprimento de 9,03 m e permite uma boa circulação de ar na entrada e saída de ar do túnel (figura 31). A largura máxima é de 1,70m e altura de 1,90m, seu peso total é de 450 kg. A velocidade máxima, com a seção de ensaios livre, é de 20m/s.



Figura 31 – Foto tirada durante a montagem do túnel de vento de camada limite atmosférica, no Laboratório de Conforto Ambiental, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

No túnel de vento, o ar entra pelo bocal de entrada (figura 32) e passa por duas telas de nylon. Estas telas têm a função de reduzir os grandes vórtices (redemoinhos) que poderiam alcançar o interior do túnel. Logo depois das telas, a seção é reduzida em torno de 6 vezes, a fim de que o escoamento se torne laminar.



Figura 32- Detalhe da contração do bocal na entrada do túnel de vento.

No final da seção de ensaios do túnel está localizado o disco giratório para a fixação das maquetes a serem ensaiadas, conforme ilustra a figura 33.



Figura 33– Mesa giratória, com 0,50m de diâmetro.

No interior do túnel o escoamento sofre perda de pressão, devido ao atrito ao longo da seção de ensaio. Ajustando a altura do teto do túnel, dividido em três trechos, consegue-se manter constante a pressão nos nove pontos existentes ao longo da seção de ensaio. Na figura 34 tem-se uma vista geral externa do teto da seção de ensaio do túnel.



Figura 34– Vista geral do teto do túnel de vento

A tabela 4 apresenta um resumo dos dados do túnel de vento.

Tabela 4- Dados do túnel de vento

<i>Bocal de entrada: 2,20 m de largura x 1,95 m de altura (área de 4,20 m²).</i> - Duas telas de <i>nylon</i> com malhas quadradas de 1,5 mm, acopladas ao bocal de entrada. - Seção de contração: 2,36 m de comprimento. - Razão de contração entre o bocal de entrada e a seção de ensaios: 5,96. - Seção de ensaio: 0,90 m de largura x 0,80 m de altura (área de 0,72 m²). - Comprimento da seção de ensaio: 4,80 m. - Disco giratório para fixação da maquete na seção de ensaio: 0,50 m de diâmetro. - Comprimento do difusor: 1,87 m. - Diâmetro das pás do ventilador: 1,20 m (16 pás). - Diâmetro da saída do túnel de vento: 1,25 m. - Motor: tensão 220 V, trifásico; potência: 12,5 HP; Frequência de rotação nominal: 860 rpm; vazão: 52.000 m³/h. - Nove pontos de medida de pressão estática no teto da seção de ensaios. - Inversor de frequência de 15 HP para controlar a frequência de rotação do motor. - Comprimento total do túnel: 9,03 m. Velocidade máxima de projeto na seção de ensaio: 20 m/s a 850 rpm.

5.6. Limite de Velocidade

A faixa de velocidades permitidas para a realização dos ensaios no túnel de vento na escala escolhida, considerando-se um modelo físico com as dimensões mostradas na figura 35a, é dada pela equação 13 (TOLEDO, 1999).

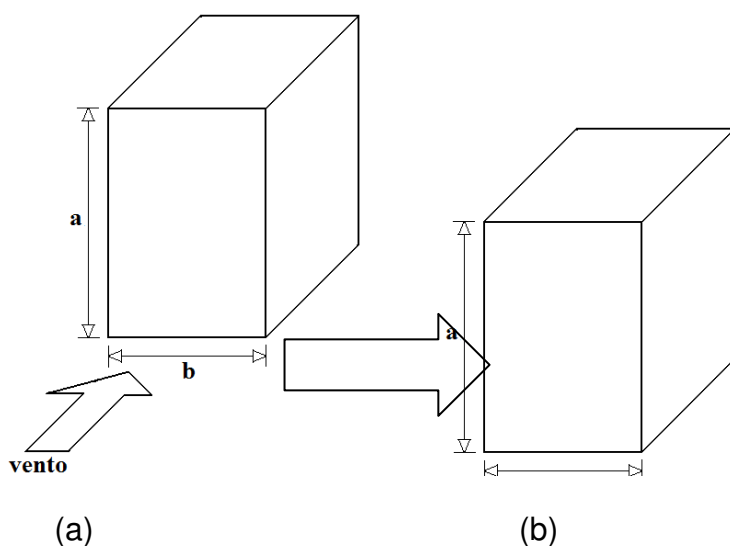


Figura 35 –(a) Dimensões frontais do modelo físico em relação ao vento incidente.

(b) Dimensões frontais do modelo físico em relação ao vento perpendicular.

$$\frac{0,25}{ra} \leq V \leq \frac{12,5}{ra} \quad (13)$$

a = altura do modelo da edificação (em m).

b = largura do modelo da edificação (em m).

V = velocidade do vento no túnel (em m/s).

A_m = área frontal do modelo físico da edificação que o “vento enxerga” (em m²). Se a incidência do vento for perpendicular à superfície frontal do modelo físico,

$$A_m = a \times b$$

P = perímetro frontal do modelo físico (que o “vento enxerga”), tangenciado pelo vento (em m). Se a incidência do vento for perpendicular (figura 35b), $p = a + b + a$

O raio aerodinâmico do modelo: r_a é dado por:

$$r_a = \frac{2A_m}{p}$$

5.7. ENSAIOS NO TÚNEL DE VENTO

A velocidade do vento na seção de ensaio, antes de atingir os modelos reduzidos, foi determinada utilizando o anemômetro de fio quente instalado no piso do túnel de vento. No interior dos modelos reduzidos foram instalados os anemômetros de fio quente no piso e na saída dos *sheds*.

A uniformidade do escoamento médio no tempo, na seção do ensaio, foi avaliada medindo-se a velocidade com anemômetro de fio quente em vários pontos, ao longo da largura e da altura da seção de ensaio, de acordo com o proposto por (CARRIL JR, 1995).

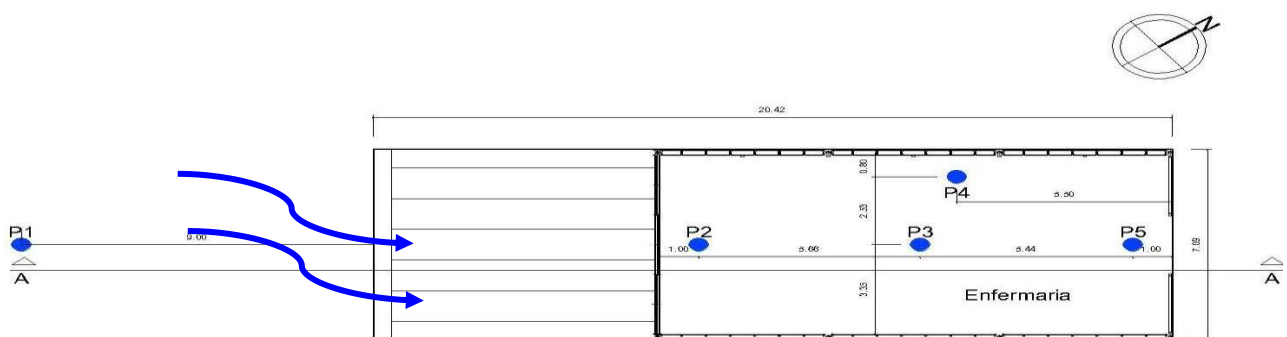
Outros parâmetros, como pressão e coeficiente de pressão foram determinados utilizando-se utilização do *scanner* de pressão com 64 canais. Os locais nas faces da edificação onde se deseja medir a pressão, foram perfurados e instalados finos tubos plásticos com diâmetro interno de 1 mm e cada tubo conectado a um tubo do *scanner* de pressão.

5.7.1. Medidas de velocidade

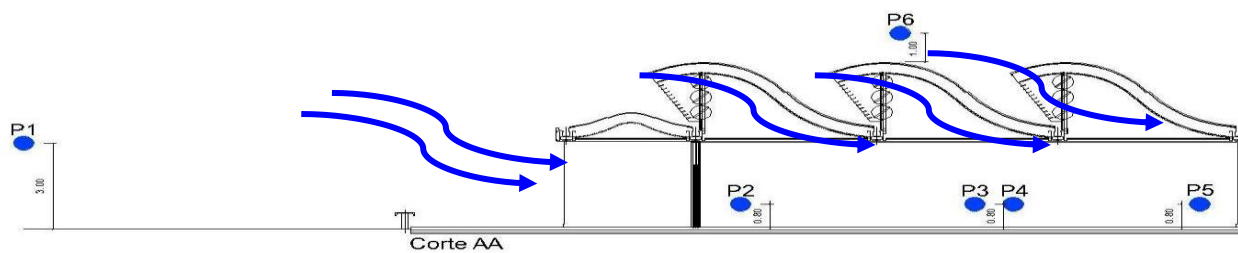
Para medir a velocidade interna das maquetes no túnel de vento, foram instalados no interior das maquetes quatro sensores miniaturas do anemômetro de fio quente – Multichannel Dantec- (OWER, PANKHURST,1977), através de furos na parte inferior dos modelos. Os sensores internos foram localizados a uma altura, equivalente na escala real, de 80cm a partir do piso, altura referente ao paciente deitado na cama – maca, conforme mostram as figuras 36 e 37.

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 conhecer o valor da velocidade do vento próximo aos *sheds*, um sensor foi instalado na parte superior externa da maquete, conforme ilustra as figuras 38a e 38b.

As maquetes foram posicionadas dentro do túnel de vento levando em consideração a incidência dos ventos dominantes.



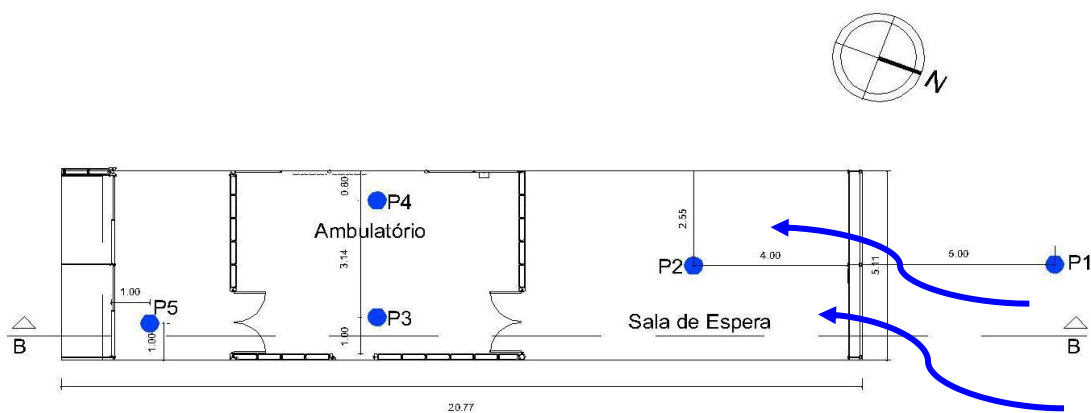
(a)



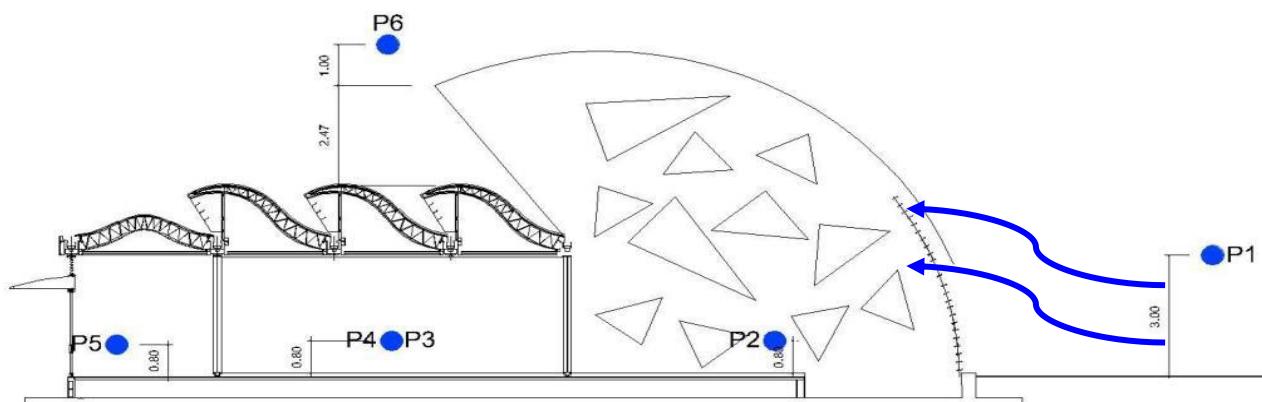
(b)

Figura 36- Localização dos pontos de medidas no Hospital Brasília (Fonte: [Arquivo CTRS](#))

(a) em planta; (b) em corte.



(a)



(b)

Figura 37: – Localização dos pontos de medidas no Hospital Belém (Fonte: [Arquivo CTRS](#))

(a) em planta; (b) em corte.



(a)



(b)

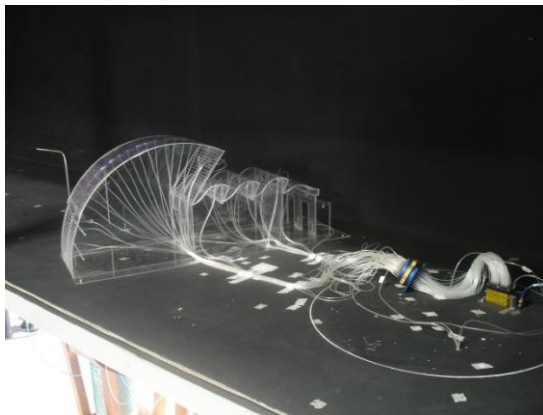
Figura 38: Maquetes instrumentadas (a) Sarah Lago Norte (b) Sarah Belém.

5.7.2. Medidas de pressão

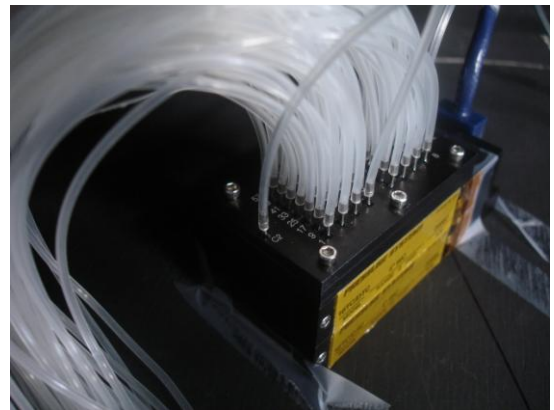
A distribuição de pressão nas superfícies da edificação foi quantificada com o *scanner* de pressão. Os locais nas faces da edificação, onde foi medida a pressão, foram perfurados e instalados finos tubos plásticos com diâmetro interno de 1mm e cada tubo conectado a um tubo numerado do *scanner* de pressão (64 pontos).

O *scanner* foi conectado a uma placa de aquisição de dados, instalada no computador e, desta maneira, a diferença de pressão em cada ponto ($p_{\text{ponto}} - p_{\text{ref.}}$) nas faces foi obtida. Com as diferenças de pressões foi obtido o coeficiente de pressão em cada ponto solicitado. A frequência interna de aquisição de dados para os dois ensaios foi de 325 Hz, padrão para esse equipamento.

A figura 39a mostra a instalação interna dos tubos plásticos e a figura 39b, as conexões com o *scanner* de pressão.



(a)



(b)

Figura 39: (a) Exemplo de instalação interna dos tubos plásticos conectados ao *scanner*, para medida de pressão (b) Vista superior mostrando o scanner de pressão.

Na maquete do hospital Sarah Brasília Lago Norte foram instalados 47 pontos internos e 2 pontos externos: para a pressão total e pressão estática no tubo de Pitot. O tubo de Pitot está posicionado antes do modelo a ser ensaiado, a uma altura de 40 cm do piso do túnel.

Tomou-se como referência para as tomadas de pressão a pressão estática do túnel de vento. Os pontos da figura 40 correspondem aos pontos de medição da entrada e da saída do vento, esses pontos estão posicionados na altura de 80cm do piso.

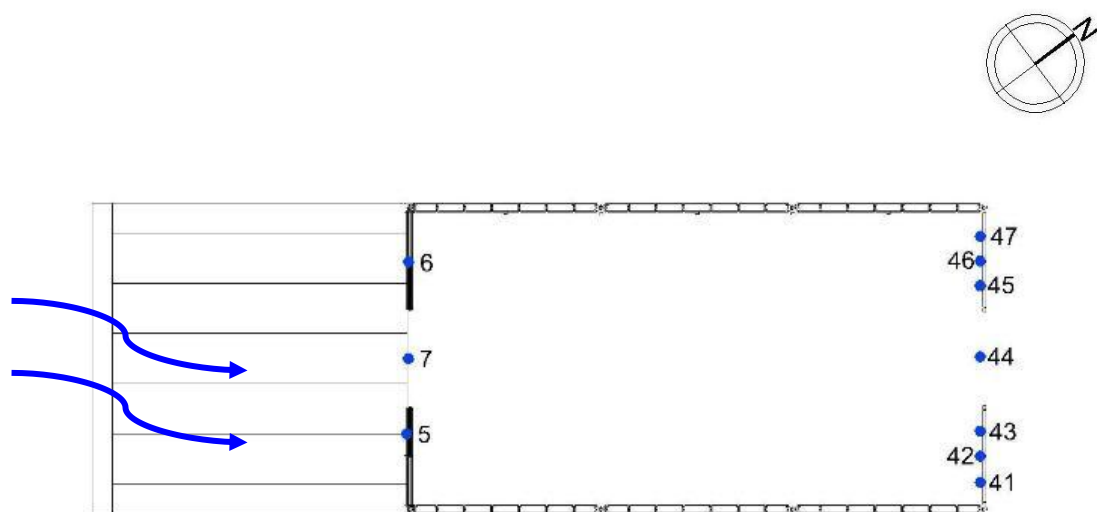


Figura 40: Pontos de medição localizados na altura de 80cm do piso

Nas saídas dos *sheds* foram instalados 3 pontos de medição em cada entrada como ilustra a figura 41, a fim de analisar o desempenho do hospital quando funciona como captador de ar. Os demais pontos para medida de pressão foram instalados nos *sheds* (figura 42).

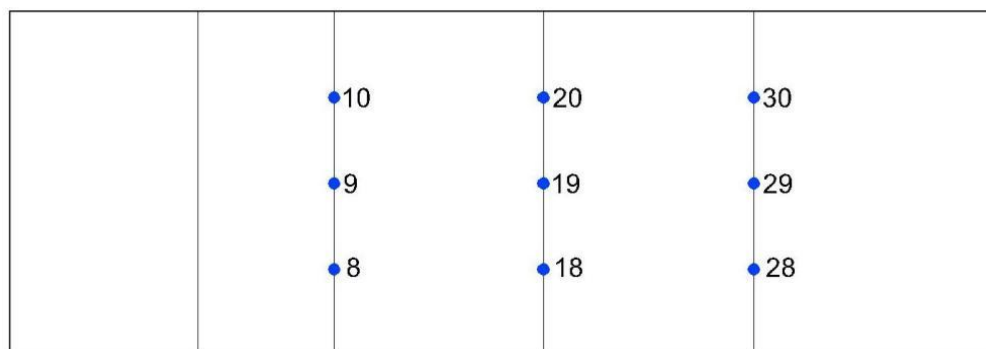


Figura 41: Pontos de medição localizados nas saídas dos *sheds*

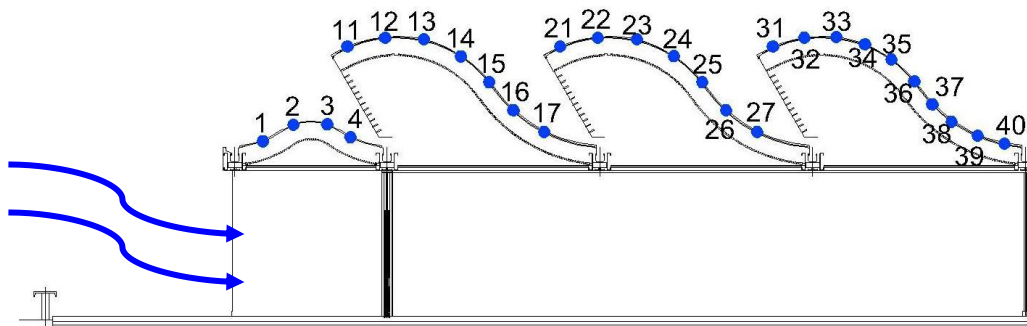


Figura 42- Pontos de medição localizados nos *sheds*.

Na maquete do hospital Sarah Belém foram instalados 48 pontos de pressão internos e 2 externos. Os pontos da figura 43 correspondem aos pontos localizados no piso a 80cm de altura.

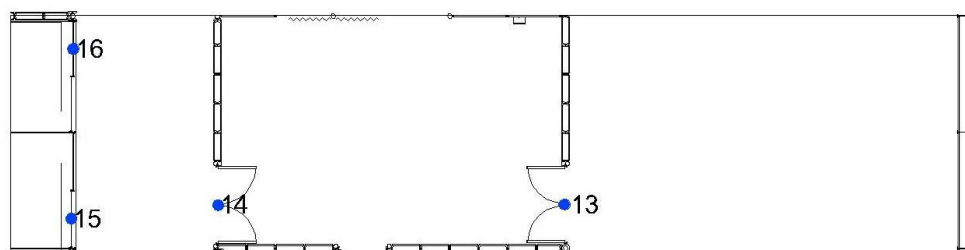


Figura 43- Pontos de medições localizados a 80cm do piso.

Os pontos 1, 2, 3 e 4 da figura 44 são os pontos da entrada de ar. Os pontos do 5 ao 12 localizam-se nas saídas dos *sheds* .

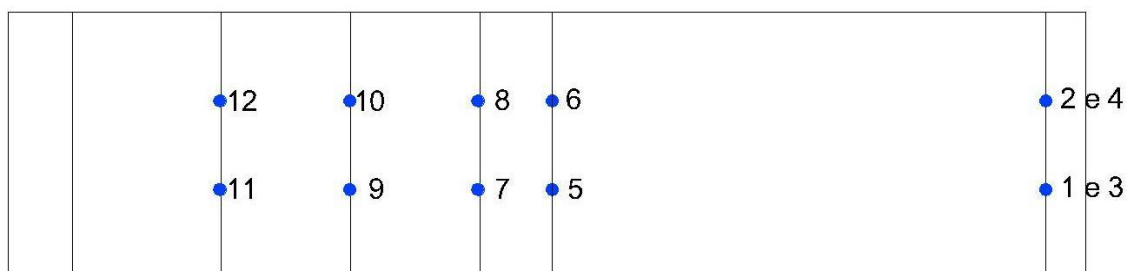


Figura 44- Pontos de medições na entrada e saída dos sheds.

A figura 45 mostra os demais pontos localizados nos *sheds* que neste hospital funcionam com extrator de ar.

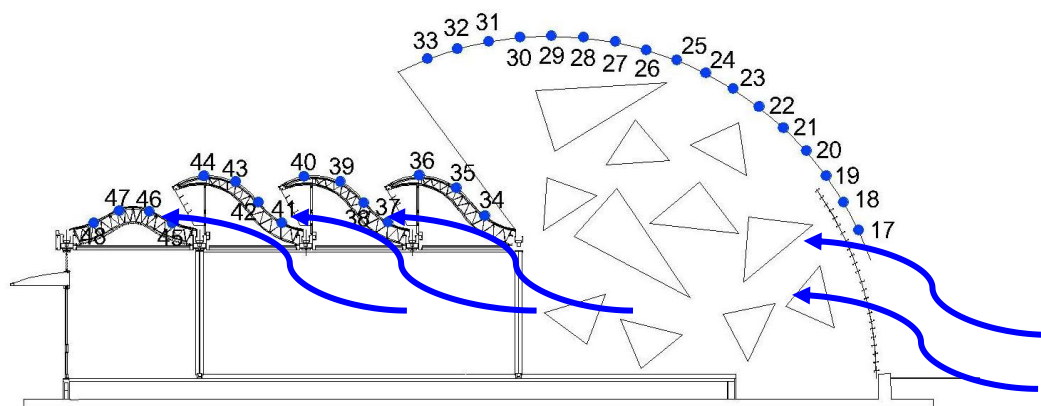
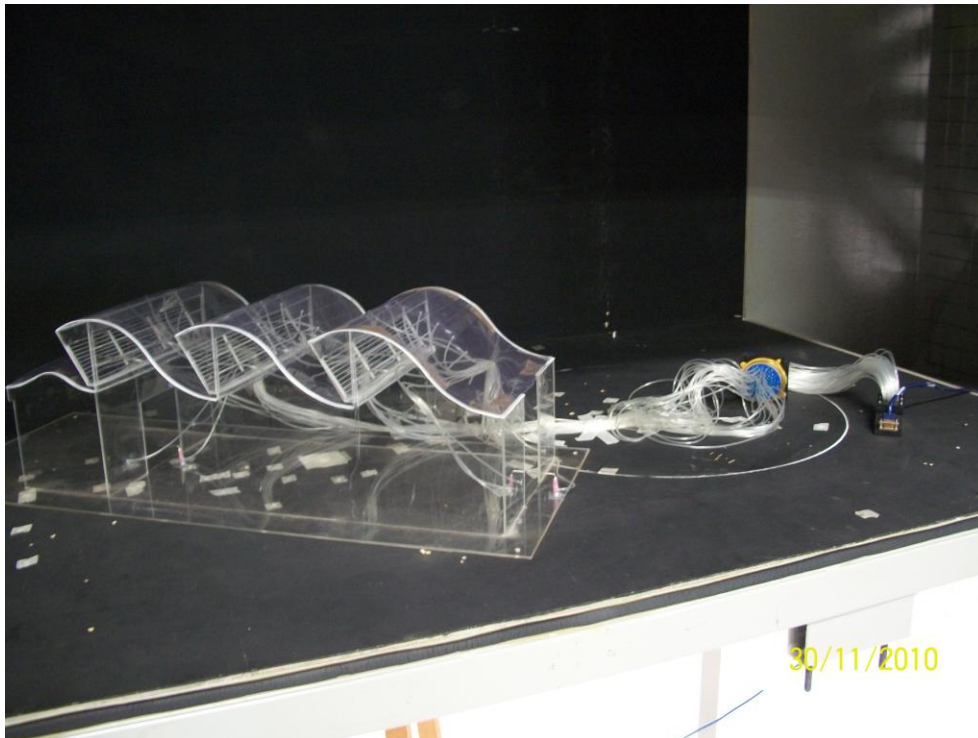


Figura 45- Ponto de medições nos *sheds*.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS



6. RESULTADOS

6.1. Resultados do ensaio de velocidade

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 46a e 46b. 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), estavam 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 49a e 49b 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 pois o escoamento é desviado 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 às dos pontos P3 e P4 porque o ponto P2 está próximo à abertura de entrada, onde 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.

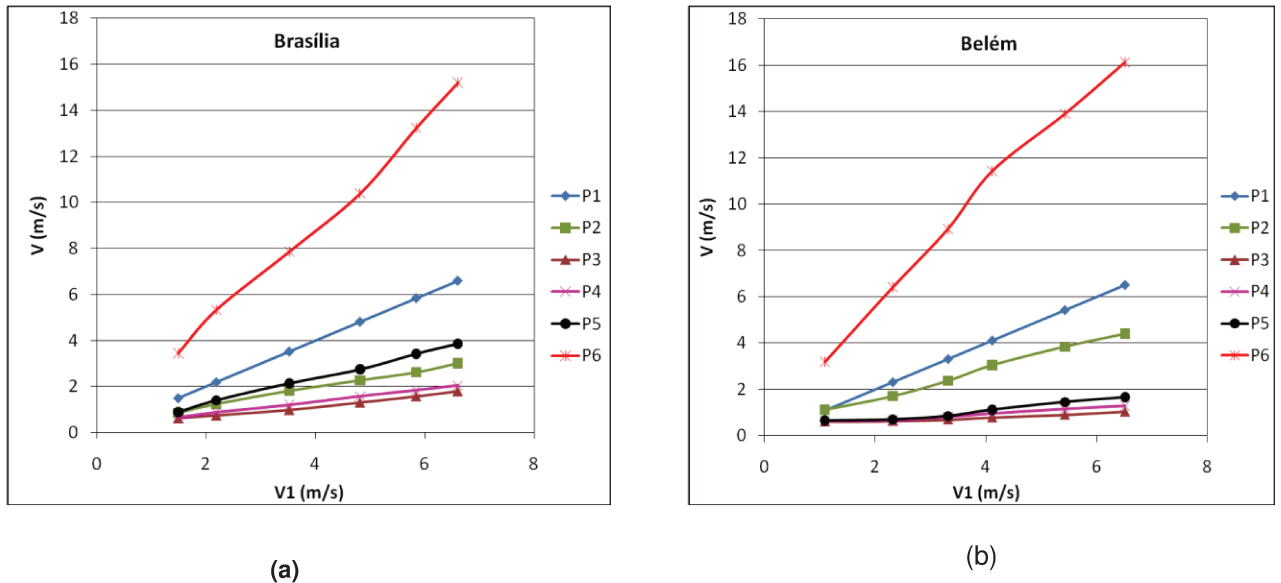


Figura 46-Velocidades no interior e no exterior dos hospitais em função da variação da velocidade na fachada (V_1), para (a) Brasília Lago Norte; (b) Belém.

Os gráficos da figura 47 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 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.

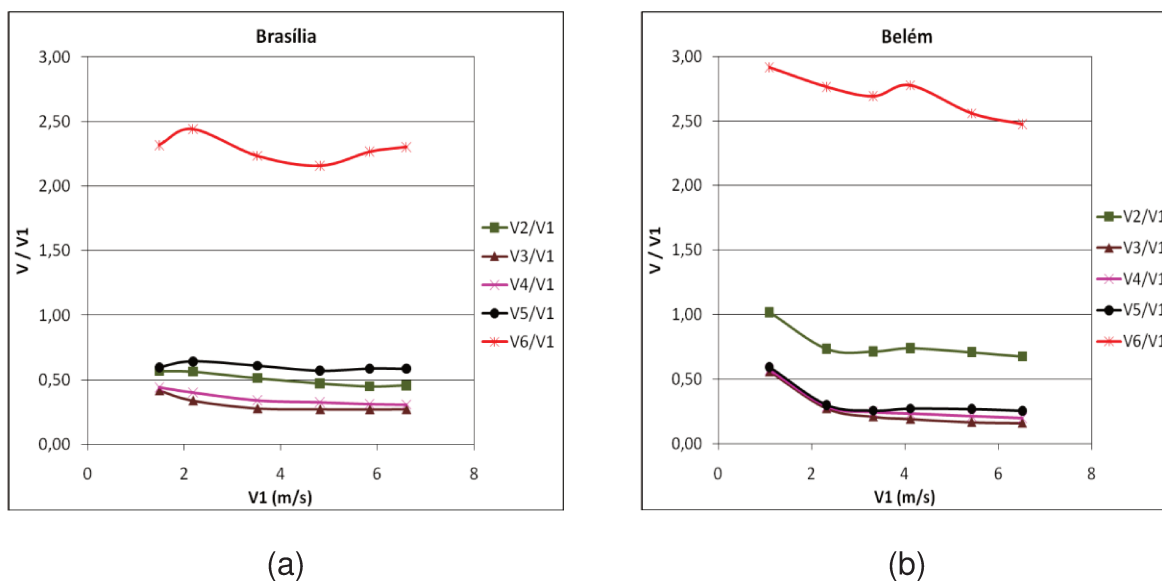


Figura 47- Razão entre as velocidades medidas nos pontos internos e externos e a velocidade na fachada do hospital (V1), em função de V1, para (a) Brasília Lago Norte; (b) Belém.

Os valores da Tabela 5 mostram que, de maneira geral, o hospital de Belém apresenta velocidades internas superiores às do hospital de Brasília Lago Norte.

	RAZÃO MÉDIA EM CADA PONTO INTERNO					RAZÃO MÉDIA PARA O HOSPITAL
	V2/V1	V3/V1	V4/V1	V5/V1		V/V1
Brasília	0,51	0,35	0,38	0,59		0,46
Belém	0,85	0,36	0,39	0,42		0,50
Diferença (%)	65,0	3,9	2,7	-28,3		10,4

Tabela 5 - Diferença (%) entre as razões médias internas para os hospitais de Brasília e Belém.

Influência da orientação

Para verificar a influência da orientação do hospital de Belém, foi realizado, também, um ensaio no túnel de vento posicionando-se o hospital na direção do vento dominante, incidindo perpendicularmente à fachada. O gráfico da Fig. 48a mostra a velocidade do vento nos seis pontos internos e externos, em função da velocidade na fachada e a figura 48b, a razão entre as velocidades medidas nos pontos internos e externos e a velocidade na fachada do hospital.

Comparando-se os resultados das figuras 48a e 48b com os resultados das figuras 46b e 47b verifica-se que as velocidades para o hospital posicionado na direção do vento dominante são superiores em aproximadamente 23% aos valores para o hospital na posição na qual foi implantado (Tabela 6).

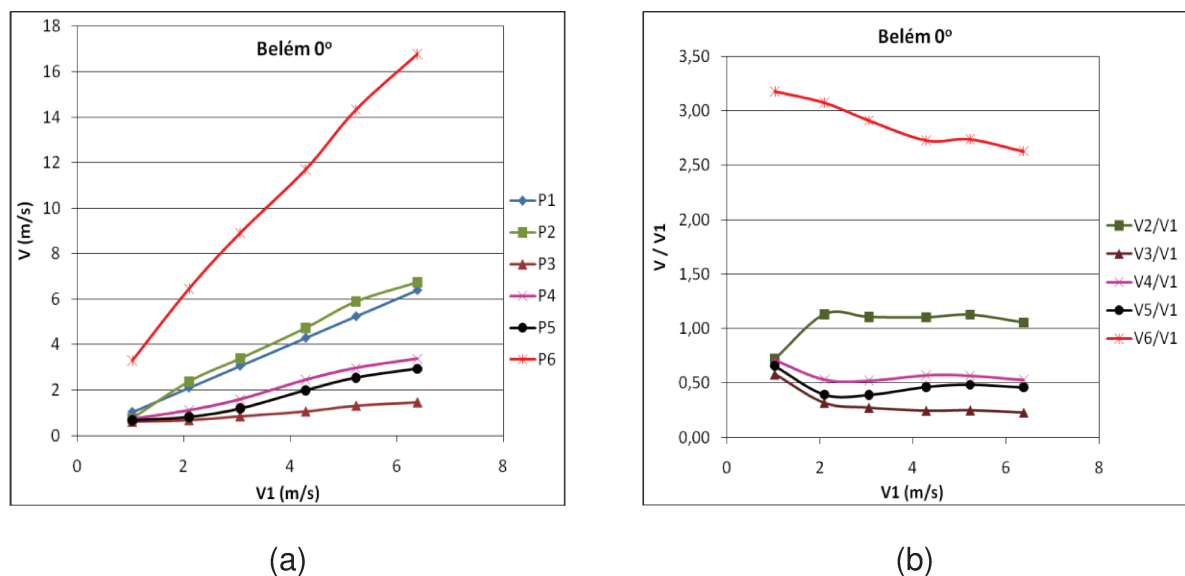


Figura 48- (a) Variação da velocidade do vento nos seis pontos internos e externos, em função da velocidade na fachada do hospital de Belém (V_1); (b) Razão entre as velocidades medidas nos pontos internos e externos e a velocidade na fachada do hospital de Belém (V_1) em função de V_1 .

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 6).

Tabela 6 - Diferença (%) entre as razões médias internas para o hospital de Belém, na direção na qual foi implantada (68°) e na direção do vento dominante (0°).

	RAZÃO MÉDIA EM CADA PONTO INTERNO					RAZÃO MÉDIA PARA O HOSPITAL
	V2/V1	V3/V1	V4/V1	V5/V1		V/V1
Belém 68°	0,85	0,36	0,39	0,42		0,50
Belém 0°	0,89	0,40	0,62	0,56		0,62
Diferença (%)	5,2	12,9	60,4	32,0		22,8

6.2. Resultados dos ensaios de medidas de pressão

Nos ensaios das maquetes dos módulos dos hospitais: Brasília Lago Norte e Belém, as pressões foram medidas em 47 e 48 pontos internos respectivamente.

Os sensores para serem feitas as medidas de pressão na saída dos *sheds* foram posicionados internamente nos modelos reduzidos (Sarah Brasília Lago Norte e Sarah Belém).

Os testes no túnel de vento foram realizados para as seguintes rotações: 180 rpm, 300 rpm, 420 rpm, 540 rpm, 660 rpm e 780 rpm, conforme ilustram as figuras 49 e 50.

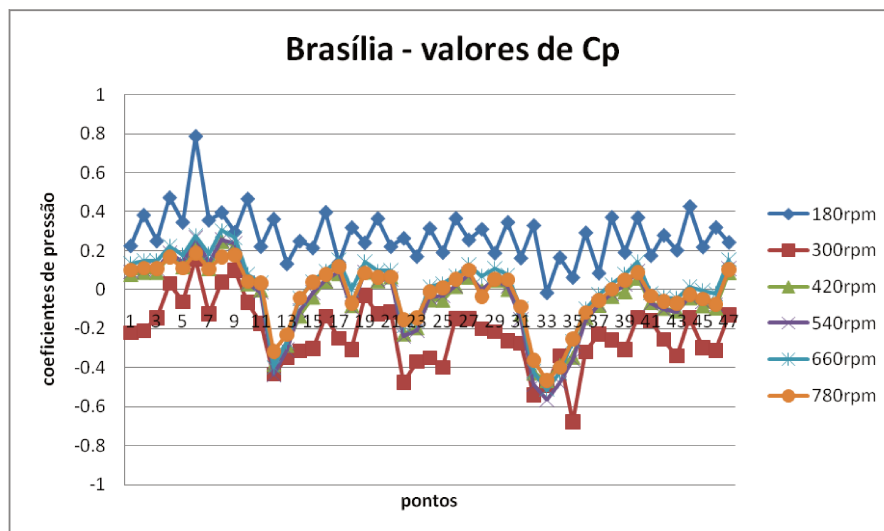


Figura 49- Coeficientes de pressão dos pontos- Sarah Brasília Lago Norte.

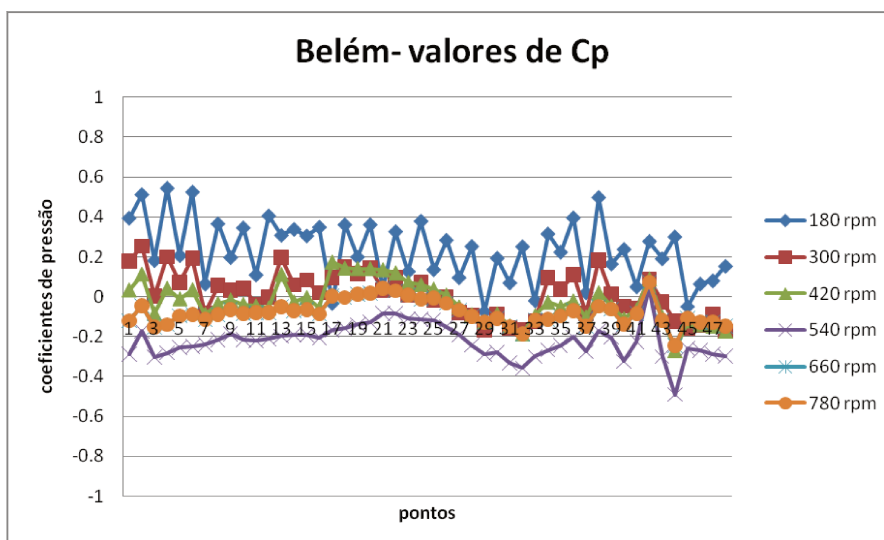


Figura 50-Coeficientes de pressão dos pontos- Sarah Belém

A análise dos pontos dos dois hospitais foi feita levando em consideração a velocidade dos ventos predominantes nas cidades de Brasília e Belém. A partir destes dados optou-se em analisar as rotações em que as velocidades mais se aproximavam dos valores obtidos através programa Sol- Ar, de 420 rpm para Brasília e 300 rpm para Belém. Os valores numéricos obtidos dos coeficientes de pressão são apresentadas no Anexo 1.

As figuras 51 e 52 mostram os resultados dos coeficientes de pressão para os dois hospitais, nos diferentes pontos de medição.

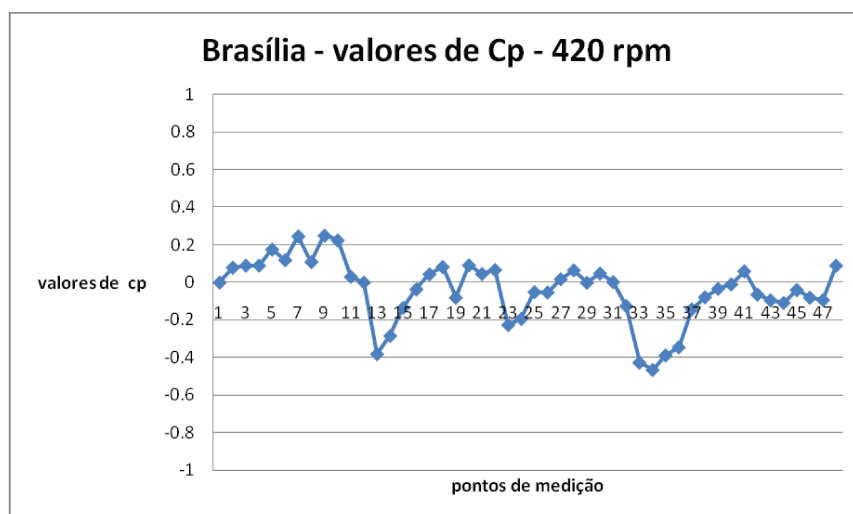


Figura 51- Valores de coeficientes de pressão- Brasília Lago Norte

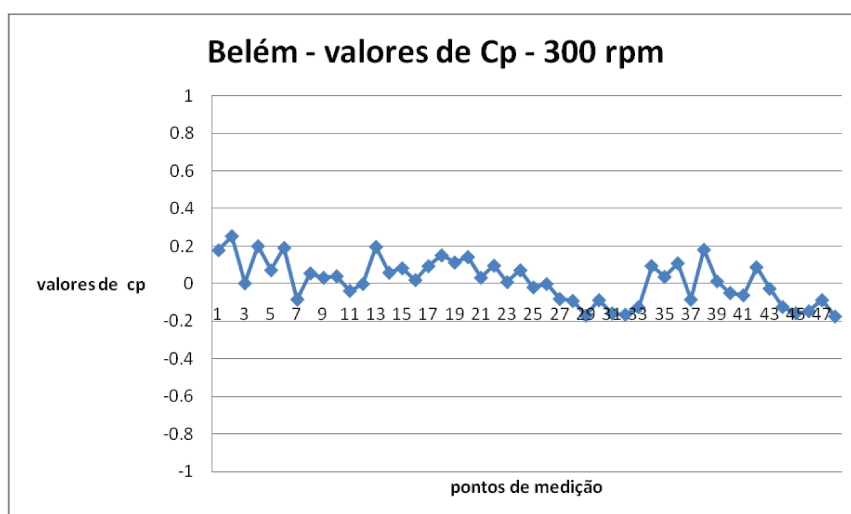


Figura 52- Valores de coeficientes de pressão- Belém

Para uma melhor visualização dos valores dos coeficientes de pressão adotou-se uma escala limite de valores com código de cores conforme ilustra a figura 53. Os valores numéricos obtidos dos coeficientes de pressão juntamente com as curvas de visualização são apresentadas no Anexo 2.

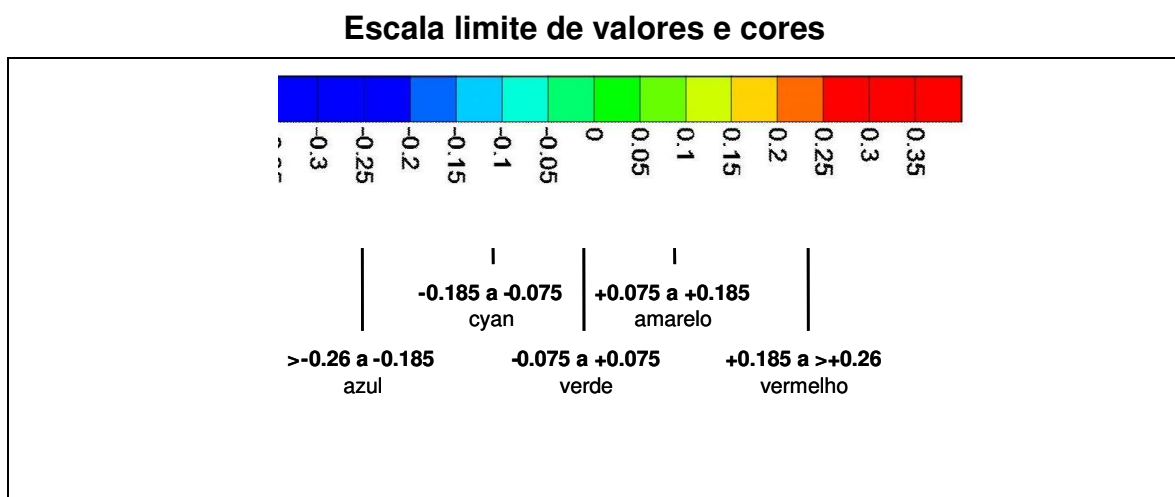


Figura 53 –Legenda com escala de valores adotados

Análise dos coeficientes de pressão: Sarah Belém

Analisando-se os resultados dos coeficientes de pressão da figura 54, observa-se que os valores são sempre maiores no lado esquerdo do modelo físico. Este resultado deve-se ao fato do posicionamento do hospital não estar na direção do vento dominante, o que faz com que o fluxo seja mais intenso no lado esquerdo. Os coeficientes de pressão resultaram em valores positivos, pois a tomada de pressão é frontal ao escoamento (os sensores de pressão estão posicionados contra o fluxo

de ar). Apenas a FACE 5 apresentou coeficientes de pressão negativos, pois o fluxo na saída do último *shed* é menos intenso, devido à proximidade das portas de saída.

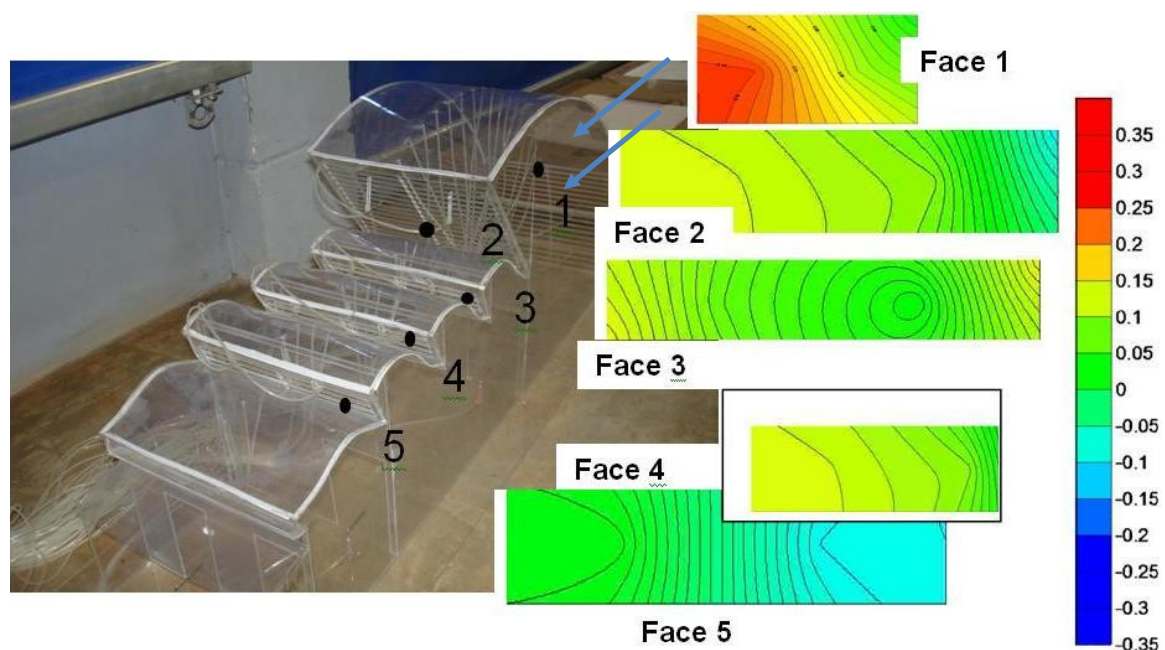


Figura 54- Resultados de C_p para entrada e saídas dos *sheds* – Belém

Os pontos localizados a 0,80m do piso da maquete (13 ao16) geraram valores positivos, mostrando que ocorreu a movimentação do ar no interior da maquete como mostra a (figura 55). A figura 56 ilustra um detalhe da tomada de pressão dos pontos.

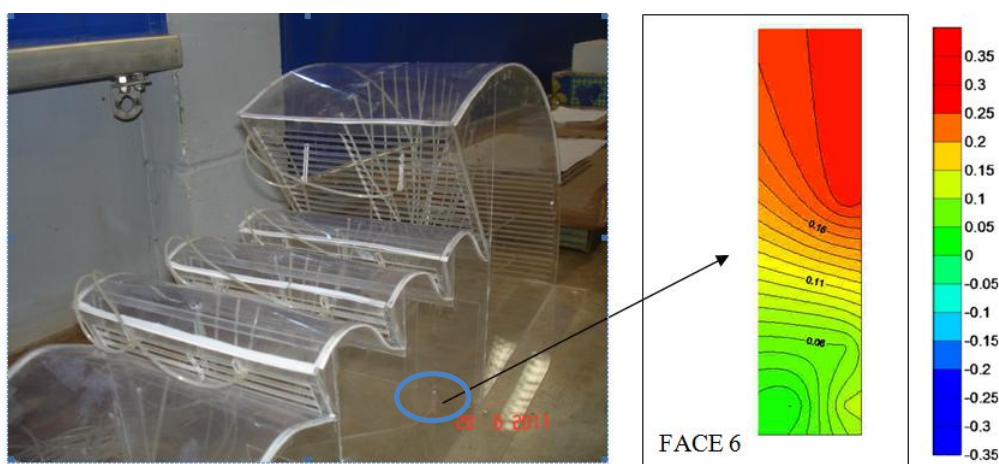


Figura 55- Resultados de C_p localizados a 80cm dos pisos.



Figura 56 - Detalhe dos pontos de tomada de pressão localizados no piso.

Apenas os pontos localizados nos *sheds* (face 7) mais próximos da entrada de ar apresentaram valores de coeficiente de pressão positivo (pontos 17 ao 24), porque o vento incide quase que frontalmente aos pontos mais próximos da entrada de ar, como ilustra a figura 57.

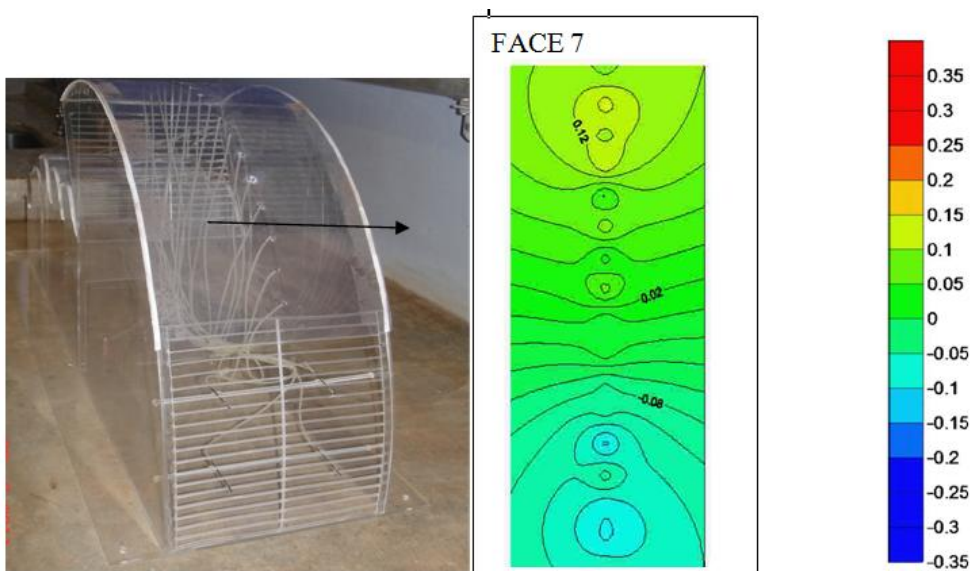


Figura 57 - Resultados de Cp localizados no *shed* principal.

Para os *sheds* menores os valores dos coeficientes de pressão resultaram em números negativos. Apenas para o *shed* da face 8 (pontos 34 a 36) os coeficientes foram positivos, porque o escoamento é desviado para baixo pelos brises na saída do *shed* maior (figura 58).

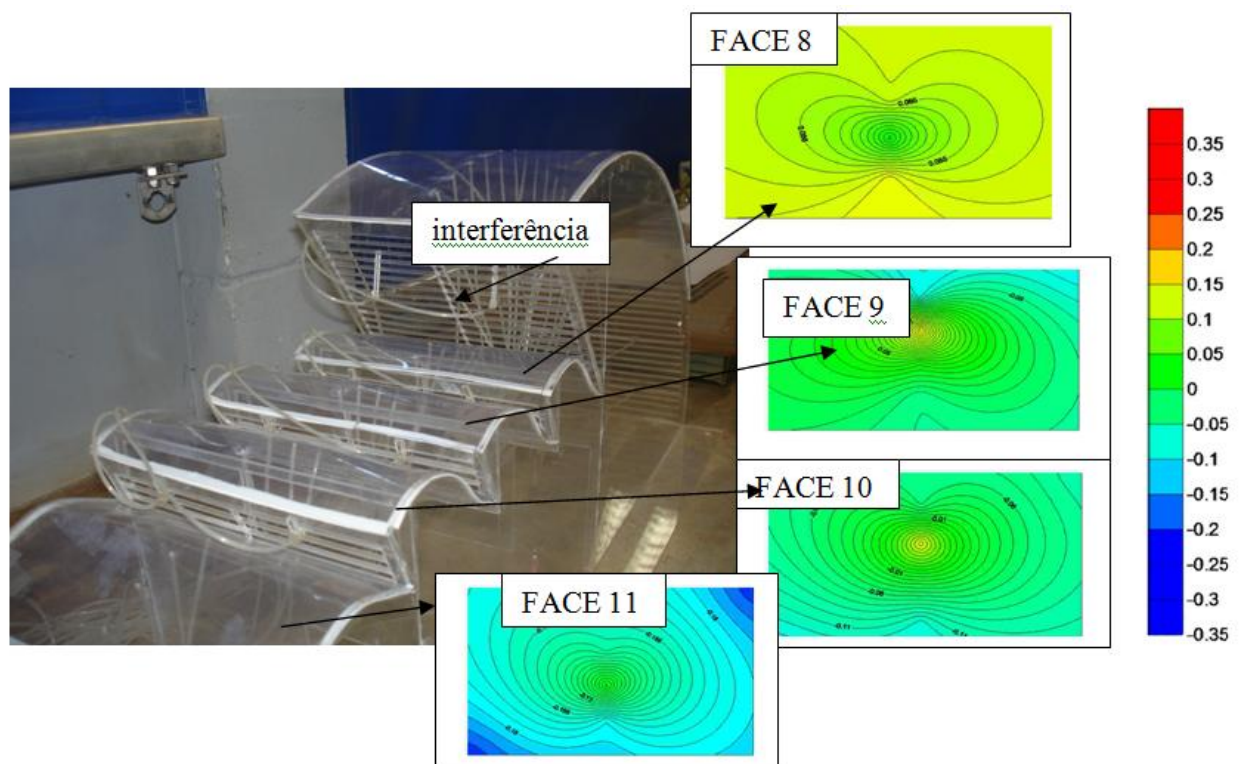


Figura 58-Resultados de C_p localizados nos *sheds*.

Análise dos pontos de pressão: Brasília Lago Norte.

O hospital Brasília Lago Norte funciona como captador de ar, com isso as aberturas dos *sheds* captam o vento para circular internamente. A figura 59 ilustra as aberturas nos *sheds* (captadores dos ventos incidentes) e a entrada de ar (FACE 2).

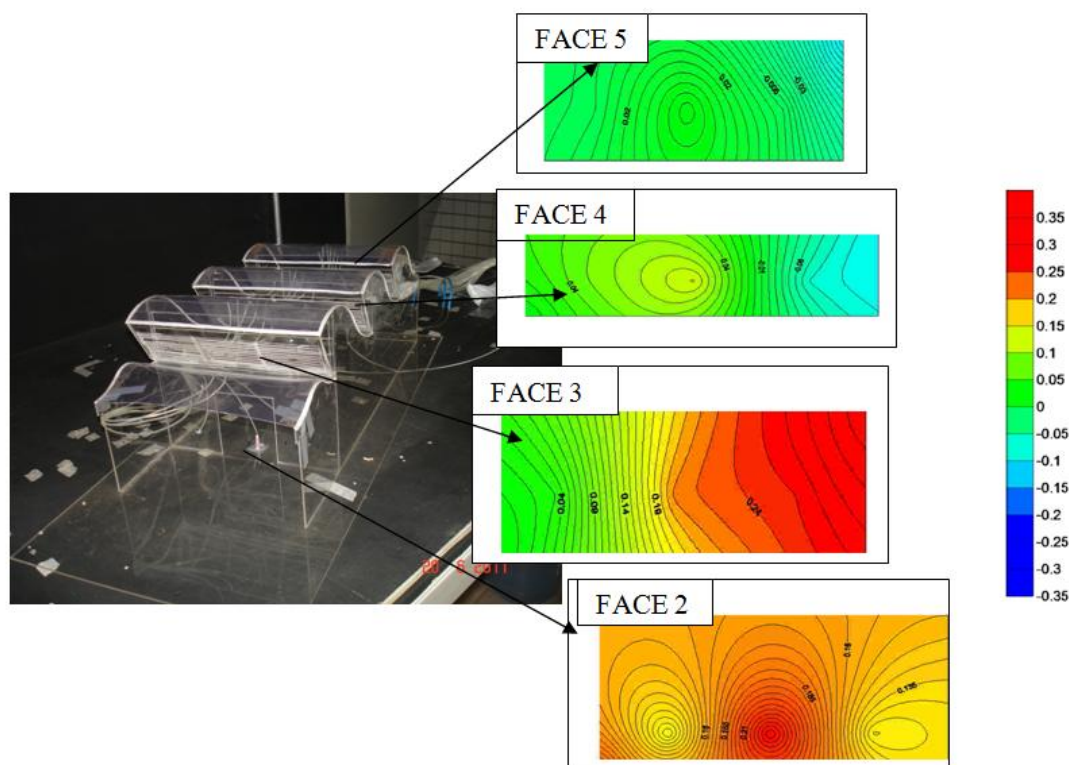


Figura 59- Resultados de Cp localizados nas entradas dos *sheds*.

Observa-se que os resultados para os coeficientes de pressão da entrada dos *sheds* próximos a entrada de ar resultaram em valores positivos (FACE 3), no entanto, para as outras entradas de ar (FACE 4 e FACE 5), houve alguns resultados negativos, devido à interferência dos outros *sheds* na captação do ar, que impedem a incidência frontal do escoamento na entrada do *shed* (figura 60).

Os pontos localizados nas saídas do modelo apresentaram resultados dos coeficientes de pressão negativos, confirmando assim a extração do ar (FACE 9).

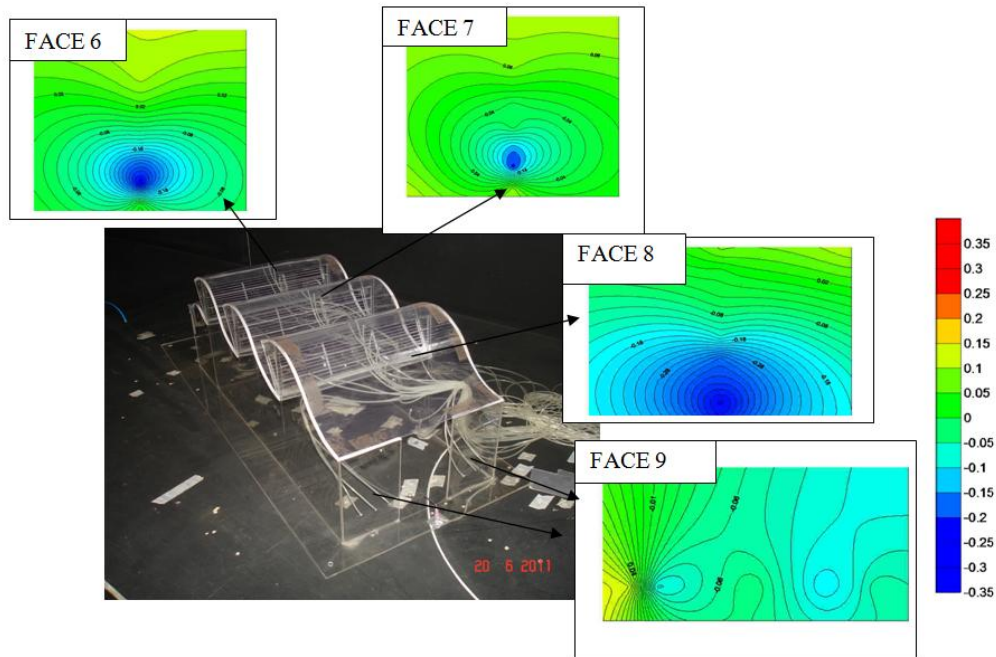


Figura 60 – Resultados de C_p localizados na saída e nos *sheds*

Os pontos localizados nos *sheds* situados próximos a saída (FACE 8), apresentaram valores negativos, porém os pontos dos *sheds* localizados próximo a entrada de ar apresentaram alguns valores positivos devido ao desvio do fluxo pela parte fachada da entrada do *shed* (figura 61), que desvia o fluxo de ar fazendo com que o escoamento incida diagonalmente com o ponto de tomada de pressão.

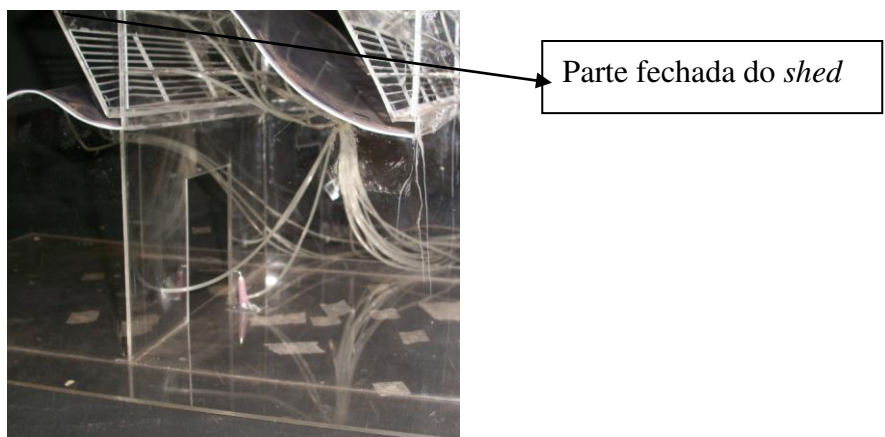


Figura 61- Detalhe da parte fachada do *shed*.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO



7. CONCLUSÃO

Na comparação dos resultados de velocidade obtidos para os hospitais de Brasília Lago Norte e de Belém, nas posições implantadas, observa-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.

A velocidade média predominante na cidade de Brasília é de 3,1m/s e a Belém é 1,9m/s. Comparando-se esses dados com os dados do ensaio, em função da velocidade de fachada, verifica-se que ocorreu satisfatoriamente a captação e a extração do ar respectivamente. Nos pontos internos do Hospital Lago Norte de Brasília a média da velocidade interna foi de 2 m/s, já para o Hospital de Belém a média da velocidade no interior do hospital foi de 1,5 m/s. Verifica-se a eficiência da ventilação natural e o sistema de aberturas e *sheds* para ambos hospitais.

As medições de coeficiente de pressão foram realizadas para confirmar a eficiência dos *sheds* e suas aberturas de entrada e saída de ar. Alguns resultados não corresponderam aos valores esperados de coeficiente de pressão: alguns *sheds* não estão captando ou extraindo o ar. Foram levantadas várias hipóteses como: o posicionamento da maquete em relação ao vento dominante, as mangueiras internas podem desviar o fluxo, interferências de um *shed* sobre o outro, a formação de vórtices no interior das maquetes.

Não foi possível fazer uma comparação dos resultados de coeficiente de pressão obtidos neste ensaio com as tabelas já compiladas de diversos autores (Liddament, 1986), já que essas tabelas foram realizadas para uma edificação lacrada o que não é o caso dos hospitais ensaiados.

Os resultados para os coeficientes de pressão permitiram confirmar que, para os dois hospitais analisados, o projeto de ventilação natural aproveita as áreas de maior pressão para posicionamento das aberturas de entrada e saída de ar.

Há várias possibilidades de pesquisas futuras relacionadas a esse trabalho.

No hospital Sarah Brasília Lago Norte observou-se que os resultados dos coeficientes de pressão dos *sheds* próximos a entrada de ar resultaram em valores positivos, no entanto para as outras entradas de ar tiveram alguns resultados negativos, provavelmente devido à interferência dos outros *sheds* na captação do ar, que impedem a incidência frontal do escoamento na entrada. Já no hospital de Belém observou-se que o *shed* maior influi na extração de ar do *shed* posicionado a seu lado. Uma proposta para trabalhos futuros seria estudar qual a melhor seqüência, distância ou geometria para que todos os *sheds* produzam uma eficiente captação ou extração do ar.

Outra proposta seria realizar vários testes para a determinação de coeficientes de pressão em edificações com diversas aberturas e inclinações de telhado e comparar esses resultados com os obtidos nesse trabalho para os Hospitais da Rede Sarah.

Através da simulação computacional poderia ser feita uma comparação entre os coeficientes de pressão ensaiados em túnel de vento e os simulados, para os hospitais Brasília Lago Norte e Belém.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acervo do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS (2008). Salvador-Bahia.

ALLARD, F. Natural ventilation in Buildings. James e James, Londres, 356 p., 1998.

ATHIENITIS, A. K.; SANTAMOURIS, M. Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings. James e James, Londres, 288p., 2002.

AWBI, H. Ventilation of Buildings. Spon Press, 2. ed., 536p., 2003.

AYNSLEY, R.M. Architectural Aerodynamics .Applied Science Publishers Ltd., Londres, 1977 .

BITTENCOURT, L. ; CÂNDIDO, C. Introdução à ventilação natural , 2006.

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 Healthy House Institute, 1995.

CARAM, R.M.; PERÉN, J.I.; Interação da ventilação natural , Mecânica e Climatização : Estudo do hospital Sarah Kubitschek Fortaleza , do arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé . In: ENCAC 2007-IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído , Ouro Preto , 2007. Anais ... Ouro Preto : 2007 .

CARRIL JR, C.F. Projeto, Construção e Calibração de um Túnel de Vento. 100 p. Mestrado- Escola Politécnica- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CASTRO F.C. Exemplos de arquitetura tropical erudita e suas adaptações na Amazônia. UFPA Belém, 1997.

CERMAK, J.E. Wind-tunnel development and trends in applications to civil engineering. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 91, p. 355, 2003.

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.

CORBELLA , O.D.; PALUCH , M.J.;SOUZA , A. M. L.,Apresentação do túnel de vento da FAU /UFRJ. In : ENCAC 2007-IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído , Ouro Preto , 2007. Anais ... Ouro Preto : 2007.

CORBELLA , O.D.;YANNAS,S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos- conforto ambiental.Rio de Janeiro:Revan, 2003.

COSTOLA,C.D. Aplicação do CFD para cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. *Ambiente Construído*,2011.

ERG.Solar Bioclimatic Architecture 2. Renewable Energy Series . Ireland: Energy Research Group, Dublin, 1999.

EVANS, B. H. Natural Air Through Buildings. Passive Solar : subdivisions, Windows , Underground .Wad , H. , Cook , J., Labs , K. And Selkowitz , S. (Eds) . American Solar Energy Society: Newark, 1983.

GANDEMER, J.; BARNAUD, G. Ventilation Naturelle des Habitations sous Climat Tropical Humide: Aprox Aerodynamique. Report for the CSTB, Nantes, 1989.

GIVONI, B. Man, Climate and Architecture. Applied Science Publishers: London,1976.

HENSEN,J. Aplicação de dinâmica de fluidos computacional na construção de simulação de desempenho para o ambiente ao ar livre: uma visão geral. *Journal of Building Performance Simulation*, 2011.

JIANG, Y.; et al. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large-eddy simulation. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 91,p. 331,2003.

JONES, J.; WEST, A. W. Natural ventilation and collaborative design. *ASHRAE Journal*. November, 2001.

LABEEE, Programa Analyses Bio, versão 6.2. Santa Catarina, 2003.

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.

LAWSON, T. V. Wind Effects on Buildings. Applied Science Publishers Ltd., London, 318 p., 1980.

LECHNER, N. Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects. New York: John Wiley, 1991.

LIDDAMENT, M. Air infiltration calculation technique: an application guide. Bracknell, 1986.

LUKIANCHUKI, M. A.; A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

MACIEL, A. A.; Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, setembro de 2006.

MASSEY, B.S. Mechanics of Fluids. 6th ed. Chapman and Hall Ltd: Londres, 1990.

MATSUMOTO, E. Coletor inercial: estratégias para reduzir a entrada de poluentes utilizando-se a ventilação natural. 52p. Relatório científico de pós-doutorado, FAPESP. Depto. de Arquitetura e Urbanismo, EESC/USP, São Carlos, 2006.

MATSUMOTO, E. Calibração do túnel de vento de camada limite atmosférica e ensaios de aberturas em edificações utilizando modelos reduzidos. Projeto de Pesquisa. Unicamp, Campinas, 2008.

MELARANO, M. Wind in Architectural Design. Van Nostrand Reinhold Company: Nova York, 1982.

NEVES, L.O.: Arquitetura Bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural. Tese de Mestrado, setembro, 2006.

OWEN, E.; PANKHURST, R. C. The Measurement of Air Flow. Pergamon Press, 5. ed., Oxford, 363 p., 1977.

PERÉN, J.I. (2006). Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: estudo dos hospitais da rede Sarah Kubistchek Fortaleza e Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) em Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos.

PRATA, A. R.: Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano. 243 f. Tese (Doutoramento em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

REDE SARAH (2010). Disponível em:< <http://www.sarah.br/>> Acesso em 15 de Maio de 2010.

RORIZ, M; Programa Luz do Sol, versão 1.1. São Carlos, 1995.

RUAS, A.C.; LABAKI, L. C. Ventilação do ambiente e o conforto térmico. IN: VI ENCONTRO NACIONAL/ III ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001.

SIMIU, E.; SCANLAN, R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals' and Applications to Design, New York, 688p. 1996.

SOBIN, H. Window Design for Passive Ventilation. In: International Passive and Hybrid Cooling Conference, 1981.

TOLEDO, E. Ventilação Natural das Habitações. Editora Edufal, Universidade Federal de Alagoas, 170p, 1999.

Y. Jiang, Q.Chen, Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation, J.Wind Eng. Ind Aerodyn.89

ANEXOS

ANEXO 1

Resultados dos coeficientes de pressão médios das cidades de Brasília e Belém.

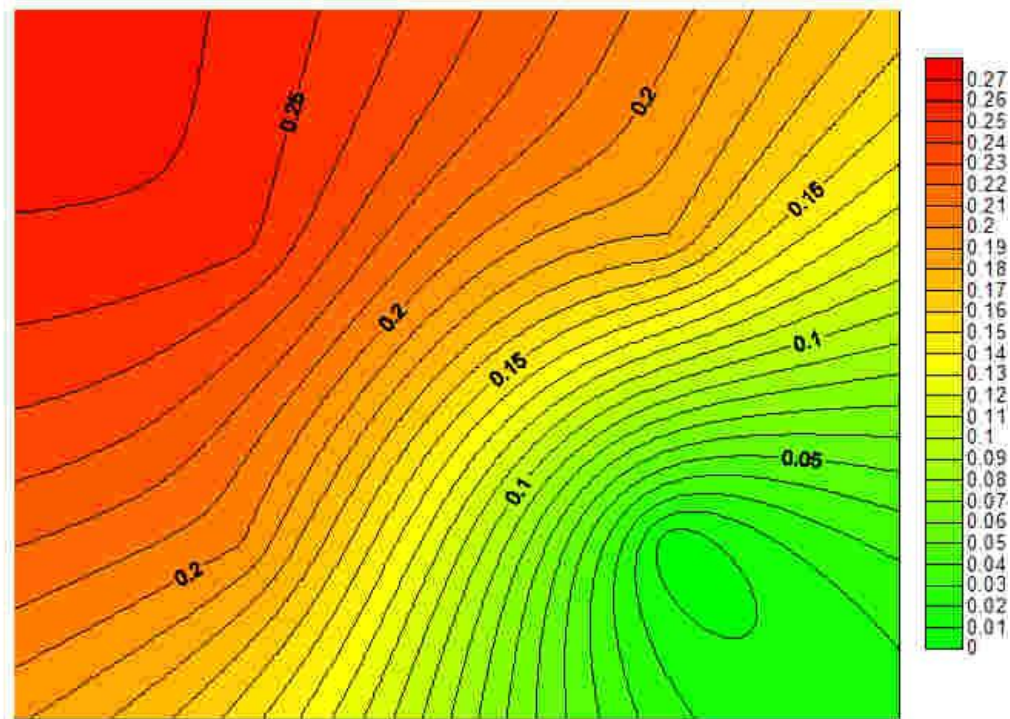
Cp médio- pontos	Brasília (420 rpm)	Belém (300 rpm)
1	0,079505	0,178664
2	0,090287	0,253166
3	0,090355	0,002004
4	0,176221	0,200303
5	0,119091	0,072021
6	0,24643	0,191173
7	0,109339	-0,083325
8	0,249752	0,055484
9	0,224857	0,03201
10	0,030803	0,040235
11	0,000381	-0,038125
12	-0,381728	-0,001173
13	-0,284408	0,196566
14	-0,134378	0,058828
15	-0,036133	0,082404
16	0,044412	0,019443
17	0,082902	0,093948
18	-0,080597	0,15103
19	0,09179	0,113257
20	0,046235	0,142281
21	0,067161	0,031987
22	-0,226781	0,096253
23	-0,194063	0,008545
24	-0,051103	0,071829
25	-0,052866	-0,019053

26	0,01778	-0,001205
27	0,0665	-0,080908
28	-0,000869	-0,091336
29	0,048628	-0,169153
30	0,002506	-0,087126
31	-0,125249	-0,157462
32	-0,427032	-0,164358
33	-0,465944	-0,124756
34	-0,388563	0,04469
35	-0,345404	0,03676
36	-0,142066	0,108932
37	-0,078291	-0,084243
38	-0,033505	0,181049
39	-0,009662	0,012902
40	0,059924	-0,048937
41	-0,064078	-0,061638
42	-0,094798	0,088092
43	-0,10797	-0,026358
44	-0,039968	-0,123154
45	-0,08074	-0,156788
46	-0,093322	-0,14527
47	0,090136	-0,087027
48		-0,17419

ANEXO 2

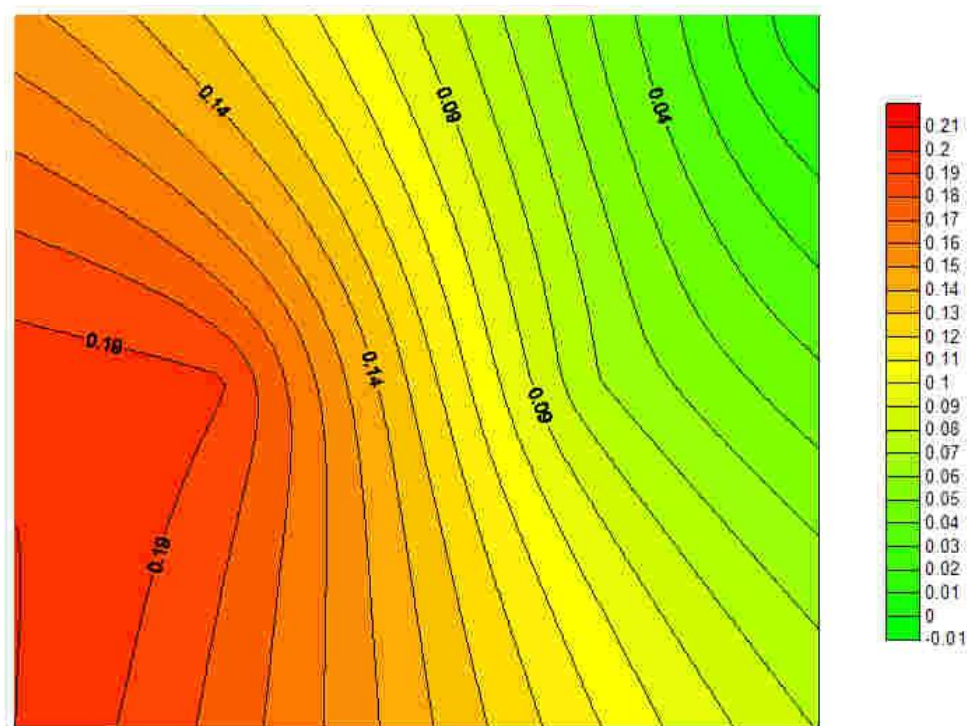
Belém — pontos 1 a 4

0,0000	0,0000		
0,0000	14,0000		
17,5000	14,0000		
17,5000	0,0000		
13,0000	9,5000	0,17866	P1
4,5000	9,5000	0,25317	P2
13,0000	3,5000	0,002	P3
4,5000	3,5000	0,2003	P4



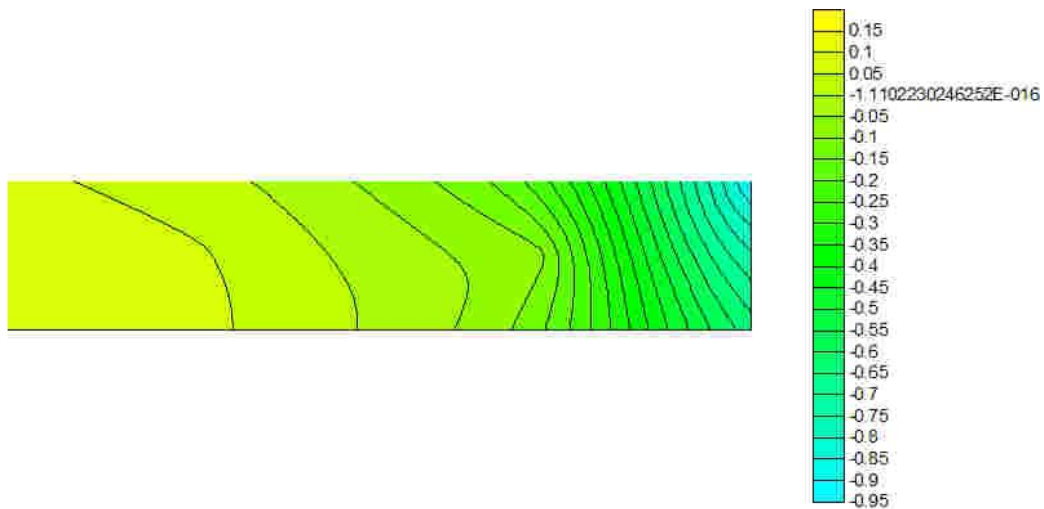
Belém — pontos 5 e 6

0,0000	0,0000		
0,0000	15,5000		
17,5000	15,5000		
17,5000	0,0000		
12,5000	7,5000	0,07202	P5
4,5000	7,5000	0,19117	P6
0,0000	0,0000	0,2	
17,5000	15,5000	0	



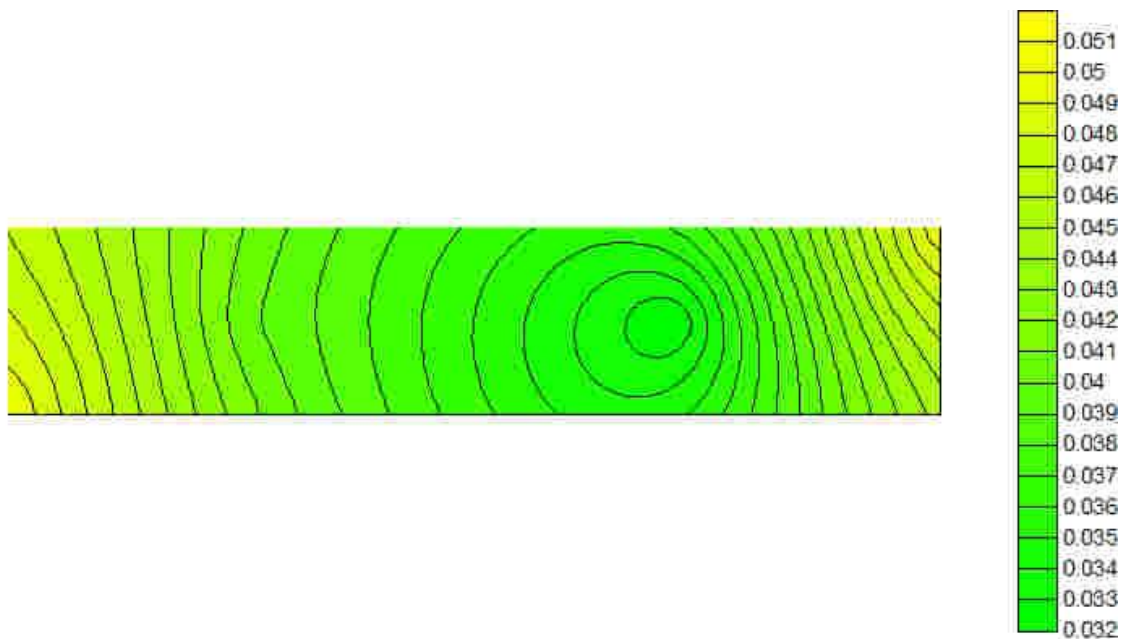
Belém — pontos 7 e 8

0,0000	0,0000		
0,0000	3,5000		
17,5000	3,5000		
17,5000	0,0000		
12,5000	1,7500	-0,08333	P7
4,5000	1,7500	0,05548	P8
0,0000	0,0000	0,1	
17,5000	3,5000	-0,9	



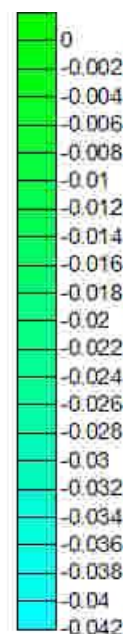
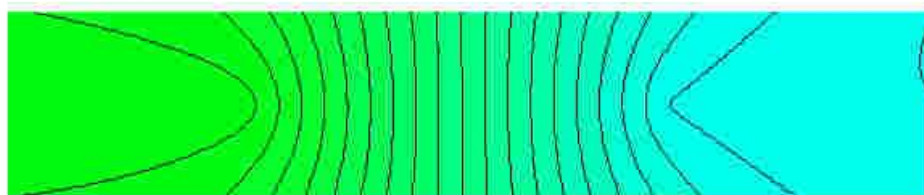
Belém — pontos 9 e 10

0,0000	0,0000		
0,0000	3,5000		
17,5000	3,5000		
17,5000	0,0000		
12,5000	1,7500	0,03201	P9
4,5000	1,7500	0,04024	P10
0,0000	0,0000	0,05	
17,5000	3,5000	0,05	



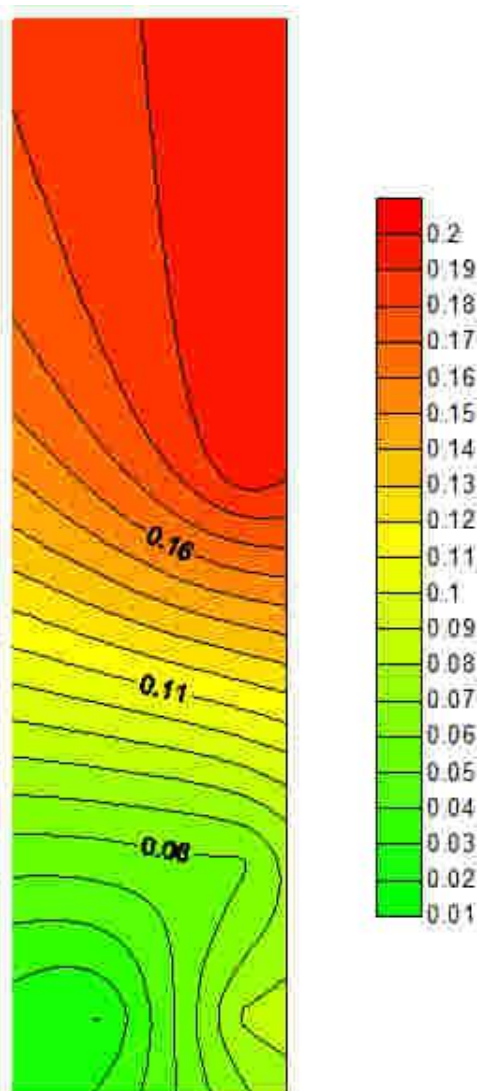
Belém –pontos 11 e 12

0,0000	0,0000		
0,0000	3,5000		
17,5000	3,5000		
17,5000	0,0000		
12,5000	1,7500	-0,03813	P11
4,5000	1,7500	-0,00117	P12
0,0000	0,0000	-0,002	
17,5000	3,5000	-0,04	



Belém –pontos 13 a 16

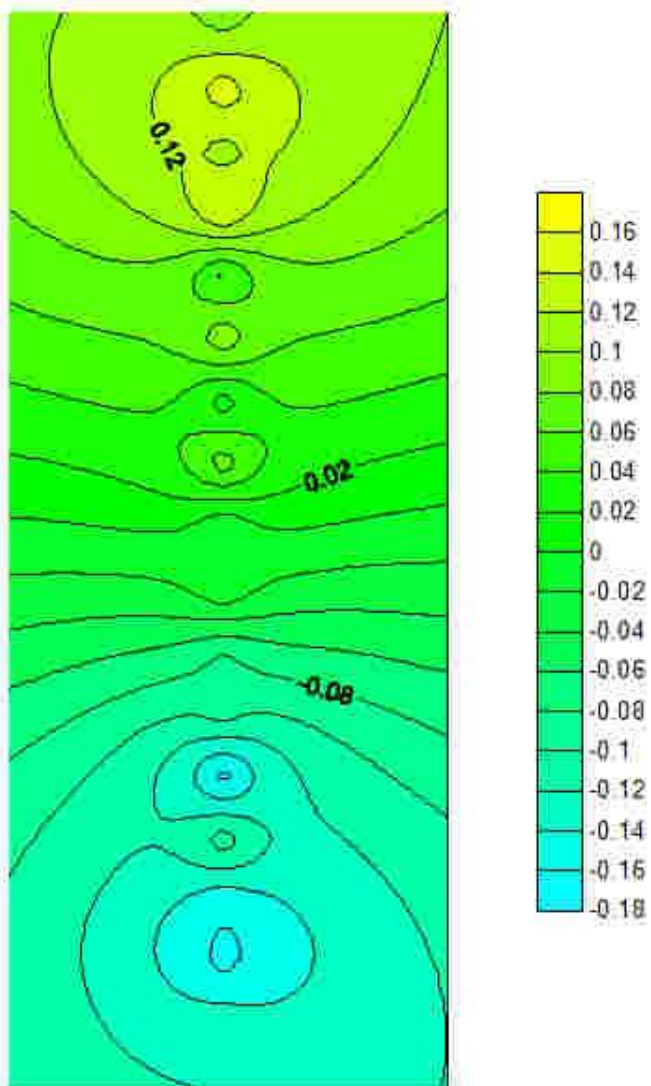
0,0000	0,0000		
0,0000	69,0000		
17,5000	69,0000		
17,5000	0,0000		
14,8000	40,0000	0,19657	P13
14,8000	15,0000	0,05883	
14,8000	5,0000	0,0824	
5,6000	5,0000	0,01944	P16



Belém –pontos 17 a 33

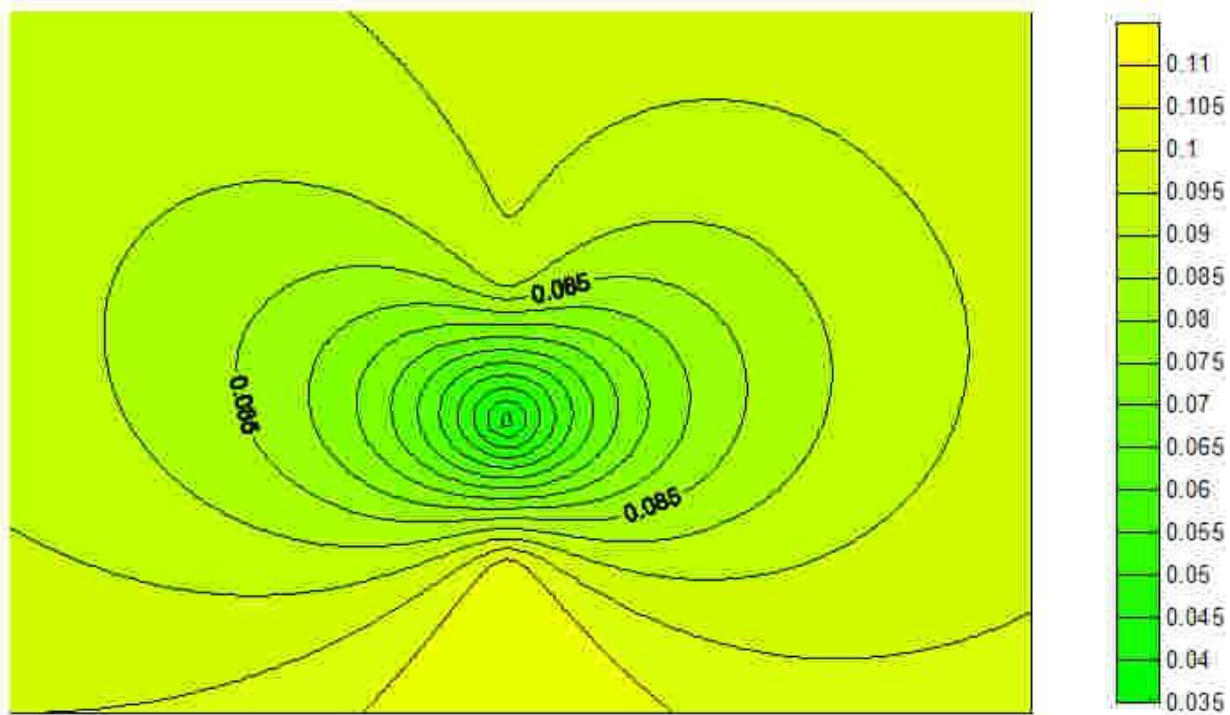
0,0000	0,0000		
0,0000	43,0000		
17,5000	43,0000		
17,5000	0,0000		
8,5000	42,5000	0,09395	P17
8,5000	40,0000	0,15103	
8,5000	37,5000	0,11326	
8,5000	35,0000	0,14228	
8,5000	32,5000	0,03199	
8,5000	30,0000	0,09625	
8,5000	27,5000	0,00855	

8,5000	25,0000	0,07183	
8,5000	22,5000	-0,01905	
8,5000	20,0000	-0,00121	
8,5000	17,5000	-0,08091	
8,5000	15,0000	-0,09134	
8,5000	12,5000	-0,16915	
8,5000	10,0000	-0,08713	
8,5000	7,5000	-0,15746	
8,5000	5,0000	-0,16436	
8,5000	2,5000	-0,12476	P33
0,0000	0,0000	-0,1	
17,5000	43,0000	0,1	



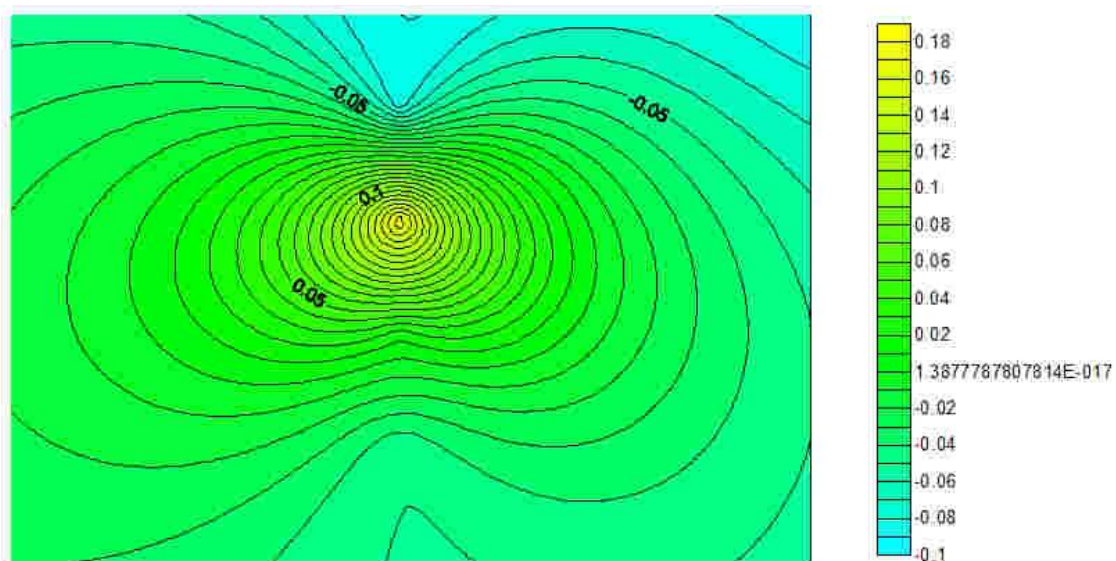
Belém –pontos 34 a 36

0,0000	0,0000	
0,0000	12,0000	
17,5000	12,0000	
17,5000	0,0000	
8,5000	7,5000	0,09447
8,5000	5,0000	0,03676
8,5000	2,5000	0,10893
0,0000	0,0000	0,1
17,5000	12,0000	0,1



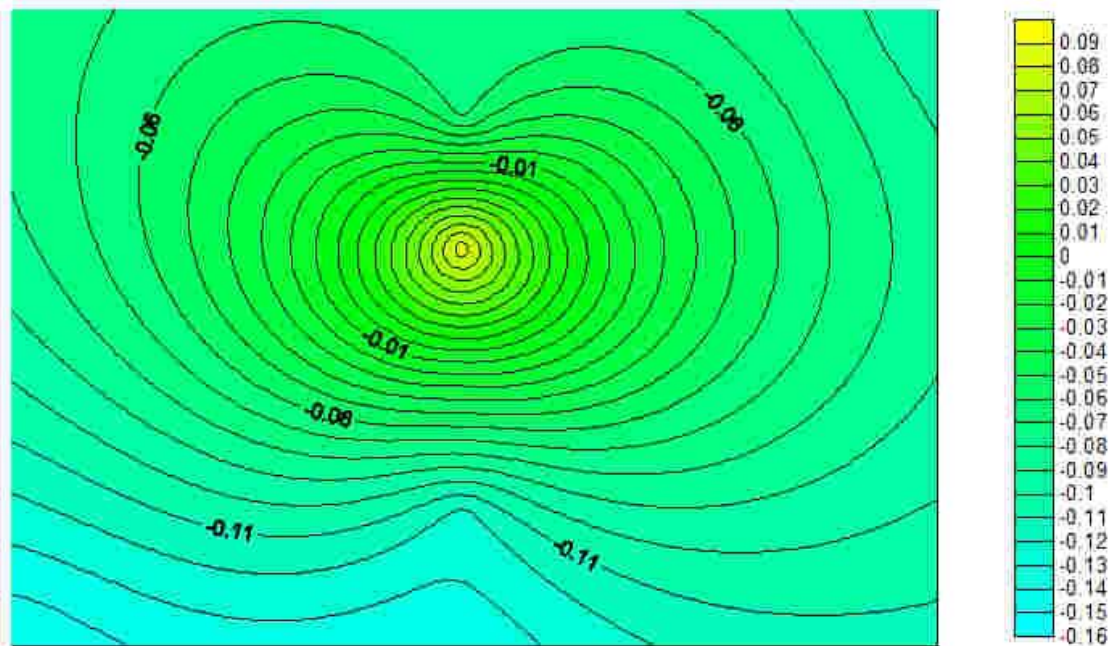
Belém –pontos 37 a 40

0,0000	0,0000	
0,0000	12,0000	
17,5000	12,0000	
17,5000	0,0000	
8,5000	10,0000	-0,08424256
8,5000	7,5000	0,18104862
8,5000	5,0000	0,01290236
8,5000	2,5000	-0,0489369
0,0000	0,0000	-0,03
17,5000	12,0000	-0,09



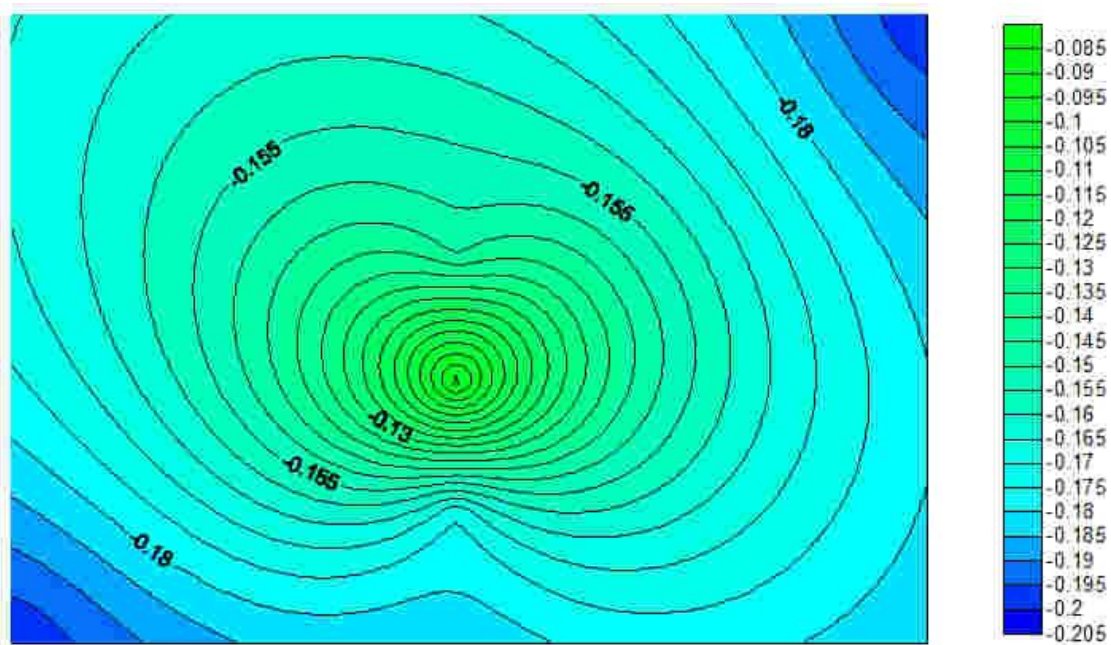
Belém –pontos 41 a 44

0,0000	0,0000	
0,0000	12,0000	
17,5000	12,0000	
17,5000	0,0000	
8,5000	10,0000	-0,06164
8,5000	7,5000	0,08809
8,5000	5,0000	-0,02636
8,5000	2,5000	-0,12315
0,0000	0,0000	-0,15
17,5000	12,0000	-0,7



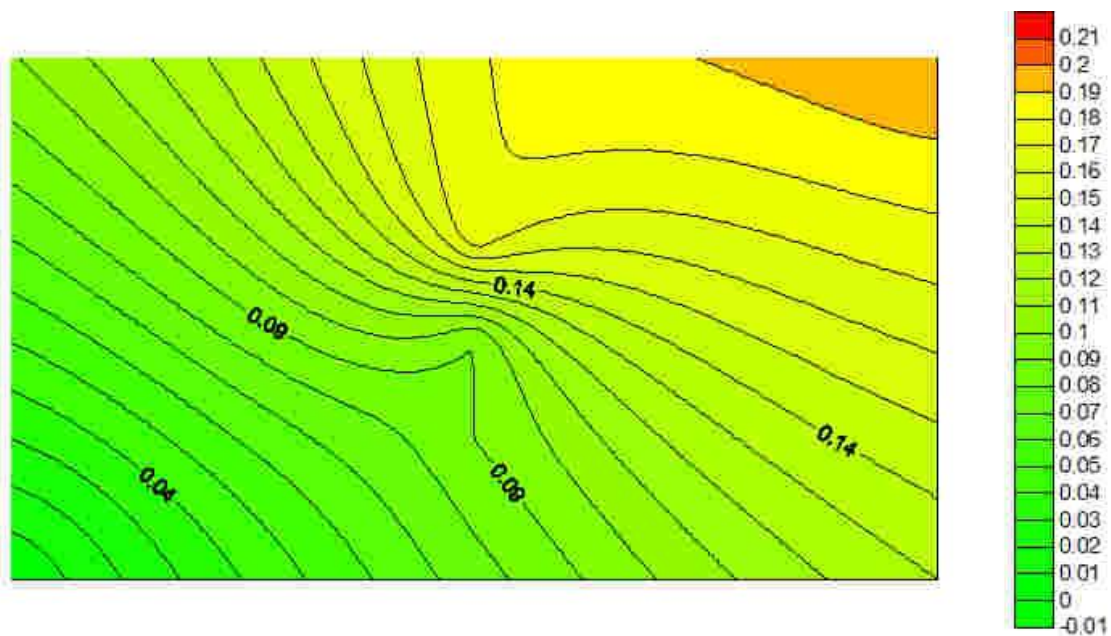
Belém -pontos 45 a 48

0,0000	0,0000	
0,0000	12,0000	
17,5000	12,0000	
17,5000	0,0000	
8,5000	10,0000	-0,15679
8,5000	7,5000	-0,14627
8,5000	5,0000	-0,08703
8,5000	2,5000	-0,17419
0,0000	0,0000	-0,2
17,5000	12,0000	-0,2



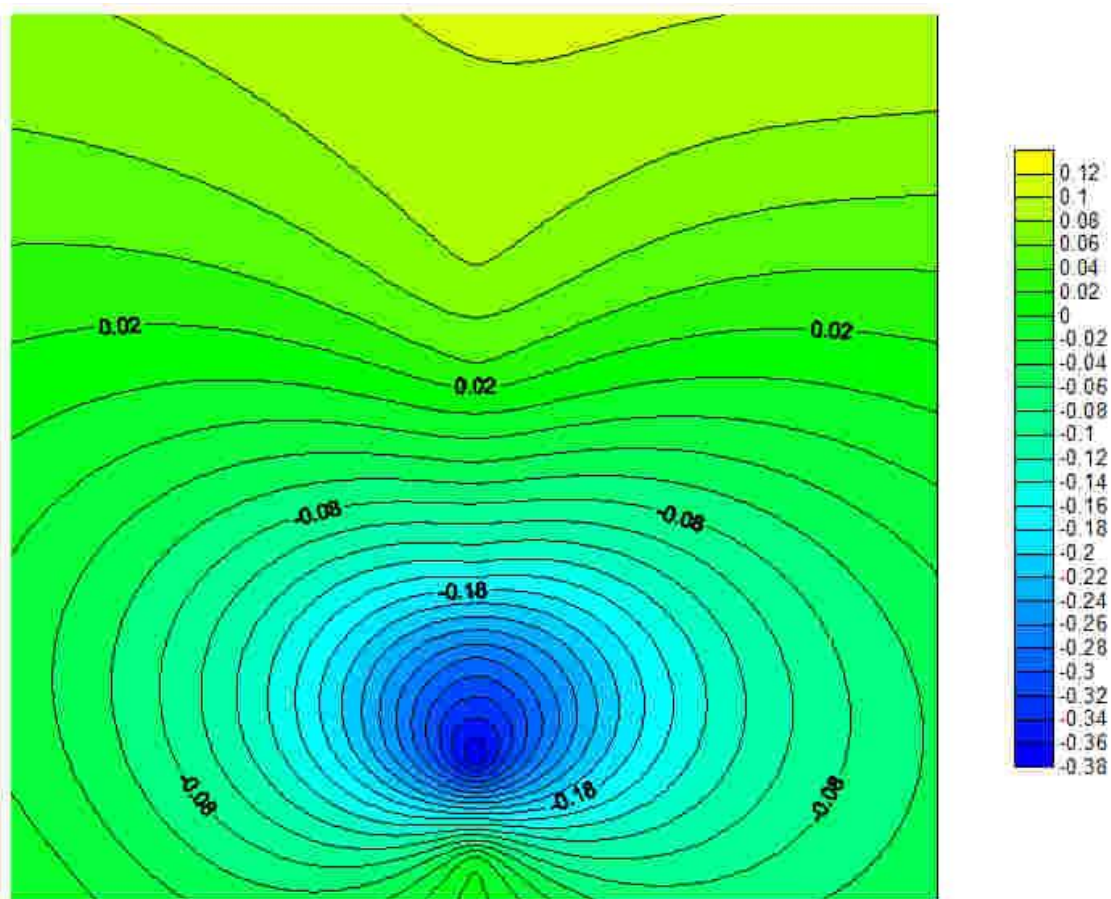
Brasília — pontos 1 a 4

0,0000	0,0000	
0,0000	13,0000	
23,0000	13,0000	
23,0000	0,0000	
11,5000	1,0000	0,07951
11,5000	3,5000	0,09029
11,5000	6,0000	0,09036
11,5000	8,5000	0,17622
0,0000	0,0000	0
23,0000	13,0000	0,2



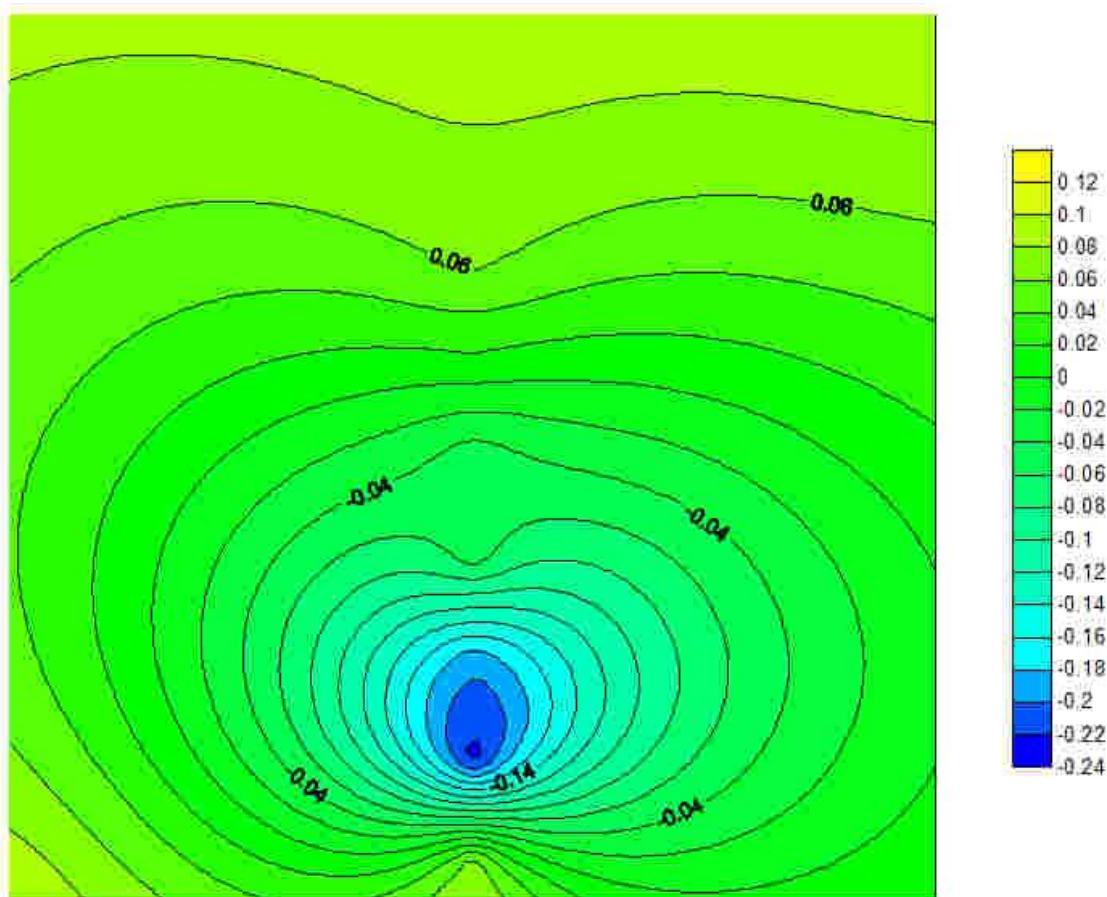
Brasília – pontos 11 a 17

0,0000	0,0000	
0,0000	22,0000	
23,0000	22,0000	
23,0000	0,0000	
11,5000	1,0000	0,00038
11,5000	3,5000	-0,38173
11,5000	6,0000	-0,28441
11,5000	8,5000	-0,13438
11,5000	11,0000	-0,03613
11,5000	13,5000	0,04441
11,5000	16,0000	0,0829
0,0000	0,0000	0
23,0000	22,0000	0,1



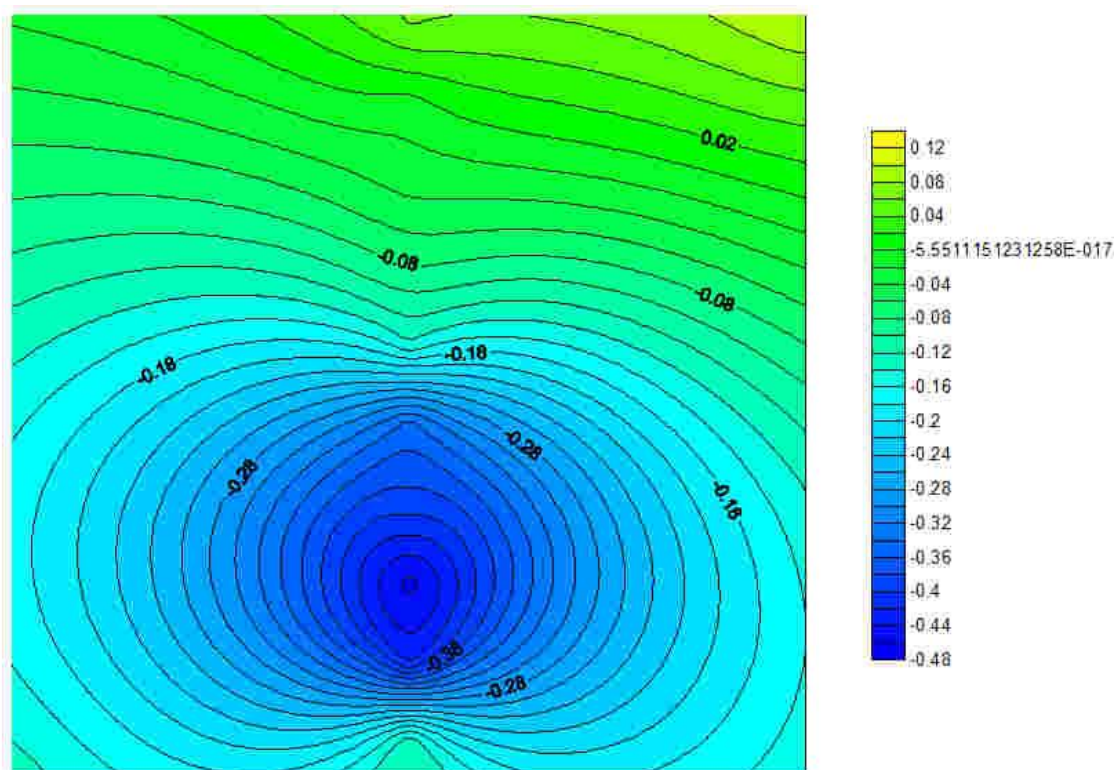
Brasília – pontos 21 a 27

0,0000	0,0000	
0,0000	22,0000	
23,0000	22,0000	
23,0000	0,0000	
11,5000	1,0000	0,06716
11,5000	3,5000	-0,22678
11,5000	6,0000	-0,19406
11,5000	8,5000	-0,0511
11,5000	11,0000	-0,05287
11,5000	13,5000	0,01778
11,5000	16,0000	0,06567
0,0000	0,0000	0,1
23,0000	22,0000	0,1



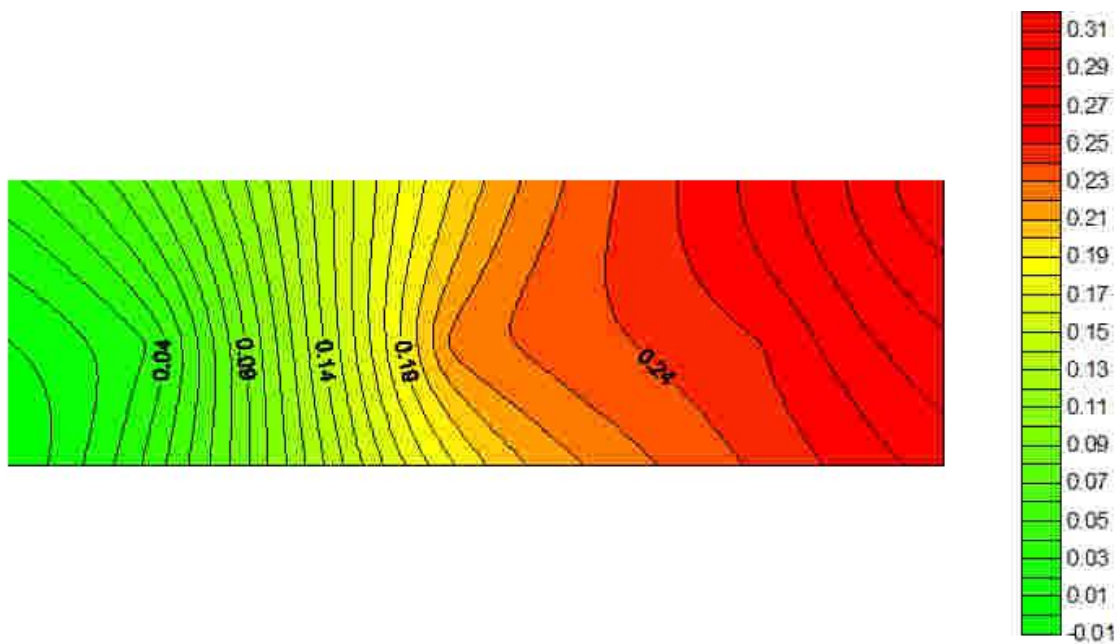
Brasília – pontos 31 a 40

0,0000	0,0000	
0,0000	22,0000	
23,0000	22,0000	
23,0000	0,0000	
11,5000	1,0000	-0,12525
11,5000	3,3000	-0,42703
11,5000	5,6000	-0,46594
11,5000	7,9000	-0,38856
11,5000	10,2000	-0,3454
11,5000	12,5000	-0,14207
11,5000	14,8000	-0,07829
11,5000	17,1000	-0,0335
11,5000	19,4000	-0,00966
11,5000	21,7000	0,05992
0,0000	0,0000	-0,13
23,0000	22,0000	0,1



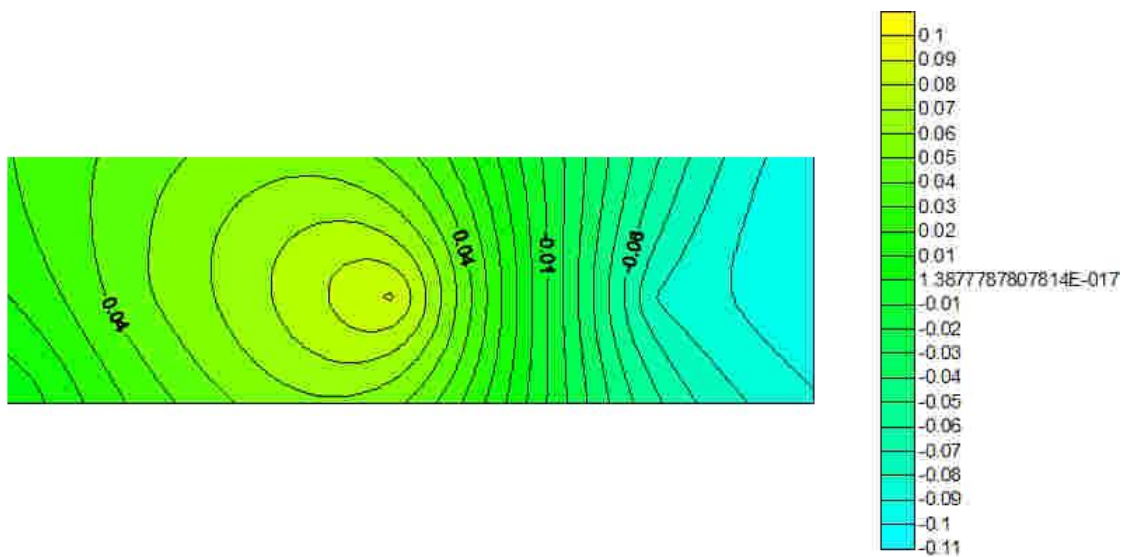
Brasília –pontos 8 a 10

0,0000	0,0000	
0,0000	7,0000	
23,0000	7,0000	
23,0000	0,0000	
18,5000	3,0000	0,24975
11,0000	3,0000	0,22486
3,5000	3,0000	0,0308
0,0000	0,0000	0
23,0000	7,0000	0,3



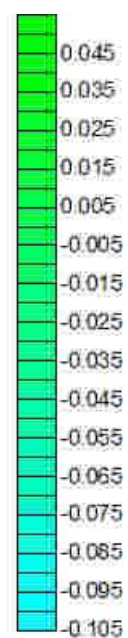
Brasília –pontos 18 a 20

0,0000	0,0000	
0,0000	7,0000	
23,0000	7,0000	
23,0000	0,0000	
18,5000	3,0000	-0,0806
11,0000	3,0000	0,09179
3,5000	3,0000	0,04623
0,0000	0,0000	0
23,0000	7,0000	-0,1



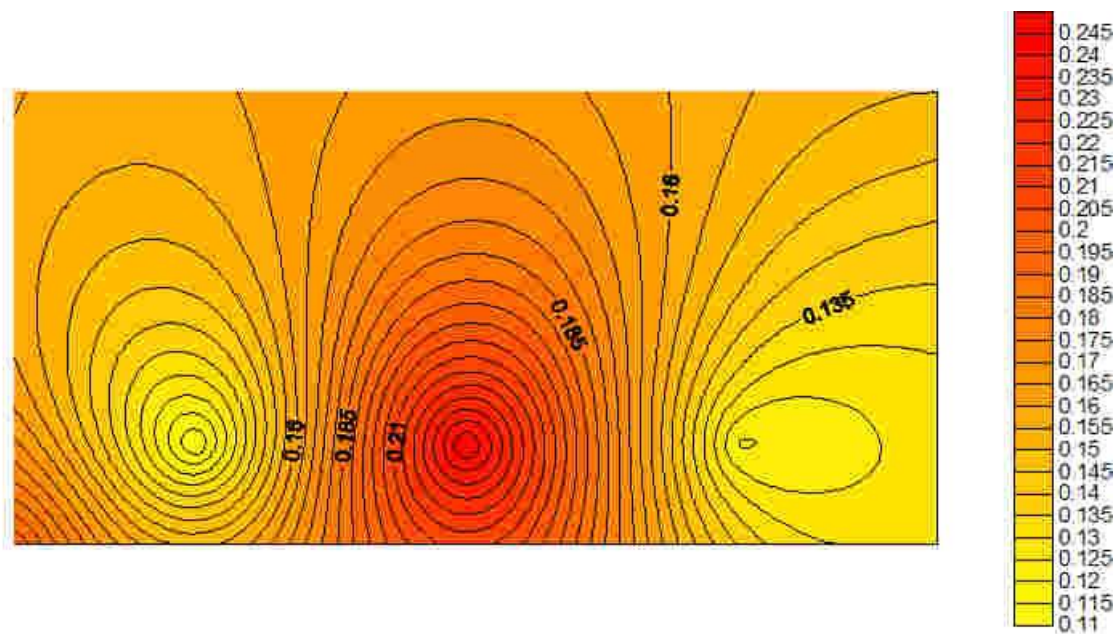
Brasília – pontos 28 a 30

0,0000	0,0000	
0,0000	7,0000	
23,0000	7,0000	
23,0000	0,0000	
18,5000	3,0000	-0,00087
11,0000	3,0000	0,04863
3,5000	3,0000	0,00251
0,0000	0,0000	0
23,0000	7,0000	-0,1



Brasília –pontos 5 a 7

0,0000	0,0000	
0,0000	11,3000	
23,0000	11,3000	
23,0000	0,0000	
18,0000	2,5000	0,11909
11,2500	2,5000	0,24643
4,5000	2,5000	0,10934
0,0000	0,0000	0,2
23,0000	11,3000	0,15



Brasília –pontos 41 a 47

0,0000	0,0000	
0,0000	11,3000	
23,0000	11,3000	
23,0000	0,0000	
20,5000	2,5000	-0,06408
18,5000	2,5000	-0,0948
16,5000	2,5000	-0,10797
11,2500	2,5000	-0,03997
6,0000	2,5000	-0,08074
4,0000	2,5000	-0,09332
2,0000	2,5000	0,09014
0,0000	0,0000	0,1
23,0000	11,3000	-0,1

