

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

**Mariela C. A. de Oliveira**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS  
DAS MODIFICAÇÕES EM CASAS AUTOCONSTRUÍDAS SOBRE A  
VENTILAÇÃO**

Campinas

2009

**Mariela C. A. de Oliveira**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS  
DAS MODIFICAÇÕES EM CASAS AUTOCONSTRUÍDAS SOBRE A  
VENTILAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki

Campinas

2009

Mariela C. A. de Oliveira

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DOS  
EFEITOS DAS MODIFICAÇÕES EM CASAS AUTO-CONSTRUÍDAS  
SOBRE A VENTILAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Aprovada em 17/02/2009 pela Banca Examinadora, constituída por:



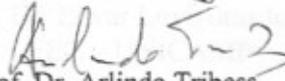
Prof.ª Dr.ª Lucila Chebel Labaki  
Presidente e Orientadora – FEC – UNICAMP



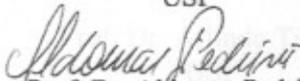
Prof.ª Dr.ª Doris C.C. Kowaltowski  
FEC – UNICAMP



Prof. Dr. Edvar Luvizotto Junior  
FEC – UNICAMP



Prof. Dr. Arlindo Tribess  
USP



Prof. Dr. Aldomar Pedrinini  
UFRN

Campinas 17 de fevereiro de 2009

## DEDICATÓRIA

À minha família, Cleide, Carlos, Nayara e Mauricio pela atenção e carinho.

Ao meu marido, Hugo, pela dedicação, paciência e amor.

## AGRADECIMENTOS

À prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki, pela sua constante paciência e orientação.

Ao Prof. Dr. Paulo Vatauvuk, pela prontidão e auxílio no desenvolver da tese.

Ao Prof. Dr. Marcelo Ganzarolli, que cedeu o espaço do laboratório do Departamento de Energia  
da Faculdade de Engenharia Mecânica.

À equipe do projeto FINEP, principalmente à amiga Mayra Mattos Moreno e a aluna Cinthia  
Monteiro, sempre presentes nos trabalhos de campo.

Às amigas Flavia, Núbia, Nadia e Ana, por estarem sempre presentes quando eu mais precisei de  
apoio.

À Fundação Universidade Federal do Tocantins, em especial ao colegiado do curso de  
Arquitetura e Urbanismo, que sempre me incentivou e ajudou.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>09</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 HIPÓTESE.....	17
1.2 OBJETIVO .....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL .....	21
2.1.1 Política Habitacional.....	21
2.1.2 Implantação dos Lotes .....	32
2.1.3 Habitação autoconstruída.....	38
2.2 VENTILAÇÃO NATURAL: RELAÇÃO URBANA E EDIFICAÇÕES.....	55
2.3 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	82
2.3.1 Análise de Escoamentos .....	83
2.3.2 Formulação do programa.....	84
2.3.3 Equações de Navier Stokes.....	84
2.3.4 Método dos volumes finitos.....	88
2.3.5 Aplicação de simulação em estudos de casos sobre ventilação natural .....	94
2.3.6 Aplicação de simulação em estudos sobre ventilação natural em habitações e conjuntos habitacionais	97
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>105</b>
3.3 CASAS AUTOCONSTRUÍDAS .....	106
3.4 DADOS METEOROLÓGICOS .....	112
3.5 CRIAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - <i>PHOENICS</i> .....	113
3.5.1 Modelo de Turbulência.....	116
3.5.2 Condições de Contorno .....	119
3.5.3 Valores iniciais para a configuração da simulação .....	121
3.5.4 Critérios de Convergência .....	121
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>125</b>
4.3 DEFINIÇÃO DA SIMULAÇÃO PADRÃO .....	125
4.4 SIMULAÇÃO PARTE 1 .....	130
4.5 SIMULAÇÃO PARTE 2 .....	139
4.6 FICHA DAS EDIFICAÇÕES .....	159
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>213</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>217</b>

## RESUMO

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Simulação computacional para avaliação dos efeitos das modificações em casas autoconstruídas sobre a ventilação.** Campinas, 2009. 166 f. Doutorado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Universidade Estadual de Campinas.

A ventilação natural é um dos fatores importantes na qualidade e no conforto da habitação. Para ser eficiente, é necessário que o projeto seja adequado à realidade urbana e climática da região. No Estado de São Paulo, a casa autoconstruída, em geral, não recebe o apoio técnico necessário para a qualidade desejada do projeto. Muitas vezes, a falta de qualidade se reflete aos parâmetros de conforto dos moradores. Dentre esses parâmetros, a ventilação, ao redor das edificações, depende da implantação tanto do loteamento, quanto das edificações que oferecem, ou não, condições de arejamento e ventilação. Dentre as maneiras de estudar-se a ventilação natural, optou-se, nesse trabalho, pelo método baseado em simulações computacionais, com utilização de CFD (*Computational Fluid Dynamics*), através do software Phoenics. A proposta do projeto é avaliar, através de modelagem computacional, as alterações na ventilação natural no espaço do lote padrão, exterior às habitações; ocasionadas por transformações construtivas nestas edificações. A partir de um banco de dados existente sobre loteamentos autoconstruídos em Campinas/SP, em 2000, verifica-se, após cinco anos, modificações projetuais nas habitações do loteamento São José, analisando-se as alterações no domínio do lote e averiguando seus efeitos sobre a ventilação. A inserção do problema no software divide-se em três momentos de análise: 1-) parâmetros de simulação a serem utilizados; 2-) ar externo e a relação com o entorno próximo; 3-) entorno próximo e a relação direta com a área livre do lote. Como forma de relacionar os valores virtuais com a realidade, foi proposta uma quadra típica, contendo habitações reais existentes no bairro onde se coloca, lado a lado, a mesma habitação com e sem as alterações encontradas no período de cinco anos. A análise para os valores de convergência é feita através de gráficos e as alterações são monitoradas por meio de vídeos retirados do próprio software, nos quais é possível analisar, pela construção de linhas de corrente específicas, as diferenças gerais em cada casa. Os resultados demonstram a interferência das alterações dos projetos na velocidade e no fluxo do vento. A observação geral da quadra, e o diagnóstico de cada casa, constata as alterações na relação do fluxo e velocidade do vento na malha urbana, as quais, na maior parte dos casos, são negativas. A contribuição do trabalho é a constatação de que: a-) alterações particulares interferem no fluxo do vento do espaço externo, repercutindo nas áreas urbanas do entorno próximo; b-) geram recirculação do ar quando são a modificação consiste na construção de coberturas, ou seja, superfícies horizontais; c-) aumentam a geração de vórtices nas vias locais, quando utilizados muros ao invés de grades, isto é, alterações verticais. Quanto à urbanização das autoconstruções, o trabalho contribui para a conscientização sobre o problema da largura cada vez menor das vias locais e possíveis melhorias nas diretrizes para autoconstrutores.

**Palavras-chave:** ventilação, simulação, CFD, autoconstrução.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Computer simulation for evaluation of the effects of modifications in self-built houses in ventilation** Campinas, 2009. 166 f. Doutorado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil,Arquitetura e Urbanismo Universidade Estadual de Campinas.

Natural ventilation is one of the important factors in housing quality and comfort. It is necessary that the project is adequate to the urban reality of the region and climate so that ventilation is effective. In the State of São Paulo, self-built houses often do not receive the necessary technical support to the desired quality of the project. Often, the lack of quality is reflected in the parameters of comfort for residents. Among these parameters, ventilation around the buildings depends on the site planning, which defines the conditions of aeration and ventilation. Among the research methods for natural ventilation, in this work it was chosen that based on computer simulations, through CFD (Computational Fluid Dynamics), using the software Phoenics. The aim of the work is to evaluate through computational modelling the changes in natural ventilation in the space of the standard lot, outside the house, due to constructive modification in these buildings. From a database on existing lots characterized by self-built houses in Campinas, SP, in 2000, it was observed, after five years, the design modifications in the housing of the settlement São Jose, analysing the alterations in the lot and examining their effects on ventilation. The insertion of the problem in the software is divided into three stages of analysis: 1 -) simulation parameters to be used, 2 -) external air in its relation with the surrounding, 3 -) and the near surrounding in its relationship with the open area of the lot. In order to relate the virtual values with the reality, a typical block was proposed, containing existing houses in the neighbourhood, placed side by side, the same houses with and without the occurred modifications in the five years. The convergence analysis for the values is carried out through graphs and changes are monitored by means of videos obtained from the software, where it is possible to verify, through specific stream lines, the general differences in each house. The results show the interference of changes in the projects and in the wind flow velocity. The general observation of the block, and the diagnosis of each house, show the changes in the flow and wind speed in the urban network, which in most cases are negative. The contribution of this work is the fact that: a-) individuals changes affect the wind flow from the outer space, with consequences in the nearby urban areas b-) they generate recirculation of air when the modification is the construction of roofs, that is, horizontal surfaces, c-) they increase the generation of vortices in local streets, where walls are used instead of fences, that is, with vertical changes. In relation to self-built urban settlements, the work contributes to the awareness of the problem of ever smaller width of local streets and possible improvements in guidelines for selfbuilders.

**Keywords:** ventilation, simulation, CFD, self-built houses

# 1 INTRODUÇÃO

Um ambiente é considerado salubre quando o ar nele contido apresenta propriedades físicas (pressão, temperatura, umidade) e químicas tais que possibilitem favoravelmente à vida em seu meio. O ar contido em recintos fechados destinados à habitação recebe o nome de ar ambiente, não possuindo a mesma composição do ar puro<sup>1</sup> porém, a ventilação de um determinado ambiente deve ser suficiente para que qualquer pessoa em condições sadias, vinda do ambiente exterior, considerado “despoluído”, não perceba diferença de temperatura e odores. (TOLEDO, 1999). Assim, frequentemente, alterações substanciais que tornam o ar ambiente inadequado para a respiração podem ser encontradas, em espaços internos.

A elaboração de um projeto que proporcione a ventilação nas habitações surge da necessidade de melhorar a qualidade de vida da população de autoconstrutores, vinculada a conjuntos habitacionais onde apenas os lotes são entregues. Deste simulação de construção, um dos aspectos negativos encontrados é a falta da aplicação das leis de uso e ocupação do solo nos lotes, originando casas que não possuem o recuo mínimo entre a edificação e a divisa do lote exigido pela prefeitura. Neste sentido, a lei de uso e ocupação do solo de Campinas estabelece o valor de 1,5m de distância entre o muro e as aberturas (CAMPINAS, 2003).

Para padrões normais de ventilação da cidade de Campinas, a direção SE seria a mais favorecida em termos de temperatura e velocidade do ar. O trabalho realizado por Watrin e Kowaltowski (2000) define cinco loteamentos autoconstruídos na cidade de Campinas/SP, totalizando no ano 2000, 1500 casas; delimitando uma amostragem de 153 edificações. Dessas 150 habitações, apenas 16 possuíam as janelas dos dormitórios a sudeste e destas, seis estavam localizadas no loteamento jardim São José (OLIVEIRA E LABAKI, 2005). Percebe-se, assim, a

---

<sup>1</sup>A composição média aproximada do ar atmosférico respirável (ar puro), em condições normais, é, em volume (composição volumétrica), dada por: N<sub>2</sub>= 78,03%; O<sub>2</sub>= 20,99%; CO<sub>2</sub>=0,03%; H<sub>2</sub>O=0,47%; Outros gases=0,48%. Para pressão atmosférica, ao nível do mar= 101.322 N/m<sup>2</sup> (10.332 kgf/m<sup>2</sup>).

necessidade de um desenho, projeto e/ou diretriz que estabeleça relações concretas e realizáveis entre o indivíduo e sua construção em constante crescimento. Essa é uma questão maior do que a viabilização legal do desenho dessas habitações. A problemática destacada contribui para o desconforto térmico e comprometimento da qualidade do ar.

As transformações ocorridas no interior dos lotes danificam o curso natural do vento em áreas urbanas. Um estudo sobre a ventilação poderá definir qual é a porcentagem de vento que pode ser encontrada no interior dos lotes de estas edificações tomando como base os valores encontrados em estações meteorológicas próximas a área de estudo. Presume-se que a porcentagem de ar definida no interior dos lotes terá relação direta com a taxa de ar que poderia ser aproveitada no interior das edificações.

A ventilação natural pode ser estudada por métodos empíricos, baseados em tabulação de dados obtidos com simulação de escala reduzida em túneis de vento, com simulação computacional ou por simulações reduzidas em tunel de vento.

A utilização de programas de simulação numérica de escoamentos, conhecidos também como programas de *CFD (Computational Fluid Dynamics)*, pressupõe as análises do fluxo de maneira mais complexa e menos compatível que os métodos empíricos. Os valores de viscosidade, rugosidade e dados climatológicos podem ser inseridos para gerar o simulação de simulação, como também as características dos materiais, fluxo e entorno. As simulações em *CFD* englobam um grande número de variáveis e simulações que devem ser simplificados de acordo como o objeto de estudo.

Dentre os programas de *CFD* existentes optou-se pelo *PHOENICS*, ele irá auxiliar na definição de valores de velocidade urbana no espaço vazio da área interna do lote das edificações. Através da interface do software apresenta-se uma metodologia para obtenção de valores de velocidades externas as edificações, porém dentro da área do lote da edificação. Define-se 3 momentos da análise: 1) Criação da simulação padrão para o estudo; 2) Movimento do ar externo e relação com o entorno próximo; definida como simulação parte 1 3) Entorno próximo e relação direta com a área externa da construção dentro do lote, definida como simulação parte 3.

A primeira parte define as condições básicas para que a simulação possa ser criada. A segunda parte da simulação relaciona o comportamento do vento na área urbana específica e verifica como ele interage com as edificações. Esta simulação é baseada no loteamento São José, lugar escolhido para a realização do trabalho, e para a definição do tamanho, orientação e adensamento médio.

A terceira parte utiliza o perfil da velocidade do vento encontrado próximo à quadra principal para um domínio de cálculo menor, o que proporciona maior confiabilidade nos valores encontrados na quadra específica. Estes valores são retirados das células do domínio após a convergência da primeira parte da simulação, a localização estipulada foi dada pelo eixo x, y e z e passa pelos planos das quadras vizinhas que fazem fronteira direta com a quadra principal. Foi analisada uma quadra típica, contendo habitações reais existentes no bairro, onde se coloca lado a lado a mesma habitação com a planta de 2000 e a planta de 2005.

A subdivisão das simulações em uma primeira e uma segunda etapa foi uma adaptação das limitações da capacidade de processamento das simulações computacionais. O espaçamento entre as células da malha cartesiana utilizada define a precisão dos resultados encontrados porém o tempo de computação e a memória necessária aumentam substancialmente podendo inviabilizar os cálculos.

Como a quantidade de células está diretamente ligada ao tamanho do domínio, quanto maior o domínio, mais difícil pode ser a viabilidade da simulação. Esta situação fez com se pensasse na divisão da simulação em duas partes, sendo que a segunda teria o mesmo número de células da primeira porém com um volume de célula menor. Trindade, 2006, utiliza a divisão da simulação em duas partes, para objetos INLET, dando ao domínio a função de parede

Uma malha mais grosseira compõe a primeira simulação e uma malha mais refinada é utilizada na segunda simulação, abrangendo somente a quadra. As velocidades de escoamento obtidas na em locais específicos da primeira simulação foram utilizados para estabelecer os

valores de velocidade iniciais para cada célula de entrada do contorno da segunda parte. Na literatura consultada não há menção sobre esta técnica de inserção de valores, portanto, é uma contribuição original deste trabalho.

A área livre do lote urbano, quando sofre alterações projetuais advindas de pessoas sem o conhecimento legal e arquitetônico, pode interferir de maneira positiva ou negativa nos fluxos de ar. Isto acontece tanto no espaço privado de cada casa existente no bairro, quanto no caminho percorrido pelo vento entre as edificações, alterando a ventilação urbana.

As alterações projetuais podem ser vistas de duas maneiras: transformações horizontais e transformações verticais. As transformações horizontais incluem a cobertura do recuo obrigatório previsto pela LUOS que, neste momento, passa a ser abrigo do carro, a garagem ou pelo aumento de áreas edificadas no fundo das edificações como lugar para churrasco e lazer familiar.

As transformações verticais podem corresponder as trocas de ornamentos de fachada, por escolha estética da população e, também, de segurança quando estão envolvidas com a troca de grades por muros e portões, ou aumento das paredes de divisa, que também não são permitidas pela LUOS.

A proposta desse trabalho é avaliar, através de simulação computacional, as alterações na ventilação natural no espaço do lote exterior às habitações; ocasionadas pelas mudanças construtivas nas edificações pertinentes a cada lote estudado.

## **1.1 Hipótese**

As alterações nas áreas dos lotes das edificações são capazes de alterar e interferir negativamente na direção e velocidade dos ventos no interior das mesmas.

## **1.2 Objetivo**

Determinar comportamentos da ventilação condizentes com a realidade das construções delimitadas pela amostra da pesquisa sobre autoconstrução na cidade de Campinas/SP, em áreas de baixo poder aquisitivo e dentro das especificações da autoconstrução, através de simulação computacional.

Os objetivos específicos são divididos em:

- 1- Gerar um simulação capaz de reproduzir o fluxo, direção e velocidade dos ventos em áreas urbanas autoconstruídas;
- 2- Enfatizar o impacto gerado pela falta de orientação arquitetônica nas edificações autoconstruídas;
- 2- Avaliar a perda da qualidade da ventilação natural dentro do lote das edificações, causadas por alterações projetuais horizontais e verticais.



## **2 Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica inicia-se na descrição da habitação popular partindo de um breve relato sobre a política habitacional das edificações, definições de quadra tipo, tipologias utilizadas e alterações pelo senso comum da comunidade devido aos anseios da população em relação a forma e ao espaço de morar.

O segundo tópico seria a ventilação, e as alterações sofridas devido a variáveis determinadas pela área urbana, como velocidade do vento direção do vento, efeitos sofridos nas edificações, disposição dos lotes nas quadras bem como das áreas construídas.

O terceiro tópico analisa a viabilidade dos estudos da ventilação através de simulação computacional por CFDs com o uso, neste caso, do software *PHOENICS*.

O quarto tópico analisa as principais entradas de dados no software, buscando-se a compreensão dos dados utilizados e a clareza da simulação utilizada.

### **2.1 Habitação de interesse Social**

#### **2.1.1 Política Habitacional**

O interesse e as discussões sobre a relação entre o homem e o ambiente que o rodeia vêm passando por expressivas transformações durante as últimas décadas. O processo de urbanização brasileiro ocorre de forma bastante intensa e rápida. A concentração de pessoas na área urbana, em 1940, era de 26,3% da população total, passando a 81,2% em 2000 (SANTOS, 2005). Essa concentração populacional estimulada pelo desenvolvimento econômico das cidades acarreta uma série de problemas advindos da falta de estrutura destas para comportar o aumento da população.

Intrinsecamente ao processo de urbanização observa-se a necessidade de infra-estrutura urbana como transportes, geração de emprego e renda, habitação, iluminação pública e saneamento básico. No Brasil, desta maneira, a infra-estrutura econômica não consegue

acompanhar o ritmo acelerado do crescimento demográfico. Assim, grande parte da população não tem acesso a serviços e direitos, acarretando a desigualdade social que promove a apropriação desigual da terra.

O déficit habitacional brasileiro é, segundo a Fundação João Pinheiro (2005) <sup>2</sup> de aproximadamente sete milhões e duzentas mil unidades novas, sendo 5,5 milhões em áreas urbanas e 1,7 milhões em áreas rurais, revelando a crise urbana e social no país. Este déficit concentra-se na faixa da população com renda mensal menor que três salários mínimos e corresponde a 83,2% do total do déficit, cerca de 4.410.385 famílias.

A tentativa de solucionar o problema habitacional brasileiro por parte dos gestores públicos tem como condicionante a produção de unidades habitacionais em grande escala aliada à qualidade da habitação oferecida. Atualmente a política habitacional tem uma série de programas para a provisão de habitações. Estes programas apresentam algumas diretrizes para a elaboração de projetos, independentes dos condicionantes locais.

Em 2001, o governo federal criou o Estatuto da Cidade, lei nº. 10.257, de 10/07/2001, que entre outras cláusulas e parágrafos dispõe como diretrizes gerais estabelecer “... *normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental...*” A aprovação do Estatuto da Cidade traz um novo panorama para a questão urbana, em especial no que tange a função social da terra. Desta maneira, é a lei federal de desenvolvimento urbano exigida constitucionalmente, que regulamenta os instrumentos de política urbana que devem ser aplicados pela União, Estados e especialmente pelos Municípios.

---

<sup>2</sup> Dados revisados pela Fundação João Pinheiro, baseados no Censo 2000.

Para Maricato e Ferreira, 2001, uma das finalidades do Estatuto das Cidades, com relação à habitação, é a gestão democrática das cidades, que prevê, por exemplo, a obrigatoriedade do orçamento participativo<sup>3</sup>. O Estatuto da Cidade, enfim, vem tentar reverter a atual situação da provisão habitacional, onde grande parcela da população que não consegue ser atingida pelo mercado imobiliário formal recorre a outros meios para a aquisição de moradia. Essa aquisição é feita através de invasões de áreas não cedidas pelo governo, o que na maioria dos casos compromete o meio ambiente, em terras não servidas de urbanização, acarretando problemas como o aumento em gastos públicos para remoção e regularização da população destas terras.

A habitação de interesse social é uma produção do governo e destina-se a famílias com renda de até três salários mínimos<sup>4</sup>. Já a habitação popular, segundo Folz (2002) se refere à habitação para classe trabalhadora que vive na cidade e que possui renda familiar de até cinco salários mínimos e pode ser produzida pela iniciativa privada ou pública.

Reafirmando a Constituição de 1988, fica definido pelo Estatuto da Cidade, que qualquer município com mais de 20.000 habitantes, terá seu próprio plano diretor de acordo com as necessidades da localidade.

A seção XII do estatuto refere-se à criação do EIV (Estudo de Impacto de Vizinhança). Segundo o EIV a relação da edificação com seu entorno necessita estar de acordo com o plano

---

<sup>3</sup> Instrumento de Lei, criado na Constituição de 1988 que garante a participação da população na definição de prioridades de investimentos dos recursos públicos. Para sua elaboração utilizam-se os seguintes instrumentos para o planejamento das ações do governo: Plano Plurianual (PPA), Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e Lei Orçamentária Anual (LOA).

<sup>4</sup> O valor do salário mínimo em dezembro de 2008 era R\$ 435,00 (quatrocentos e trinta e cinco reais)

diretor do município e também de um estudo prévio para que a construção esteja de acordo com o artigo 37 citado a seguir:

... Art. 37. O EIV será executado de forma a contemplar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade quanto à qualidade de vida da população residente na área e suas proximidades, incluindo a análise, no mínimo, das seguintes questões: I – adensamento populacional; II – equipamentos urbanos e comunitários; III – uso e ocupação do solo; IV – valorização imobiliária; V – geração de tráfego e demanda por transporte público; VI – ventilação e iluminação; VII – paisagem urbana e patrimônio natural e cultural...

O plano diretor, aprovado por lei municipal, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. O plano diretor de Campinas, aprovado pela Lei Complementar nº 02 de 26 de junho de 1991 cita um conjunto de instrumentos urbanísticos, como o solo criado, o imposto progressivo sobre vazios urbanos e as operações interligadas, prevendo, também, a instituição do Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano - CMDU, como forma de garantir a participação da sociedade no processo de planejamento. A lei complementar nº. 9/dezembro 2003, classifica alguns itens sobre esta questão, no Capítulo VI Projetos, artigo 53 e artigo 59, seção II - Do arejamento e insolação da edificação, artigos 62 a 68:

Tem-se assim pelo Código Civil Brasileiro, que: I - nenhuma abertura poderá estar voltada para a divisa do lote e dela distar menos de 1,50 m (um metro e cinquenta centímetros), exceto divisa com logradouro;...

... Seção II, Art. 62 - O arejamento da edificação e a insolação de seus compartimentos deverão ser proporcionados por uma das seguintes opções, em razão da volumetria apresentada: I-recuos obrigatórios previstos na LUOS; II-áreas livres internas do lote; III-espaços dos logradouros; IV-faixa de arejamento "A"; V-espaço de insolação "I"; VI-arejamento indireto; VII-alternativa que garanta desempenho equivalente ou superior aos métodos previstos neste Código..."

O Capítulo VIII, da LUOS, intitulado "Das Dimensões dos Compartimentos", a seção I – artigos 89, 90, 91, 95 e 96 (habitação social); bem como a seção III – Do dimensionamento das aberturas - artigos 102, estabelece:

Art. 89 - Os compartimentos e ambientes devem ser posicionados na edificação de forma a proporcionar conforto ambiental, térmico, acústico e proteção contra a umidade, obtidos pelo adequado dimensionamento do espaço e correto emprego dos materiais das paredes, cobertura, pavimento e aberturas, bem como das instalações e equipamentos.

Art. 90 - Os compartimentos das edificações classificar-se-ão em "GRUPOS" em razão da função a que se destinam, recomendando-se o dimensionamento mínimo e a necessidade de arejamento e insolação naturais conforme disposto nos artigos seguintes, salvo disposição de caráter restritivo constante de legislação própria.

Art. 91 - Classificar-se-ão no "GRUPO A" aqueles destinados a:

- I- Repouso, em edificação destinada à habitação ou prestação de serviços de saúde e educação;
- II- Estar, em edificação destinada à habitação;
- III- Estudo, em edificação destinada à habitação.

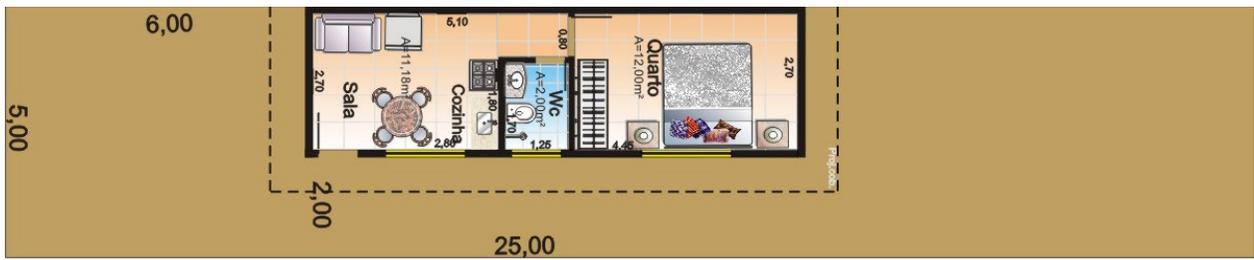
§ 1º - O dimensionamento deverá respeitar os mínimos de 2,50 m (dois metros e cinquenta centímetros) de pé direito e 8,00 m<sup>2</sup> (oito metros quadrados) de área e possibilitar a inscrição de um círculo com 2,00 m (dois metros) de diâmetro no plano do piso. Havendo mais de um dormitório será permitido a um deles a área mínima de 6,00 m<sup>2</sup> (seis metros quadrados) e havendo dois dormitórios será permitido um terceiro compartimento com 5,00 m<sup>2</sup> (cinco metros quadrados).

§ 2º - Quando situados no volume superior estes compartimentos deverão ser arejados e embolados pelo espaço de insolação "I".

Art. 95 - Os compartimentos destinados a usos não especificados nesta sessão deverão obedecer às disposições constantes na legislação Municipal, Estadual e Federal.

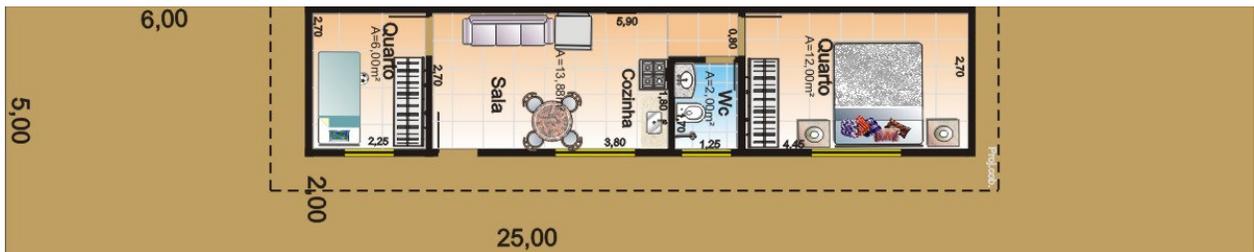
O art. 96, parágrafo único, menciona no que diz respeito ao dimensionamento para habitações de interesse social, que os compartimentos não poderão ter mais do que 12m<sup>2</sup> individualmente e a área total da unidade autônoma poderá ter: a) 30m<sup>2</sup> (trinta metros quadrados) para unidade de um dormitório; b) 45m<sup>2</sup> (quarenta e cinco metros quadrados) para unidade de dois dormitórios; c) 60m<sup>2</sup> (sessenta metros quadrados) para unidade de três dormitórios.

As figura 2-1 a 2-3 aplicam os valores definidos pela lei no lote mínimo proposto. Elas demonstram a dificuldade de projetos bem sucedidos em lotes de cinco metros de frente, pois é necessário o deslocamento da planta terrea para um lado do terreno para manter o recuo mínimo lateral. O lote estreito define um projeto “planta corredor”, onde os cômodos da edificação são ligados por uma circulação lateral sem abertura enfileirados um atrás do outro.



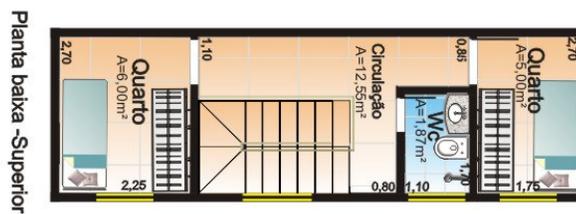
**Figura 2-1: Planta para edificação com 30 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autora, baseado no art. 96



**Figura 2-2: Planta para edificação com 45 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autora, baseado no art. 96



**Figura 2-3: Planta para edificação<sup>5</sup> com 60 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autora, baseado no art. 96

Outro ponto que cita as áreas de abertura encontra-se na seção III, onde

<sup>5</sup> Neste exemplo a colocação da escada e do banheiro é proposital. Uma das maiores dificuldades na autoconstrução é construção de escada.

... Do Dimensionamento das Aberturas, art 102, As aberturas para arejamento e insolação dos compartimentos classificados nos "GRUPOS A, B e C", poderão estar ou não em plano vertical e deverão ter dimensões proporcionais à área do compartimento de, no mínimo, 10% (dez por cento) para insolação e 5% (cinco por cento) para arejamento, observada a dimensão mínima de 0,60 m<sup>2</sup> (sessenta centímetros quadrados)...

Os programas habitacionais são os instrumentos da política habitacional que visam oferecer à população condições de acesso à moradia digna de acordo com as suas necessidades e condições econômicas. Atualmente os programas habitacionais são vinculados à Caixa Econômica Federal (CEF) – órgão gerenciador dos recursos para a habitação. Possuem linhas específicas de financiamento que atendem tanto à população com poder aquisitivo menor que 03 salários mínimos, quanto a classes com maior poder aquisitivo.

A lei complementar n°9, Código de obras, edificações do município de Campinas, Título 4-4.1- 01 a 08 e 4.4.03<sup>6</sup>, delimita que o método de arejar e insolar uma edificação de interesse social deverá ser proporcional a uma das seguintes opções: a) recuos obrigatórios previstos na LUOS; b) áreas livres internas do lote; c) espaço dos logradouros, quando permitido pela LUOS.

A grande polêmica e contradição pertinente ao tema fazem com que órgãos públicos e organizações não governamentais, cada vez mais acabem relacionando-se com a questão de moradia para população de baixa renda. Entre os órgãos governamentais pode-se citar o trabalho realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). O IPT (MORETTI, 1997) indica os seguintes valores de área mínima recomendável (quadro 2-1).

**Quadro 2-1: Área mínima recomendável aos ambientes da habitação**

Ambiente	1° Quarto	2° Quarto	3° Quarto	Cozinha	Sala	Banheiro	A. Serviço
Área recomendada (m <sup>2</sup> )	9,00	8,00	8,00	10,00	12,00	2,50	1,50

Fonte: IPT (1987),

---

<sup>6</sup> Em acordo com Pelo Capítulo VII - Dos compartimentos, a seção I – artigos 89, 90, 91, 95 e 96 (habitação social); tendo também a seção III – Do dimensionamento das aberturas - artigos 100 e 101. Assim escritas:

As figuras 2-4, 2-5, 2-6 definem plantas ilustrativas das medidas propostas pelo IPI para um lote padrão, mostrando a impossibilidade de projetos em áreas de espaços limitado como os propostos para a habitação de interesse social.

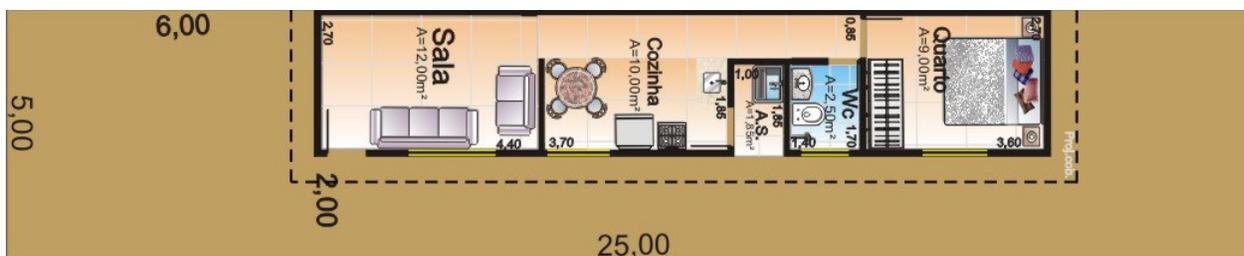


Figura 2-4: Casa com 1 dormitório, totalizando 45 m<sup>2</sup>, segundo IPT

Fonte: Autora, baseado em dados do IPT

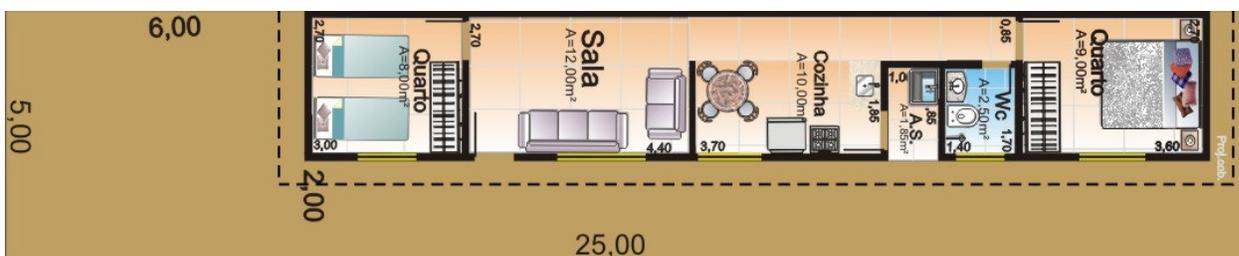


Figura 2-5: Casa com 2 dormitórios, totalizando 55 m<sup>2</sup>, segundo IPT

Fonte: Autora, baseado em dados do IPT

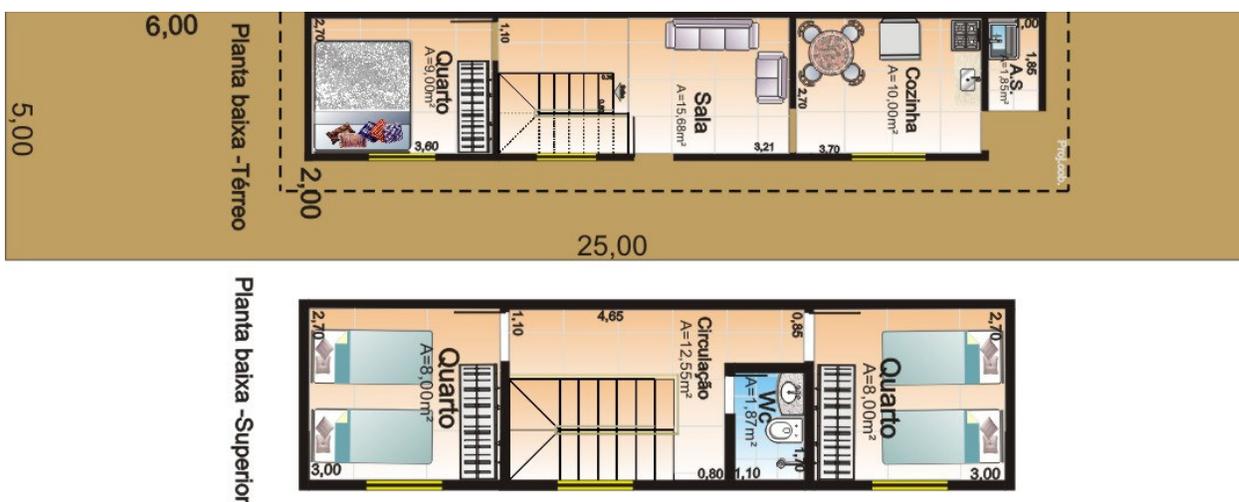


Figura 2-6: Casa com 3 dormitórios, totalizando 79,94 m<sup>2</sup>, segundo IPT

Fonte: Autora, baseado em dados do IPT

Para Mascaró (2004), um projeto econômico deve conter espaços adequados a cada função em quantidade e qualidade. A sobra de espaço e a forma inadequada do ambiente para cumprir determinada função constituem um desperdício. No quadro 2-2 Mascaró (2004) estabelece algumas relações entre áreas, como critérios para seu aproveitamento máximo. As figuras 2-1 à 2-9 demonstram mobiliários que condizem a esta relação.

**Quadro 2-2: Relações entre ambientes em habitações**

Relação entre áreas	A relação deve ser		Observações
	Maior que	Menor que	
<b>Guardar roupa/Dormir</b>	0,13	0,20	A relação deve ficar sempre dentro dos limites indicados. Quando se trata de habitação de baixa renda, deve ficar próximo do limite mínimo, aumentando junto com a renda dos usuários até ficar próximo ao limite superior, nas rendas mais altas
<b>Estar/Dormir+Guarda roupa</b>	0,70	1,20	A relação deve ficar sempre dentro dos limites indicados. Quando se trata de habitações com 03 dormitórios, deve ficar perto do limite inferior e do limite superior para habitações de 1 dormitório.
<b>Área úmida/Área seca</b>	0,35	0,40	Entende-se por área úmida os banheiros, cozinhas e lavanderia. As secas os dormitórios, estares e comedores. A relação não muda com o padrão econômico.

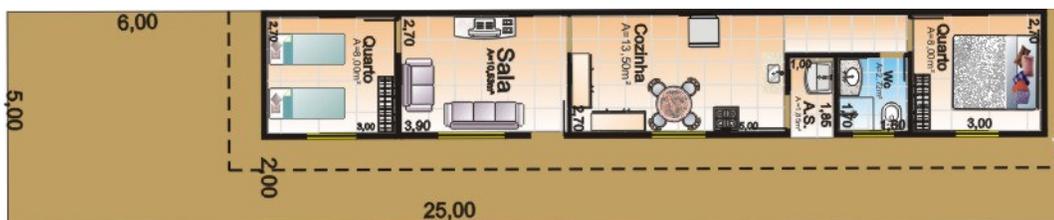
Fonte: Mascaró, 2004

As figuras 2-7, 2-8, 2-9 ilustram plantas esquemáticas dos valores propostos por Mascaró(2004) para um lote de 5 x 25m com recuos obrigatórios.



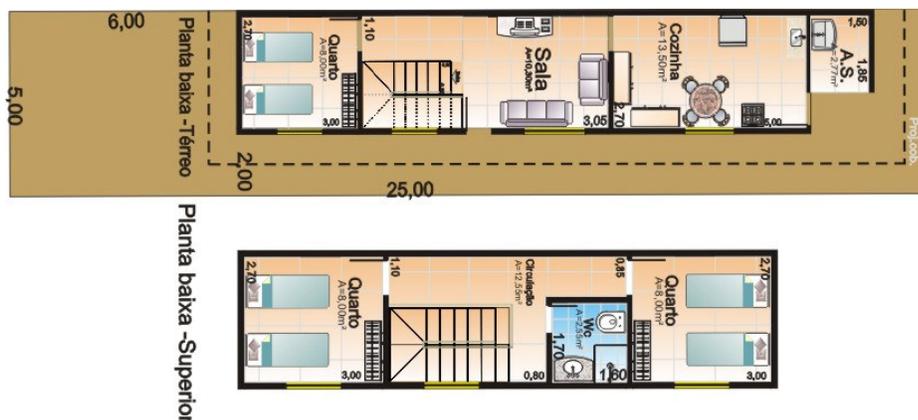
**Figura 2-7: Casa com 1 dormitório, totalizando 48,60 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autora, baseado em Mascaró



**Figura 2-8: Casa com 2 dormitórios, totalizando 55,60 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autora, baseado em Mascaró



**Figura 2-9: Casa com 3 dormitórios, totalizando 83,65 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autora, baseado em Mascaró

A equipe do projeto de pesquisa “Uma Metodologia de projeto para a casa popular na cidade de Campinas-SP” da faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP buscou transferir para o desenho o desejo do usuário da casa auto construída. O quadro 2-3 mostra as áreas (entre eixos de parede) dos cômodos e totais dos projetos básicos. Os projetos denominados CA8-T e CA10-T são projetos baseados nos padrões mais encontrados e desejados na pesquisa de campo. O projeto CA5-T (sobrado) foi criado para lotes com área de implantação estreita (lotes de esquina ou com frente de cinco metros). Os projetos denominados CA5-T, CA8-T e CA10-E atendem o desejo de um projeto com um terceiro quarto. Os projetos denominados CA5S-T e CA8S-T são projetos especiais criados para melhorar a implantação das casas em lotes com orientações onde a insolação mínima de um ou mais quartos é prejudicada. A área pode ser vista no quadro 2-3. As figuras 2-10 e 2-11 apresentam os croquis, sem escala, de

onde foram retirados os valores do quadro 2-3. Os projetos elaborados nas figuras 2-10 e 2-11 possuem aberturas de janelas diferenciadas de acordo com a posição do lote na quadra, desta maneira apenas é apresentada o layout e divisão interna das edificações, pois o tamanho do lote também pode ser alterado.

**Quadro 2-3: Áreas dos cômodos por projetos básicos**

Ambiente	Projetos básicos – m <sup>2</sup>							
	CA5-T	CA5E-T	CA5ES-T	CA8-T	CA8E-T	CA8S-T	CA10-T	CA10E-T
Sala	14,31	14,31	14,31	14,4	14,29	14,29	14,4	14,17
Cozinha	12,76	12,76	14,31	12,62	12,7	12,7	12,68	12,72
Quarto do casal	14,31	12,76	14,31	12,54	14,19	14,19	12,41	12,82
Quarto do filho I	12,76	10,25	10,25	11,83	10,44	9,67	11,82	11,51
Quarto do filho II		10,25	10,25		9,67			9,77
Banheiro	4,2	4,2	4,2	4,35	4,2	4,2	3,97	5,41
Área de Serviço	1,3	1,3	5,18	2,81	2,57	2,57	2,3	3,04
Circulação	14,46	14,46	15,39	4,42	8,34	4,01	2,96	6,09
Varanda	2,99	8,8	4,2	3,14			4,08	
Área Total	77,09	89,09	92,4	66,11	76,4	61,63	64,62	75,53

Fonte: Kowaltowski, 1995.



**Figura 2-10: Projeto CA8-T: projeto térreo de dois quartos com largura máxima de 7m.**

**Figura 2-11: Projeto CA10-T: projeto térreo de dois quartos com largura máxima de 8m.**

Fonte: Kowaltowski, 1995

### 2.1.2 Implantação dos Lotes

As cidades são constituídas por diferentes tipologias de loteamento, lotes e construções, determinados em função do seu relevo, normas urbanísticas e condições econômicas. Quanto às necessidades individuais, a população de baixa renda mostra-se mais propensa a preferir a habitação unifamiliar em lotes privados, com jardim, livre de ônus condominial, uma vez que a renda familiar é insuficiente para a cobertura desta despesa. (CHEQUE JUNIOR, 2006)

Neste sentido o lote individual, resultado do parcelamento da gleba, traduz o anseio desta população. Os loteamentos têm como princípio para sua elaboração o projeto de diretrizes viárias, determinadas pelo poder público. O fator determinante para loteamentos populares é o custo, o que determina que a tipologia para o parcelamento de uma mesma gleba pode apresentar diferentes resultados (CHEQUE JUNIOR, 2006).

A lei do uso e ocupação do solo de (LEI N° 6031 DE 29 DE DEZEMBRO DE 1988) Campinas (LUOS) estabelece parâmetros para habitação de acordo com vários critérios. As habitações de interesse social podem ser especificadas por H1, habitação unifamiliar; HMH1, habitação multifamiliar horizontal e HMV1 habitação multifamiliar vertical, de acordo com a LUOS, e indicadas nos quadros 2-4 e 2-5:

**Quadro 2-4: Tipo de habitação e Terreno**

Uso e Ocupação			Terrenos			
Uso	subcategoria		condição	Áreas (m <sup>2</sup> )		testada mínima (m)
categoria		tipo		min	max	
habitacional	Habitacional Unifamiliar	H1	lote	125	–	5

Fonte - Adaptado da LUOS

**Quadro 2-5: Uso e ocupação em relação às edificações de conjuntos**

Fonte -Adaptado da LUOS

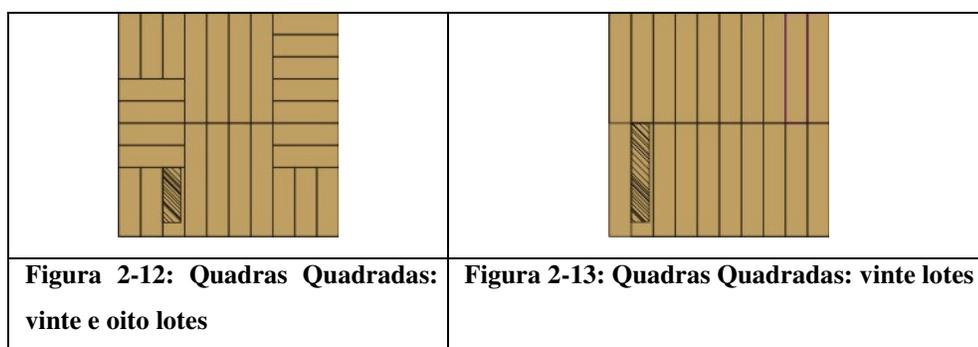
<b><u>Uso e Ocupação</u></b>	
<b>Uso</b>	
<b>Categoria-</b>	<b>Habitacional</b>
<b>Subcategoria-</b>	<b>Habitacional Unifamiliar</b>
<b><u>Ocupação</u></b>	
<b>Grupo -tipo</b>	<b>H-1</b>
<b>Condição</b>	<b>lote</b>
<b>Edificações Conjuntos</b>	
<b>Taxa Maxima de Ocupação</b>	
<b>Ta</b>	<b>To</b>
<b>0,65</b>	<b>-</b>
<b>n° maximo de unidades habitacionais =1</b>	
<b>n° max. de Pavimentos =2</b>	
<b>Altura maxima = -</b>	
<b>Area de Construção (m2)=A</b>	
<b>Recuos Minimos(m)</b>	
<b>Ruas</b>	
<b>Frontal</b>	<b>lateral</b>
<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Avenidas</b>	
<b>Frontal</b>	<b>lateral</b>
<b>6</b>	<b>3</b>

A implantação e tipologia dos loteamentos são resultado dos parâmetros encontrados na LUOS. O Município e o Estado podem deliberar sobre os índices mais adequados à sua localidade, mas tendo como padrões mínimos os apresentados na esfera federal. No âmbito federal, as leis que antecederam a Lei 6766/79<sup>7</sup>, foram as que moldaram a grande parte das cidades no Brasil, já que a maioria destas foi constituída anteriormente à promulgação da mesma.

<sup>7</sup> LEI N° 6.766, de 19 de dezembro de 1979, Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências.

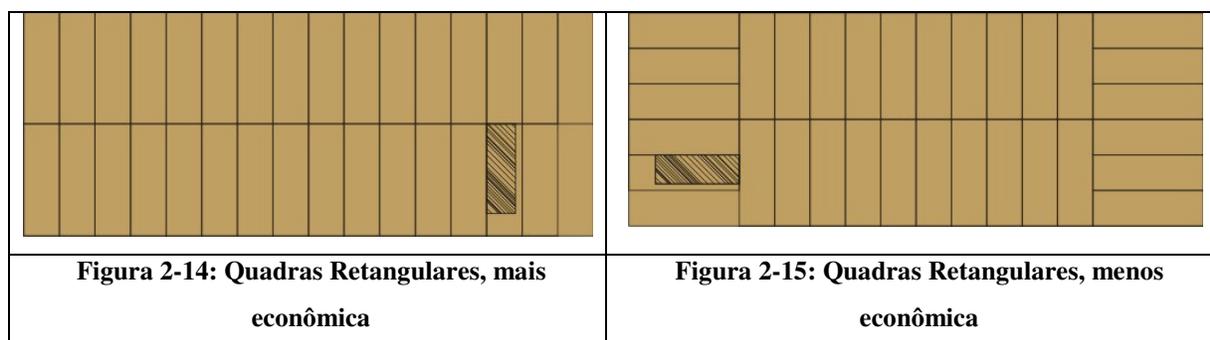
A Lei 6031 fixa o tamanho da frente mínima do lote (125,00 m<sup>2</sup> e 5,00 m de testada). São abertas duas exceções: os parcelamentos destinados à urbanização específica e os conjuntos habitacionais de interesse social.

Observando a forma com que o desenho das quadras interfere no parcelamento do solo das áreas habitacionais. Um aspecto que afeta o conforto das habitações são as formas das quadras e lotes. observa-se que elas têm a forma das figuras 2-12 e 2-13). (CHEQUE JUNIOR, 2006)



Fonte: adaptada de MASCARÓ, 1997

Na Figura 2-12, a metragem das redes de infra-estrutura chega a 400 metros e na Figura 2-13 chega a 200 metros, embora o número de lotes na quadra da figura 2-12, seja vinte e oito e na quadra da figura 2-13, é vinte. Já nos quarteirões retangulares (figuras 2-14 e 2-15), com o mesmo número de lotes, a solução mais econômica é demonstrada na Figura 2-14, pois a mesma apresenta uma redução de 20% na rede de infra-estrutura, em comparação com a Figura 2-15. (CHEQUE JUNIOR, 2006)



Fonte: adaptado de MASCARÓ, 1997

Quanto à forma dos lotes, os empreendedores tendem a minimizar a área do parcelamento, de forma a aumentar a quantidade de parcelas e maximizar o rendimento econômico do parcelamento. Para diminuição do custo, o que importa é a diminuição de frente do lote, diminuindo a cota de infra-estrutura. Este princípio de economia foi adotado por muitas prefeituras do país, como é o caso de Porto Alegre e São Paulo (CHEQUE JUNIOR, 2006). Além da proporção e área dos lotes pode-se também citar a largura das vias, densidades líquidas e brutas e equipamentos comunitários, afetados por este princípio, porém a economia não é tão lucrativa.

Grande parte dos empreendimentos habitacionais sociais da cidade de Campinas está situada em áreas consideradas desfavoráveis ao desenvolvimento urbano em grande escala, o que cria condições para o estabelecimento de assentamentos de população de baixa renda, devido ao baixo valor da terra. Conseqüentemente, estes empreendimentos revelam-se precários e inadequados às condições mínimas de qualidade esperadas, especialmente pelas características do projeto quanto à implantação, interferência no ambiente, flexibilidade, personalização, necessidades e anseios dos usuários (KOWALTOWSKI et. al., 2003).

Os conjuntos habitacionais de interesse social da região de Campinas, em sua maioria, são compostos de residências unifamiliares e unidades multifamiliares em conjuntos residenciais até cinco andares. Nestes conjuntos, a implantação geralmente segue o padrão do desenho urbano baseado na malha ortogonal e na simples repetição de unidades idênticas. Isto talvez possa ser associado ao fato de que a maioria das leis relacionadas à habitação, apenas estabelecem valores

mínimos para habitação de interesse social<sup>8</sup>. Na busca pelo melhor valor de custo, o valor considerado mínimo acaba tornando-se um padrão.

As diretrizes da política habitacional estabelecem que as habitações devam oferecer ao beneficiário condições de habitabilidade. Este termo é utilizado para designar a qualidade da habitação. A *ABNT*, segundo a *NBR 15575-1:2008*, sobre edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, estabelece no item 04 - sobre as exigências dos usuários com relação à habitação, a segurança, a habitabilidade,<sup>9</sup> a sustentabilidade e o nível de desempenho do projeto. O projeto melhora alguns índices de conforto e acessibilidade, já que o Capítulo VIII, da LUOS, intitulado “Das dimensões dos compartimentos”, seção I – artigos 89 cita a necessidade, porém não descreve como fazê-la.

Finalizando, as condições particulares do clima local e do lugar de implantação do edifício têm uma influência fundamental sobre estas soluções posto que, para o bom desempenho térmico das habitações destes sistemas, o primeiro ponto a ser estudado é o clima local do meio natural com qual interage. Sendo o local de inserção valorizado, tanto os aspectos ambientais quanto os culturais não possuem soluções imediatas a não ser aquelas que aparecem da análise das condições locais.

Segundo pesquisa desenvolvida por Labaki e Kowaltowski (1997) as recomendações projetuais básicas para o clima da região de Campinas são: temperatura do ar em torno dos 23°C,

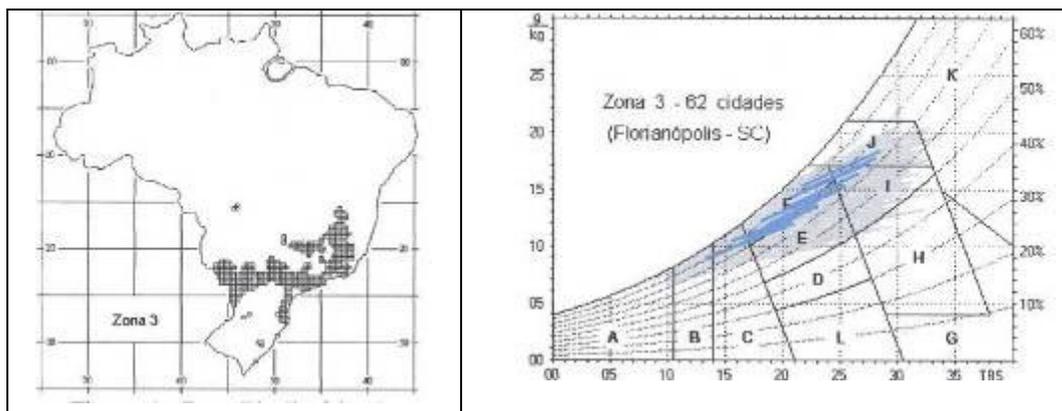
---

<sup>8</sup> O Capítulo VIII, da LUOS, art. 96, parágrafo único, é o único que estipula valores máximos para as áreas construídas.

<sup>9</sup> Para o conceito de habitabilidade, as exigências dos usuários referem-se aos fatores de Estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho luminoso, saúde higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico com relação à habitação.

ventilação cruzada na altura das pessoas sentadas; áreas de vidro não orientadas para leste e oeste; acabamento externo em cores claras e materiais cerâmicos nas superfícies externas. Em ambientes com atividades de longa duração, a presença do forro ou laje após a cobertura é essencial. Recomenda-se ventilação do espaço entre o forro e o telhado da construção e a preocupação com o entorno através do aumento de áreas verdes.

A norma ABNT, *NBR 15220 -03:05*, sobre Desempenho Térmico de Edificações, sugere para região de Campinas a Zona Bioclimática 3 (figura 2-16). As estratégias de projeto para a zona Bioclimática 3 no âmbito de condicionamento térmico, são a ventilação cruzada no verão e para inverno o aquecimento solar e paredes internas pesadas, aberturas para ventilação médias (15% a 25% da área do piso).



**Figura 2-16: Norma Bioclimática, Zona 3**

Fonte: *NBR 15220 -03:05*

A ASHRAE 55 (1992) delimita, para edifícios condicionados artificialmente, temperaturas operantes em torno de 24,5°C a 26°C; umidade relativa em torno de 60%; e velocidade do ar por volta de 0,2 m/s. Todavia as diretrizes são diferentes para edifícios climatizados naturalmente.

### 2.1.3 Habitação autoconstruída

O trabalho sobre a autoconstrução na cidade de Campinas, desenvolvido por docentes do departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, vem sendo desenvolvido há algum tempo, iniciado pelo projeto de pesquisa intitulado "Elementos sociais e culturais da Casa popular na metodologia de projeto" (KOWALTOWSKI e PINA, 1995).

Esta pesquisa investigou habitações autoconstruídas e auto-modificadas em conjuntos habitacionais na região de Campinas, SP. Procurou-se analisar as transformações encontradas nestas habitações, em relação aos seus objetivos e as alterações de qualidade na moradia da família de baixa renda. O conforto térmico foi uma atenção especial na análise destas edificações. Melhorias no controle da insolação e incentivo da ventilação podem ser facilmente embutidos em muitas das modificações efetuadas. Os resultados ressaltam a necessidade de apoio técnico na autoconstrução e de modificação dos padrões de conjuntos habitacionais, a fim de evitar desperdícios de recursos decorrentes da metamorfose da casa popular direcionando a evolução das moradias para avaliações positivas, melhorando seu desempenho (KOWALTOWSKI e PINA, 1995).

Os primeiros resultados, sobre os autoconstrutores da região, foram publicados em 1995, onde as casas autoconstruídas foram analisadas através de um banco de dados, feito por questionários aplicados a população e simulação computacional. Notou-se, na área de conforto, que quase todas as residências eram inacabadas, de tijolo cerâmico, telhas de fibrocimento ou cerâmica, revestimento externo cinza (somente chapisco), sem proteção contra a insolação direta. (CHVATAL ET. AL., 1995).

Nos bairros de autoconstrução, a incidência de modificações é de 70% e reflete a construção em etapas executadas sem planejamento prévio, caracterizando um círculo vicioso de construir, demolir, reconstruir, onde a reforma é uma constante em todo o bairro.

A qualidade habitacional envolve um conjunto de diferentes ordens de exigências e variáveis, área construída. A avaliação global da habitação não deve ser isolada de fatores como o conforto térmico, a iluminação, o contato direto com áreas externas ou paisagem, as cores, o condicionamento acústico e elementos decorativos. Entretanto, a noção de conforto ou a preocupação com aspectos de humanização da habitação ainda não parecem relevantes no universo estudado. Infelizmente, apenas uma parcela insignificante das transformações realizadas visa o conforto. O elemento principal do conforto térmico, a orientação solar, não é levada em consideração na implantação das casas no lote, na construção ou nas transformações. (KOWALTOWSKI e PINA, 1995).

O conhecimento sobre fatores ou elementos arquitetônicos que auxiliem na obtenção de conforto é praticamente nulo entre os construtores, porém são citados elementos como janelas grandes (46,3%) ou pé-direito alto (16,7%) para amenizar o calor. A prática freqüente das transformações, no entanto, ocorre exatamente na direção contrária, como, por exemplo a substituição por janelas de área de ventilação menor, sob a alegação de segurança e estética. (KOWALTOWSKI e PINA, 1995). Neste sentido, também se torna cada vez mais comum a obtenção de mobiliários não condizentes com o tamanho real do cômodo. O que acarreta, por exemplo, a colocação de estantes na frente de janelas, sobrepondo e obstruindo a passagem de luz e fluxo do movimento do ar. (KOWALTOWSKI e PINA, 1995).

As razões da alta taxa de modificações são relacionadas primeiramente a fatores econômicos. Outros motivos, como falta de planejamento, familiaridade com o processo construtivo, falta de fiscalização pelos órgãos responsáveis, sem contar condicionantes climáticas

podem e são encontrados. Porém o maior motivo das transformações é a inadequação da casa ao espaço mínimo desejado. nas habitações segundo pesquisa. A análise em casas autoconstruídas, que já sofreram varias alterações, mostra que as áreas dos ambientes tendem a: cozinha (13,0m<sup>2</sup>), sala (14,0m<sup>2</sup>), quarto (11,0m<sup>2</sup>), quarto de casal (12,5m<sup>2</sup>), banheiro (4,3m<sup>2</sup>) (KOWALTOWSKI e PINA, 1995). Como a área total da casa fica em torno de 85,00 m<sup>2</sup>, é clara a diferença de área construída entre os padrões habitacionais entregues para a população de baixa renda e as áreas encontradas nas habitações.

Outro destaque apresentado por Kowaltowski e Pina, 1995, é que a localização dos ambientes, no conjunto da casa, segue um padrão. Pelos dados coletados com uma alta taxa de ocorrência (67%), os ambientes sala e cozinha ocupam a frente e o fundo respectivamente da casa, variando somente em casas com área total acima de 100m<sup>2</sup>, onde copa/cozinha e ocupam uma posição central. Dentro deste padrão se gasta pouco em área de circulação para otimizar o perímetro da construção; porém ocorre perda de funcionalidade e falta de separações das zonas sociais e privadas na casa. Também foi observada uma relação inversa entre o tamanho da família, tamanho de casa e número de cômodos, que as transformações periódicas das casas não eliminam. Apesar do alto nível de transformações presentes no universo pesquisado, as casas convergem a um padrão de solução de planta baixa e de fachada com reflexo mínimo de mudanças sociais, culturais e tecnológicas (KOWALTOWSKI e PINA, 1995).

Na documentação da casa popular consta a tipologia edícula como solução arquitetônica freqüentemente adotada pela população de baixa renda. O formato da casa de fundo é classificado como o mais precário e com mais problemas de agenciamento dos cômodos (figura 2-17). A freqüência das transformações está diretamente relacionada com o tipo de projeto. Assim o tipo que mais sofreu alteração foi a casa do tipo edícula (100%) (KOWALTOWSKI e PINA, 1995) (Figura 2-18).



**Figura 2-17: Edícula**

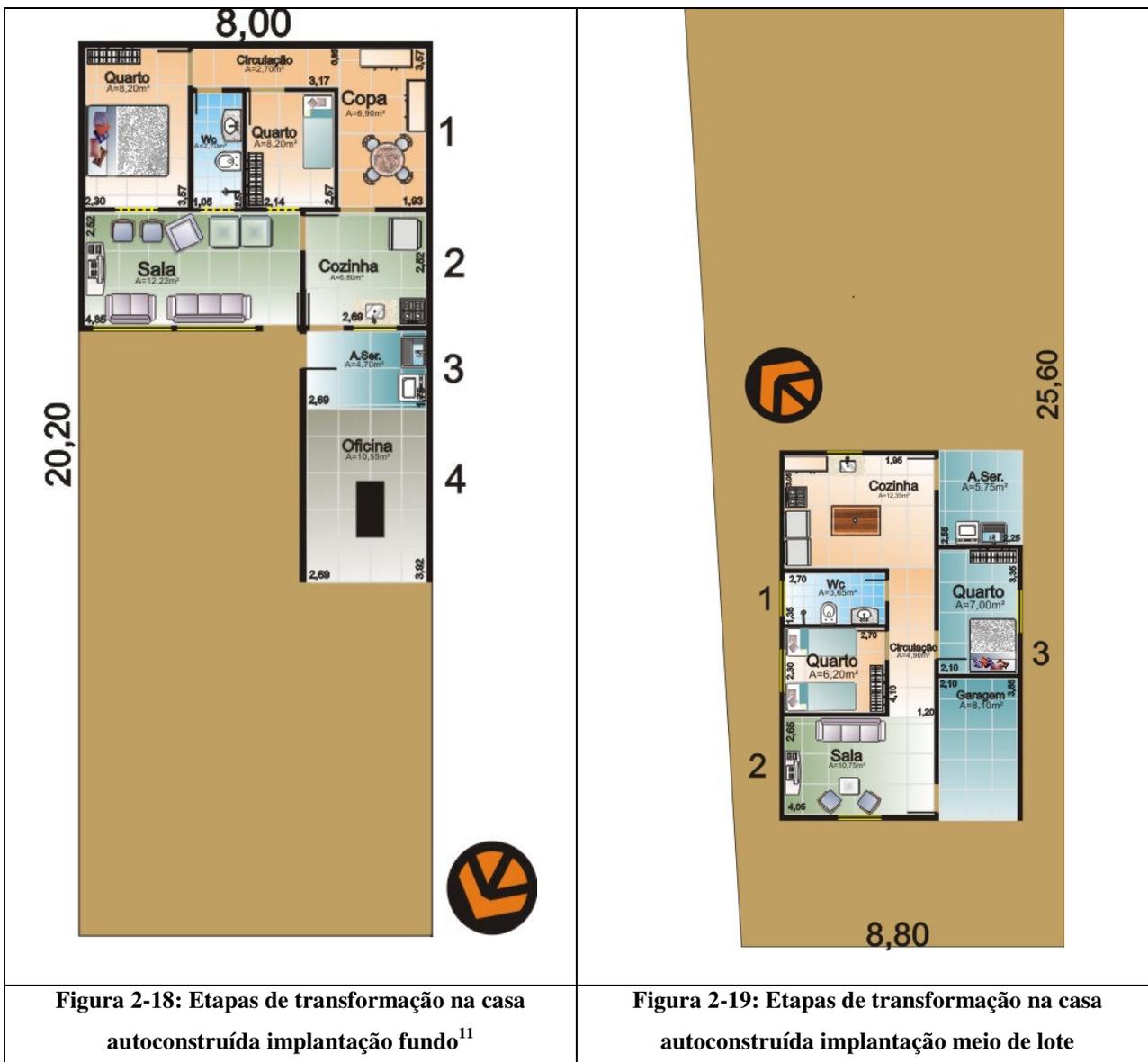
Fonte: Autora, baseado em Mascaró

No ambiente dos loteamentos populares, onde predomina a autoconstrução, soluções mais complexas são de difícil aplicação, pois falta o domínio de técnicas construtivas e as casas surgem individualmente. A tipologia da casa de fundo aparece no cenário da arquitetura residencial com o desaparecimento do porão, quando a casa da burguesia desloca as funções menos nobres para os fundos do lote em construções simples. A família de baixa renda adotou a edícula como forma rápida e econômica de resolver o problema de moradia. A construção nos fundos é considerada provisória, mas a realização de uma casa melhor no centro do lote raramente acontece. (KOWALTOWSKI, LABAKI, PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO e GOMES, 1995).

Em 1995, Kowaltowski e Pina, identificam na região de Campinas/SP, 97 bairros com características de autoconstrução e 33 conjuntos habitacionais, sendo selecionados aleatoriamente para a amostra cinco bairros e três conjuntos habitacionais<sup>10</sup> constatou-se que 25% das casas

<sup>10</sup> No total, 64 casas autoconstruídas e 95 casas de conjuntos habitacionais foram classificadas em relação ao tipo de planta, áreas e número de cômodos, sua implantação e orientação solar.

autoconstruídas eram em formato de edícula localizadas no fundo do lote, enquanto 4% das casas são do mesmo tipo de projeto com implantação lateral. Das casas tipo edícula, 28% são habitadas por famílias grandes, com mais de quatro pessoas, confirmando a tendência detectada no universo pesquisado, de relação inversa entre tamanho de família e tamanho de casa.



Fonte: KOWALTOWSKI e PINA, 1995

<sup>11</sup> Os números 1, 2 3 e 4 equivalem as cores pêssego, verde, azul e cinza respectivamente. Estas cores e números demonstram as fases e aspirações do usuário em que a edificação foi alterada.

Na visão de Kowaltowski, Labaki, Pina, Bertoli, Ruschel, Favero e Gomes (1995), a edícula é o projeto de casa freqüentemente adotada para solucionar com rapidez o problema da moradia. A casa recuada no centro do lote torna-se um sonho raramente realizado no cotidiano das periferias urbanas brasileiras; porém as observações indicam que a casa popular evolui através dos anos, especialmente em relação à adequação de área útil construída.

Os estudos estatísticos provenientes das edificações visitadas e pessoas entrevistadas relatam que 74% das edículas são consideradas boas ou satisfatórias pelos moradores. Contrariamente a boa aceitação, pelos moradores, da construção tipo edícula, a avaliação dos questionários aplicados refletem insatisfações, no que diz respeito aos aspectos positivos e negativos destas tipologias. As insatisfações aparecem descritas em pormenores; numa porcentagem maior do que em outras tipologias habitacionais, sendo mais citado os problemas referentes a superlotação e ao formato da moradia, por sua vez o principal determinante de conforto. (KOWALTOWSKI, LABAKI, PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO e GOMES, 1995)

Tendo em vista ainda que no levantamento de preferências de casa, a planta da edícula representa apenas 4% e a sua fachada 5% no universo pesquisado, a ocorrência relativamente grande de construção desta tipologia de casa está em discussão. (KOWALTOWSKI, LABAKI, PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO e GOMES, 1995).

Kowaltowski, Labaki, Pina, Bertoli, Ruschel, Favero e Gomes (1995), entendem como indicador dessa insatisfação, a grande porcentagem de reformas, alterações e adições realizadas nas casas autoconstruídas do tipo edícula: 100% de edículas de fundo e 40% de casas com implantação lateral. Em relação aos defeitos observados, 40% das casas de fundo apresentam problemas de conforto. Estes problemas ocorrem em função das modificações realizadas; já que as adições de cômodos no projeto original causam obstruções a aberturas de iluminação e

ventilação. Pela avaliação dos próprios moradores, a principal falha é a falta de espaço, falhas construtivas e falta de conforto. (KOWALTOWSKI, LABAKI, PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO e GOMES, 1995).

A acomodação do programa de necessidades pelo usuário determina a forma da casa no projeto arquitetônico, e a edificação em formato de edícula gera problemas de funcionalidade. O projeto que usa como determinantes da forma os limites laterais e de fundo do lote, tem número reduzido de ambientes de passível acomodação e o relacionamento entre cômodos é somente linear. O máximo de cômodos em lotes de dez metros de largura é cozinha, sala, quarto e banheiro, mas com dimensões e sem acomodar o programa arquitetônico mínimo desejado da casa popular, composto de quatro cômodos (sala, cozinha e dois quartos) com um banheiro e área de serviço. A área total das casas de fundo no seu projeto original é de 40 m<sup>2</sup>, este valor por adição de cômodos no projeto original tende a uma área mínima de 85 m<sup>2</sup>. A duplicação da área construída, aliada ao não conhecimento construtivo, acarretam soluções que quase sempre comprometem a funcionalidade da casa, circulação e o conforto dos ambientes da planta original. A figura 2-20 demonstra um exemplo de projeto de edícula baseado na maioria das edificações encontradas. (KOWALTOWSKI, LABAKI, e PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO E GOMES, 1995).



**Figura 2-20: Casa autoconstruída, a cor pessego indica o projeto da casa original .**

Fonte: Kowaltowski, Labaki, Pina, Bertoli, Ruschel, Favero e Gomes, 1995

O desempenho térmico da casa popular depende de fatores como: localização e tamanho das aberturas, sombreamento, ventilação, cores e espessura das paredes externas. Desta maneira o projeto da casa de fundo com possibilidade somente de aberturas unilaterais, sem escolha adequada de orientação, e falta de detalhes específicos para o sombreamento e a ventilação, cria situações inadequadas de conforto térmico para vários tipos de clima. (KOWALTOWSKI, LABAKI, e PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO E GOMES, 1995).

Nota-se que estas casas não buscam conforto em suas alterações, elas estão baseadas apenas no aumento da área útil, o que limita às edificações, às alterações de planta baixa, sem nenhuma preocupação de salubridade em relação à ventilação e iluminação. (KOWALTOWSKI e PINA. 1995).

Através de simulação computacional (*software* Arquitrop), de duas residências que possuem materiais construtivos semelhantes e orientações não muito diferentes, (Figuras 2-22 e 2-23) constatou-se que, no verão, ambas são desconfortáveis, sempre com a temperatura interna maior do que a externa. Essa diferença é maior durante a noite, devido ao fechamento das janelas nesse período (CHVATAL ET. AL., 1995).



**Figura 2-21: Habitações autoconstruídas utilizadas na simulação pelo Arquitrop**

Fonte: Chvatal et. al., 1995



**Figura 2-22: Habitações autoconstruídas utilizadas na simulação pelo arquitrop**

Fonte: Chvatal et. al., 1995

Na casa de fundo, o próprio projeto, permitindo aberturas apenas em uma fachada, não permite a circulação do ar, situação esta agravada pela lotação excessiva e pelas adições posteriores de cômodos. Neste cenário recomendam-se projetos de casas que naturalmente, através da forma, de uma implantação adequada com recuos dos limites do lote e de detalhes construtivos específicos encaminhem a evolução da casa para um resultado positivo de conforto. (KOWALTOWSKI, LABAKI, e PINA, BERTOLI, RUSCHEL, FAVERO E GOMES, 1995).

É proposto por Kowaltowski e Pina, 1995, evitar tipologias de casas como a edícula e o sobrado, menos favoráveis a modificações. O prejuízo da casa do tipo edícula alterada é a falta de ventilação, insolação, iluminação dos ambientes originais e problemas construtivos na configuração do telhado. A tipologia sobrado mesmo que muito desejada, também apresenta uma evolução construtiva problemática, onde o telhado é criado somente na conclusão da casa, expondo cômodos iniciais a infiltrações).

De uma maneira geral, não se encontra nas casas autoconstruídas a presença sistemática de elementos arquitetônicos tradicionais positivos, demonstrando que a população de autoconstrutores não tem uma preocupação ou não prioriza, as questões climáticas. Contudo, se o conhecimento sobre as diretrizes projetuais da arquitetura tradicional for transmitido para os autoconstrutores, isso poderia acarretar uma melhora no desempenho térmico das mesmas, já que a arquitetura vernácula tradicional é internacionalmente conhecida por ter uma consciência profunda do clima e por garantir níveis satisfatórios de qualidade ambiental às construções (WATRIN e KOWALTOWSKI, 2003).

Oliveira et. al (2005), considerando a amostra usada por Watrin e Kowaltowski (2003), analisaram a posição das aberturas das casas verificando que a população de autoconstrutores quer pelo tamanho do lote, pelas transformações ocorridas e/ou falta de interação entre o projeto e seu entorno, não utilizam a ventilação natural corretamente no interior das habitações. Com base nesses arquivos da pesquisa, foi feito o levantamento das casas segundo a implantação, os cômodos existentes e a presença de proteção solar. As edificações também foram organizadas segundo: número de cômodos, número de pavimentos, presença de varandas, beiral e quintal, quadro de áreas, posição nos lotes, taxa de ocupação, aberturas dos dormitórios a SE<sup>12</sup> e porcentagem de fluxo de vento.

A primeira relação acontece entre a implantação das casas nos lotes, número de cômodos

---

<sup>12</sup> A direção SE para ventos predominantes é reconhecida como a mais favorável para Campinas. Para estabelecer uma metodologia de pesquisa foi escolhida as aberturas dos quartos das edificações, já que é imprescindível uma boa qualidade do ar neste cômodo.

e proteção solar das habitações. No quadro 2-7<sup>13</sup> verifica-se que as áreas de abertura estão diretamente relacionadas com a posição do lote na quadra. Ainda sobre os 151 questionários foi feito o levantamento da implantação das casas, área construída e da taxa de ocupação dos lotes, conforme quadro 2-7 e 2-8.

**Quadro 2-6: Implantação das habitações em 2000.**

edificação	pavimentos	orientação do lote	orientação janela dos quartos	edificação	pavimentos	orientação do lote	orientação janela dos quartos	edificação	pavimentos	orientação do lote	orientação janela dos quartos
N°	N°	PC	PC	N°	N°	PC	PC	N°	N°	PC	PC
1	2	NE	NE-SE	32	1	SO	NO	66	1	Se	SE-NO
2	2	NE	NE-SE	34	1	NO	No-SE	100	1	O	O
5	1	NE	NE-SE-SO	35	2	SO	NO	100	1A	O	O-S
6	1	NO	SO	36	1	SO	SO	118	1	O	S
7	2(juntas)	NO	SO	37	1	SO	SO-SE-NE	121	1	SO	NE
9	1	NO	NO	38	1	NE	NE-SE	122	1	NE	Ne-SO
10	1	NO	NE-SE	40	1	NE	NE-So	125	1	SO	NE
11	1	NE	SE-NE	41	1	SO	So-NE-SE	129	1	SO	SO-NO
12	1	NE	SE-SO	42	1A	NO	No-Se	129	1A	NO	NO-SE
13	1	SO	SO-NE-SE	46	1	NE	No-SE	131	1	NE	NE-So
14	2(juntas)	SO	NO	48	1	SO	So-NO	132	1	SO	SE-NE
15	1	SO	NE-SO	49	1	So	So-SE	133	1	SE	SE-NO
18	1	SO	SO	50	1	SO	NE	134	1	SO	So-NE
19	1	SO	NO	52	1	SO	So-NE	140	1	No	So
26	1	SO	NE-SO	56	1	L	L	140	1A	SE	SE-NO
27	1	SO	SE	57	1	L	L-S-O	147	1	So	So-NE
30	1	Ne	NE	65	1	So	So-SE				

Fonte: Oliveira et. al., 2005

Da posição dos lotes percebe-se que 27 casas localizam-se no meio do lote, 82 à frente do lote e 42 na parte de trás do lote. Todas as casas são encostadas em alguma das 2 laterais, sendo que 49 casas estão encostadas nas duas laterais. Quanto às áreas construídas 29 habitações

<sup>13</sup> O quadro 2-7 assim como os subseqüentes, relatam apenas os questionários aplicados ao bairro São José e também daqueles que tem abertura a SE.



(quadro 2-9).

**Quadro 2-8: Taxa de Ocupação para lotes padrões de 126m<sup>2</sup>**

áreas									
Edificação	pavimentos	Área total construída	Área quintal	Te	Edificação	pavimentos	Área total construída	Área quintal	Te
Número	quantidade	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		Número	quantidade	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	
1	2	140,8	55,6	0,6	46A	1	123,01	2,99	1,0
2	2	150,56	24,56	0,6	48	1	103,6	22,4	0,8
5	1	87,63	38,37	0,7	49	1	117,25	8,75	0,9
6	1	97,35	28,65	0,8	50	1	86,88	39,12	0,7
7	2	40,1	85,9	0,2	52	1	33,4	92,6	0,3
9	1	70	56	0,6	56	1	90,6	35,4	0,7
10	1	84,4	41,6	0,7	57	1	32,81	93,19	0,3
11	1	96,7	29,3	0,8	65	1	67,55	57,45	0,5
12	1	70	56	0,6	66	1	77,01	47,99	0,6
13	1	67	59	0,5	100	1	83,33	11,49	0,7
14	2	70,5	55,5	0,3	100	1	30,18	11,49	0,2
15	1	88,7	37,3	0,7	118 <sup>a</sup>	1	94,52	30,48	0,8
18	1	54	72	0,4	121	1	80,68	44,32	0,6
26	1	100,85	25,15	0,8	122	1	85,66	39,34	0,7
27	1	48,5	77,5	0,4	125	1	81,83	43,17	0,6
30	1	36,7	89,3	0,3	129 <sup>a</sup>	1	71,75	53,25	0,6
32	1	51,6	74,4	0,4	129B	1	23,1	101,9	0,2
34	1	53,34	72,66	0,4	131 <sup>a</sup>	1	92,58	32,42	0,7
35	1	177,9	35,5	1,4	132	1	82,43	42,57	0,7
36	2	33,5	92,5	0,1	133	1	88,2	36,8	0,7
37	1	78,4	47,6	0,6	134	1	89,22	35,78	0,7
38	1	84,1	41,9	0,7	140 A	1	45,17	34,66	0,4
40	1	71,8	54,2	0,6	140 B	1	45,17	34,66	0,4
41	1	87	39	0,7	147 <sup>a</sup>	1	72,73	52,27	0,6
42A	1	48,43	53,57	0,4					

Fonte: Oliveira et. al., 2005

Oliveira et. al (2005), observam que das 151 habitações visitadas, 40 delas apresentavam as aberturas dos quartos voltadas para Sudeste e outras 40 para leste ou Sul. Os resultados são mostrados na quadro 2-10: 39 casas possuem a orientação das aberturas nos dormitórios dos

quartos voltadas para Sudeste, 33 casas possuem orientação dos quartos voltada para Leste ou Sul.

Através do levantamento das áreas internas e externas das habitações e da verificação da velocidade do vento na área urbana foi possível avaliar a situação atual da velocidade interna do ar dessas habitações. A amostragem levou em consideração a localização das áreas de entrada e saída do vento, e a orientação das aberturas, segundo os resultados encontrados.

**Quadro 2-9: Relação das Áreas encontradas para edificações com aberturas de dormitórios voltadas a Sudeste**

Edificação	Área edificação	Área do quarto	Distância janela/muro	Área da janela	% área janela / piso	Edificação	Área edificação	Área do quarto	Distância janela/muro	Área da janela	% área janela / piso
número	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	número	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
1	140,8	16,7	2,35	1,2	7,19	15	87	7	1,15	1,2	17,14
2	150,56	16	2,8	1,2	7,50	16	85,66	7	5,4	1,2	17,14
3	87,63	13	4,28	1,2	9,23	17	78,4	6,9	1,15	1,2	17,39
4	67,55	10,25	4,15	1,2	11,71	18	92,58	6,9	1,15	1,2	17,39
5	71,75	10	2,3	1,2	12,00	19	77,01	6,8	1,3	1,2	17,65
6	48,5	9,8	3,5	1,2	12,24	20	48,43	6,7	2,5	1,2	17,91
7	81,83	9,8	1,15	1,2	12,24	21	84,1	6,6	1,15	1,2	18,18
8	70	9,6	1,05	1,2	12,50	22	84,4	6,5	3,05	1,2	18,46
9	72,73	9,5	7,45	1,2	12,63	23	53,34	6,5	6,45	1,2	18,46
10	33,4	8,8	3,7	1,2	13,64	24	45,17	6,5	1	1,2	18,46
11	117,25	8	1,15	1,2	15,00	25	67	6,2	1,15	1,2	19,35
12	123,01	7,8	1,15	1,2	15,38	26	45,17	6,2	5,1	1,2	19,35
13	82,43	7,8	3	1,2	15,38	27	96,7	5,5	0,85	1,2	21,82
14	94,52	7,13	1,15	1,2	16,83	28	89,22	5,2	1,15	1,2	23,08

Fonte: Oliveira et. al., 2005

Seguindo a metodologia proposta por Boutet<sup>14</sup>, (1987), pode ser visto no quadro 2-10, que a distância das aberturas dos quartos aos muros de divisa de lote, fica em torno de 1,15 a 7,45 m. O quadro 2-11 demonstra que, das 30 habitações com aberturas a Sudeste estudadas, apenas 9 conseguem estabelecer 25% da velocidade para a área urbana de implantação. Das 1500 casas

<sup>14</sup> Ver capítulo sobre ventilação natural

auto construídas, 150 foram analisadas e somente 30 casas possuíam aberturas nos quartos a SE. Destas casas voltadas a SE se não fossem supostas obstruções (muros), a velocidade do vento interno ficaria em torno de 30 a 45% da velocidade do vento urbano.

Como todas as casas possuem muros de divisa, a velocidade do vento sofre influência direta e apenas 9 casas conseguem manter a ventilação natural com velocidade em torno de 10% do fluxo da área urbana, o que significa velocidades internas em torno de 0,01 a 0,13m/s.

No que diz respeito à norma NBR1523:05, as áreas para ventilação de 50% das residências a SE, estão no limite de 15 a 25% estipulado. Desta maneira, as habitações precisariam ser reprojatadas para os locais onde foram implantadas.

**Quadro 2-10: Resultados dos Quartos voltados a SE**

edificação	Área total	% de Fluxo de Vento Segundo Boutet	Distância da janela SE ao muro	edificação	Área total	% de Fluxo de Vento Segundo Boutet	Distância da janela SE ao muro
número	m <sup>2</sup>	%	m	número	m <sup>2</sup>	%	m
1	140,8	0	2,35	16	81,83	0	1,15
2	150,56	0	2,8	17	71,75	0	2,3
3	97,3	0	3,15	18	92,58	0	1,15
4	84,4	0	3,05	19	82,43	0	3
5	96,7	0	0,85	20	89,22	0	1,15
6	70	0	1,05	21	45,17	0	1
7	67	0	1,15	22	53,34	25	6,45
8	48,5	0	3,5	23	87,63	25	4,28
9	78,4	0	1,15	24	33,4	25	3,7
10	84,1	0	1,15	25	67,55	25	4,15
11	87	0	1,15	26	85,66	25	5,4
12	123,01	0	1,15	27	36,47	25	11,7
13	117,25	0	1,15	28	45,17	25	5,1
14	77,01	0	1,3	29	72,73	25	7,45
15	94,52	0	1,15	30	48,43	25	2,5

Fonte: Oliveira et. al., 2005

As fotos das fachadas das casas com aberturas a SE são mostrados na figura 2-23. As mesmas são referentes ao levantamento feito em 2000 por WATRIN(2003).



**Figura 2-23: Fotos edificações com aberturas a SE**

Fonte: Oliveira et. al., 2005

A maioria dos questionários de 2000 foi aplicada nos loteamentos Jardim São Luiz e Jardim São José (figura 2-24), optando-se pelo levantamento fotográfico dos mesmos. O Jardim São José (figura 2-25) e o Jardim São Luiz foram visitados pela equipe do projeto DATAHABIS<sup>15</sup>.

As visitas começaram em março de 2005 e terminaram em julho de 2006. Neste período foram realizadas várias atividades. No que diz respeito à ventilação avaliou-se: reconhecimento de área, levantamento fotográfico, caracterização do bairro, mapas e protótipos das residências em 3D, verificação de transformações projetuais ocorridas nos projetos executado em 2000.

Estabeleceu-se também as características para as casas visitadas: uso, cobertura, revestimento edificação, material de divisa, calçada e vegetação arbórea, ou seja elementos de entorno que acabam acarretando na orientação do fluxo do vento no interior das habitações.

<sup>15</sup>Projeto FINEP “Difusão e aplicação de tecnologia em áreas habitacionais de interesse social para a construção de ambientes saudáveis e sustentáveis em campinas – SP”, chamada pública MCT/ FINEP/ VERDE AMARELO - HABITARE 02/2004

O quadro 2-12 mostra as edificações encontradas, em 2005, no do Jardim São José, com abertura de quartos a SE, sendo estes numeradas pela aplicação dos questionários 2, 5, 11, 122, 129, 131 em 2000. Junto com o quadro pode-se observar os levantamentos fotográficos das casas, ocorridos em 2000 e 2005. O levantamento fotográfico e a visita ao local foram fundamentais para a observação das alterações sofridas no bairro.

**Quadro 2-11: Questionários do bairro são José, com abertura de quartos a SE:**

Número do Questionários Em 2000	Endereço	Foto 2000	Foto 2006	Número do Questionários Em 2000	Endereço	Foto 2000	Foto 2006
2	Rua 16- 39			122	Rua 11-715		
5	Rua 16-159			129	Rua 11-729		
11	Rua 4-22			131	Rua 7- 125		

OLIVEIRA et al, 2006, com base nos dados do projeto DATAHABIS, analisam 20 casas que possuíam situações de implantação diferentes e janelas padrão de 4 folhas, sendo apenas duas para abertura no padrão de 1,10 de altura por 50 a 60 cm de abertura. Das 20 habitações analisadas, 40% delas sofreram intervenções prejudiciais em relação a ventilação, assim como a influência das alterações das fachadas, pois a colocação de muros e grades afetou diretamente a relação do lote com seu entorno, diminuindo ainda mais o fluxo de ar no interior das habitações.

Se for usado os padrões da NBR 15220:05 para as edificações analisadas constata-se que as áreas de ventilação também não são condizentes com os valores estabelecidos, ou seja, não há nenhuma preocupação com a melhoria das aberturas, além do que das alterações feitas nas fachadas agravam as situações internas.

## 2.2 Ventilação natural: Relação Urbana e Edificações

A ventilação natural em uma edificação pode ocorrer por: (1) diferenças da pressão nas fachadas do edifício, causado pelo vento; (2) diferenças de pressão devido às diferenças da temperatura entre a parte interna e externa (efeito chaminé); (ASHRAE, 2001).

Os padrões locais de ventilação, obtidos em aeroportos próximos, podem ser analisados através da simulação, em túnel aerodinâmico (AYNSLEY et al., 1977). Quando simulações em túneis de vento não são possíveis, pode-se estimar as direções e velocidades dos ventos usando três princípios que governam o movimento do ar: a) a velocidade do vento é menor próximo à superfície da terra do que nas partes mais altas da atmosfera; b) o ar tende a continuar movendo-se na mesma direção até encontrar um obstáculo (inércia); c) o ar flui de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão.

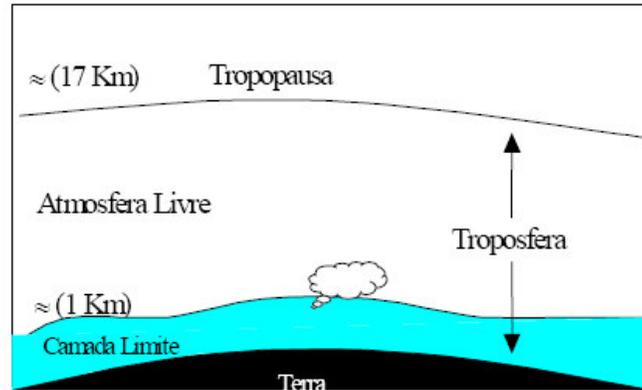
A atmosfera é usualmente dividida em camadas em função do perfil vertical médio de temperatura. A camada mais baixa da atmosfera, a troposfera, é caracterizada por apresentar uma diminuição da temperatura com a altura, podendo atingir uma altura de aproximadamente 11 km. O vento é parte da circulação da camada atmosférica mais baixa, a troposfera. Existe um gradiente vertical de temperatura do ar, nesta camada o ar diminui à medida que a altitude aumenta, sofrendo também ações do fluxo de calor durante o período do dia e da noite, de maneiras diferenciadas (OKE, 1987).<sup>16</sup>

A parte mais baixa da troposfera, que é diretamente afetada pela superfície da terra, é conhecida como camada limite e surge devido à interação entre a atmosfera e a superfície da terra. Segundo Stull (1988), a camada limite pode ser definida como a camada de ar acima da superfície da terra na qual os efeitos da superfície são sentidos diretamente numa escala de tempo

---

<sup>16</sup> A taxa de variação da temperatura pode ser considerada constante nos primeiros 11 km, apresentado um decréscimo de 6,5 K por quilometro após esta altura.

de uma hora ou menos, definindo-se como a parte mais baixa da atmosfera, vizinha à superfície da terra. (figura 2-24).



**Figura 2-24: Divisão da Troposfera**

Fonte: Stull, 1988

A importância da Camada Limite deve-se ao fato de que nesta região da atmosfera as pessoas vivem e nela ocorrem os fenômenos atmosféricos que interferem diretamente nas suas vidas. Temperatura, vento, umidade, mistura de poluentes e transportes turbulentos são variáveis estatísticas relevantes para o estudo de fenômenos meteorológicos que acontecem na camada limite.

O fluxo do vento em contato com uma superfície está sujeito aos efeitos do atrito, determinados pelo grau da rugosidade da superfície. O aumento da velocidade ao longo de um eixo livre de obstruções gera um gradiente da velocidade do vento: quanto maior a rugosidade da superfície, maior será o gradiente.

Pull e Oke (1987) acreditam que o clima e o tempo dependem exclusivamente das variáveis locais de implantação do edifício. Assim a camada limite sofre alterações dependendo dos elementos naturais e/ou construtivos presentes no solo.

A topografia influencia a velocidade, pois a mesma varia de forma inversamente proporcional à pressão. Ao atingir um obstáculo natural, determinado por uma mudança brusca de curva topográfica (altura), espera-se que o fluxo nas paredes incidente (barlavento) sofra

deformações diversas. Colinas, vales, montanhas, depressões, identificam zonas de pressão altas e baixas diferenciadas. O local de implantação da área estudada é de fundamental quando se pretende estabelecer os valores da velocidade do vento, incidentes nas edificações.

A incidência do vento numa edificação depende primeiramente do local em que a edificação está inserida. Quando o vento atinge um anteparo como uma edificação ou colina, cria-se uma zona de alta pressão e velocidade crescente a barlavento do objeto e uma zona de baixa pressão e com velocidade menor a sotavento. O vento que atinge um acidente geográfico como o lado de uma colina, é defletido, neste caso o efeito de turbulência é acelerado e a velocidade diminuída na parte posterior da edificação.

O diferencial de pressão através de uma edificação é a força motriz para a ventilação e, portanto, modificações de campos de pressão das construções implicam em mudanças nas características do fluxo de ar nos espaços arquitetônicos. Muitos erros na avaliação do fluxo de ar no interior de uma construção decorrem de não se levar em conta o efeito das construções vizinhas no movimento de ar. O tecido urbano pode reduzir drasticamente a velocidade do vento, devido à alta rugosidade da estrutura urbana e deflexões causadas por estruturas maciças. O arranjo das construções, sua configuração e a presença de obstáculos externos também representam papel relevante na modificação do perfil do vento.

A variação da velocidade do vento com a altura para terrenos diferentes, pode ser usada para estimar a diferença entre a velocidade do vento medida em postos meteorológicos e a provável redução no local (CHANDRA et al. 1986). Os dados sobre ventos geralmente são coletados em aeroportos e a velocidade e a orientação dos ventos em um sítio pode ser bastante diferente (ROBINETTE, 1972).

As alterações da velocidade do vento ocorrem, em parte, pela irregularidade do solo; assim o perfil do vento depende do tipo de rugosidade de terreno ao qual pertence (MELARAGNO, 1982).

As velocidades do vento medidas no terreno e junto ao solo são geralmente mais baixas do que aquelas medidas em postos meteorológicos, responsáveis pelos valores referenciais dos dados climatológicos. Do mesmo modo, locais muito expostos, ou edificações localizados em altitudes maiores do que a torre de medição, provavelmente apresentarão maiores velocidades. Quando são conhecidas as médias mensais da velocidade do vento, obtidas em um posto meteorológico, pode-se calcular a velocidade do vento em determinado local, em função da altura e da rugosidade do terreno. Pressupondo-se que as velocidades dos ventos foram medidas à altura de 10(dez) metros acima do solo, utiliza-se a velocidade dada pela equação 1 (AWBI, 1996).

$$\frac{V}{V_r} = cH^a \quad 1$$

Onde:

V= Velocidade média do ar a uma altura H acima do solo (m/s).

Vr = Velocidade média do vento medida num posto meteorológico (normalmente a 10 metros do solo – m/s).

c e a = fatores que dependem do terreno, quadro 2-13, apresentados na figura 2-25:

**Quadro 2-12: Valores dos coeficientes c e a**

<b>Terreno</b>	<b>c</b>	<b>a</b>
Campo Aberto	0,68	0,17
Campo com poucos Obstáculos	0,52	0,20
Área Urbana	0,35	0,25
Centros Urbanos	0,21	0,33

**Fonte: AWBI, 1996**

A rugosidade urbana altera o sentido (horizontal e vertical) da velocidade local do vento; sendo influenciada pela topografia e massas de ar provenientes das edificações existentes no entorno (figura 2.25).

O fluxo de ar se comporta de acordo com a topografia, altitude, latitude e alterações humanas existentes em determinado espaço físico.

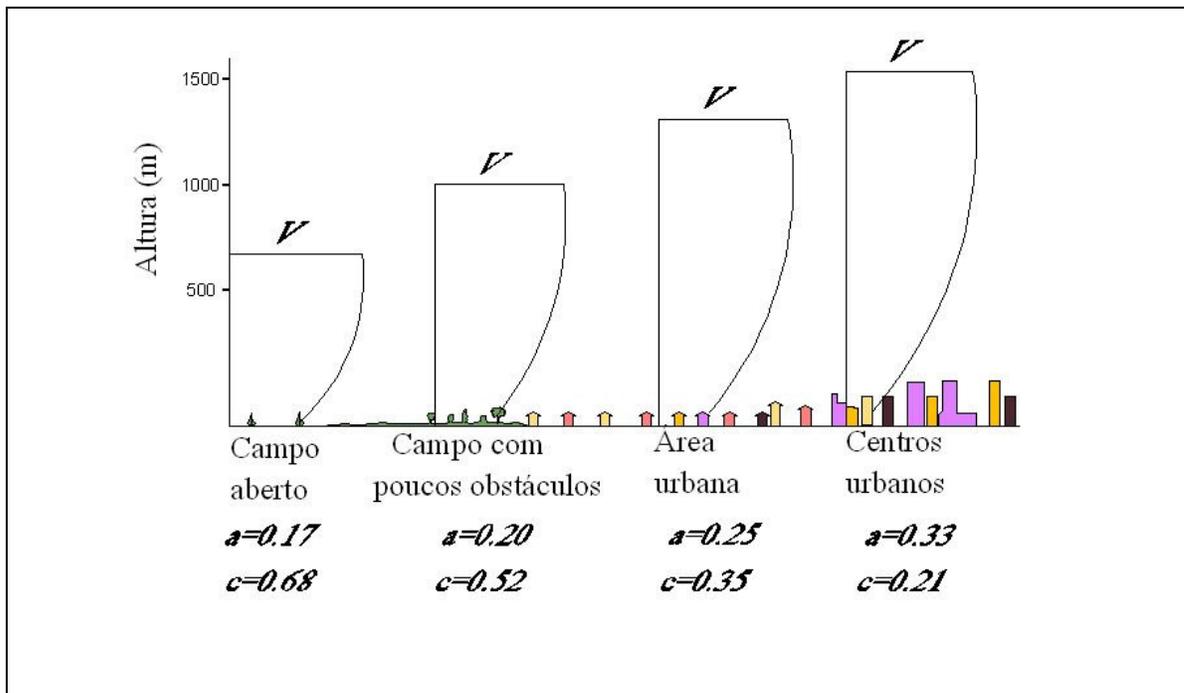


Figura 2-25: Velocidade média (V) do vento conforme rugosidade do terreno

Fonte - Jackman, 1980.

A média horária da velocidade do vento  $U_H$ , a uma altura  $H$  acima da superfície pode ser calculada a partir dos valores obtidos em estação meteorológica,  $U_{met}$ , pela equação 2:

$$U_H = U_{met} \left( \frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{a_{met}} \left( \frac{H}{\delta} \right)^a \quad 2$$

Onde

$\delta$  = espessura da camada de limite;

$a$  = coeficiente do terreno no local da construção

$a_{met}, \delta_{met}$  = obtidos no quadro 2-14

$U_H$  = média horária da velocidade do vento;

$H$  = altura de medição da velocidade do vento

Os valores  $\delta$ ,  $a$ ,  $am_{et}$  e  $\delta_{met}$  são determinados pelo quadro 2-14. Geralmente, estações meteorológicas encontram-se em terreno aberto (categoria 3, quadro 2-14), o que define  $am_{et} = 0.14$  e  $\delta_{met} = 270$  m.

**Quadro 2-13: Valores dos coeficientes  $a$  e  $\delta$ , em relação ao relevo**

categoria	Terreno, descrição	expoente	Camada limite
		$a$	$\delta$ (m)
1	Centros Urbanos (construções maiores que 21 metros)	0,33	460
2	Área Urbana	0,22	370
3	Campo com poucos Obstáculos (geralmente menos que 10 metros de altura)	0,14	270
4	Campo Aberto	0,10	210

Fonte : ASHRAE, 2001

A equação de Bernoulli(1-2) estipula uma relação entre a velocidade do vento e a pressão incidente em determinado ponto. Segundo as condições impostas por Bernoulli, a ASHRAE 2001, admite que os valores médios de pressão de superfície utilizados são proporcionais à pressão do vento,  $P_v$

A ASHRAE (2001), admite valores diferenciados de pressão para a os diferentes fluxos de vento, incidentes nas fachadas das edificações. Os valores médios de pressão de superfície utilizados são proporcionais à pressão do vento,  $P_v$ , dada pela equação (3) de Bernoulli

$$P_v = \frac{\rho_a U_H^2}{2} \quad 3$$

Onde

$U_H$  = Velocidade do vento incidente na parede a uma altura  $H$ , m/s

$\rho_a$  = massa específica do ar, kg/m<sup>3</sup>

Da mesma maneira que a velocidade, os coeficientes de pressão assumem valores diferentes em contato direto com a edificação, a diferença  $p_s$  ( $P_a$ ) entre a pressão na superfície do edifício e a pressão atmosférica ao ar livre no mesmo nível de fluxo de vento no edifício pode ser vista pela equação 4:

$$p_s = c_p p_v \quad 4$$

A diferença de pressão interna e externa em um determinado local depende de como esses mecanismos relacionam-se com aberturas nas edificações. O cálculo das pressões é dificultado pela idéia errônea de que o fluxo de ar que entra na edificação é igual à quantidade de ar incidente nas aberturas da fachada (equação 9).

A pressão do vento é geralmente positiva a barlavento e negativa a sotavento. As pressões nos outros lados são negativas ou positivas, dependendo do ângulo de incidência do fluxo de vento e da forma edificada. (ASHRAE, 2001).

$$p_w = C_p \rho \frac{V^2}{2} \quad 9$$

Onde

$p_w$  = pressão estática do vento que chega à superfície

$\rho$  = massa específica do ar, kg/m<sup>3</sup>(cerca de 1,2 )

$V$  = velocidade do vento, m/s.

$C_p$  = coeficiente de pressão na superfície<sup>17</sup>

Em 1988, Swami e Chandra, estipularam uma relação para o coeficiente de pressão, baseado em testes realizados em 8 edifícios baixos e 1 edifício alto.

Foram usados 544 testes, para relacionar o ângulo de incidência do vento em relação à fachada, para se chegar a um coeficiente médio da pressão para a superfície.

O coeficiente médio de pressão da superfície (equação 5), com um índice de correlação de 0,8 é igual:

$$C_{p,n} = \ln \left[ \begin{array}{l} 1.248 - 0.703 \sin\left(\frac{a}{2}\right) - 1.175 \sin^2(a) \\ + 0.131 \sin^3(2aG) + 0.769 \cos(a/2) \\ + 0.07G^2 \sin^2\left(\frac{a}{2}\right) + 0.717 \cos^2\left(\frac{a}{2}\right) \end{array} \right] \quad 5$$

Onde =

$C_{p,n}$  = Cp normalizado;

$a$  = ângulo de incidência do vento em relação a fachada;

$$G \Rightarrow \text{Log}_n = \frac{L_{pi}}{L_{pa}}$$

$L_{pi}$  = Largura da parede incidente;

$L_{pa}$  – largura da parede adjacente;

GROSSO (1998) define que o coeficiente de pressão  $C_p^{18}$  para um ponto qualquer  $M(x,y,z)$ , dependerá da pressão dinâmica  $P_{din}$  correspondente a altura  $z_{ref}$ , para uma determinada velocidade de vento

$$C_{ps} = ((z_{ref}, \theta) = [P - P_0(z)] \cdot [P_{dyn}(z_{ref})]^{-1} \quad 6$$

---

<sup>18</sup>  $C_p$  é o coeficiente de pressão do vento na superfície do edifício

Onde:

$$P_{\text{dyn}}(z_{\text{ref}}) = 0,5 \rho_{\text{out}} v^2(z_{\text{ref}})$$

7

Onde :

$C_{ps}$  = coeficiente de pressão para um ponto qualquer(  $M(x,y,z)$ )

$P_{\text{din}}$  = pressão dinâmica;

$z_{\text{ref}}$  = altura correspondente para uma determinada velocidade de vento(m)

$\theta$  =Direção de incidência do vento

$P$ =pressão medida(Pa)

$P_o$ =pressão atmosférica(Pa)

$\rho_{\text{out}}$  = massa específica do ar externo(kg/m<sup>3</sup>)

$v$ = velocidade do vento (m/s)

Segundo GROSSO (1995) três parâmetros influenciam os valores do coeficiente de pressão  $C_p$ : o vento, a implantação e a geometria da edificação.O quadro 2-15 mostra a relação das variáveis com os parâmetros.

**Quadro 2-14: Parâmetros que afetam o coeficiente de pressão**

Vento	Local de implantação	Geometria da construção
Coeficiente de velocidade do vento ( $\alpha$ )	Densidade de Implantação(PAD)	Razão Frontal entre a fachada incidente e a altura do edifício
Direção de incidência do vento ( $\theta$ )	Altura relativa da construção (RbH)	Razão lateral entre a largura e a altura do edifício
		Coordenadas dos elementos: $X_l=X/L$ , $y_w=y/W$ ; $z_h=z/H$
		Angulação do telhado( $\phi$ )

Fonte: GROSSO, 1995

Onde:

$X_l$  = Posição horizontal relativa do elemento s em uma parede ou no telhado;

x = Posição horizontal do elemento, s, em uma parede ou no telhado;.

S = Elementos de fachada do edifício.(numero de células de cálculo por fachada, dado pelo número de x e z);

L= Largura;

YW = Posição longitudinal relativa de S no telhado;

Y= Posição longitudinal de S no telhado;

W= comprimento;

zh= Posição vertical relativa, do elemento de parede;

z = Altura acima da terra [ m ];

H= Altura;

O programa de simulação para ventilação natural, CPCALC+, elaborado por Grosso, foi incorporado ao software COMIS, desenvolvido no laboratório nacional de Berkeley, Califórnia. Fez parte do projeto denominado Anexo 23, realizado entre 1990 e 1996, do qual participaram os seguintes países: Bélgica, Canadá, França, Grécia, Itália, Japão, Suíça e EUA. Atualmente uma versão simplificada do COMIS é disponibilizada pelo *Energy Plus*, e sua versão final COMIS 3-2, completa é comercializada pelo CSTB (*Centre Scientifique et technique du Bâtiment*).

A metodologia do CSTB baseia-se a taxa de Ventilação (CG), definido como a proporção da velocidade média do ar interior em relação à velocidade do ar exterior, medidos a uma mesma altura de 1,50 m, avaliado por quatro coeficientes, considerados na equação 8 (ALLARD, 1998):

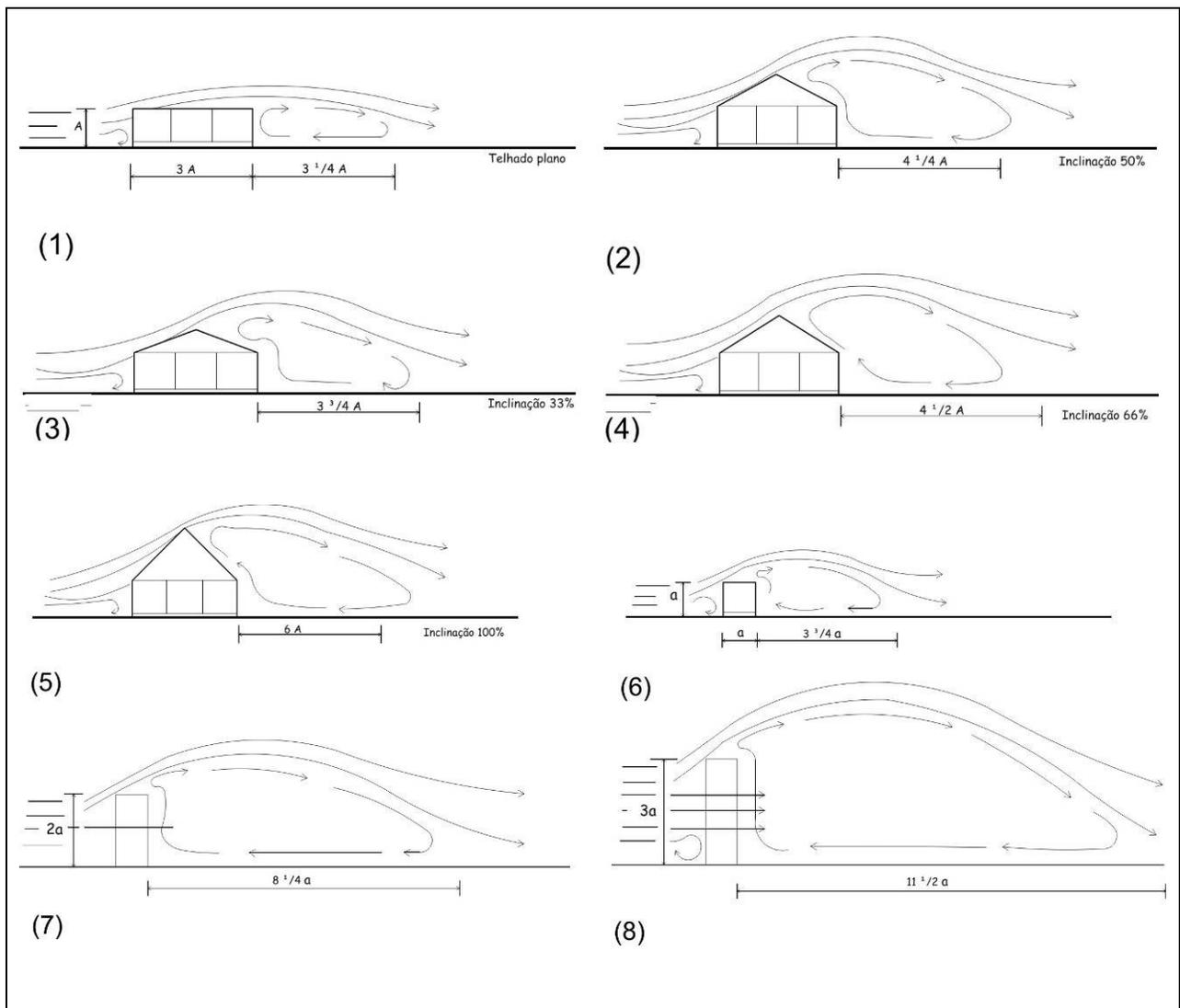
$$C_g = \text{valores}(C_{local} + C_{orientação} + C_{implantação} + C_{fluxo aerodinamico})$$

8

- Coeficiente do local – a topografia, a vizinhança, e a rugosidade do terreno;
- Coeficiente de orientação – a incidência do vento nas aberturas e na malha urbana, e as características naturais e edificadas;
- Coeficiente de implantação – a natureza e características das aberturas, o tipo de telhado e existência de aberturas nele, a existência de pilotis e de direcionadores de vento; e,
- Coeficiente de fluxo aerodinâmico – a divisão interior e a disposição do mobiliário.

Os padrões eólicos são alterados, de modo complexo, pela interação com as formas construídas. A figura 2-26, 2-27 e 2-28 representa resultados de alguns estudos de distribuição de fluxos em áreas construídas. As setas representam padrões de fluxos eólicos, com a aproximação das linhas indicando maior velocidade do vento. As setas circulares indicam vórtices (redemoinhos). As zonas de baixa pressão (de redemoinhos) terão ventos de velocidade bem menor podendo ser denominadas de “zona de sucção”. Na maioria dos casos, a alta pressão ocorre no lado a barlavento e a baixa pressão, a sotavento, enquanto o vento redirecionado ao passar pelas arestas de uma edificação aumenta sua velocidade. (EVANS, 1975).

Na figura 2-26 nota-se ainda que os diagramas em corte mostram o impacto das diferentes inclinações de um telhado e alturas da edificação para prédios de mesma largura. Telhados com grande inclinação desviam o vento mais para o alto, aumentando a altura e o comprimento da zona de baixa pressão. Maiores alturas de edificação podem apresentar padrões eólicos muito similares sobre os prédios, ao passo que o comprimento da zona de sucção (baixa pressão) aumenta proporcionalmente à altura da edificação.



**Figura 2-26: Inclinação do Telhado e Altura da Edificação (em corte) – Fluxo dos Ventos ao Redor das Edificações: (1) Telhado Plano; (2) Inclinação 50%;(3) Inclinação 33%; (4) Inclinação 66%; (5) Inclinação 100%; (6) Telhado plano e altura “a”; (7) Telhado plano e altura “2a”; (8) Telhado plano e altura “3a”.**

Fonte - Evans, 1975

A figura 2-27 mostra o impacto de diferentes larguras em edificações de mesma altura. Padrões semelhantes ocorrem nos lados das edificações estreitas ou largas, enquanto o comprimento das zonas de redemoinho aumenta com a largura, mas não em uma proporção direta. É necessário um grande acréscimo na largura de uma edificação para se conseguir um pequeno aumento no comprimento do redemoinho.

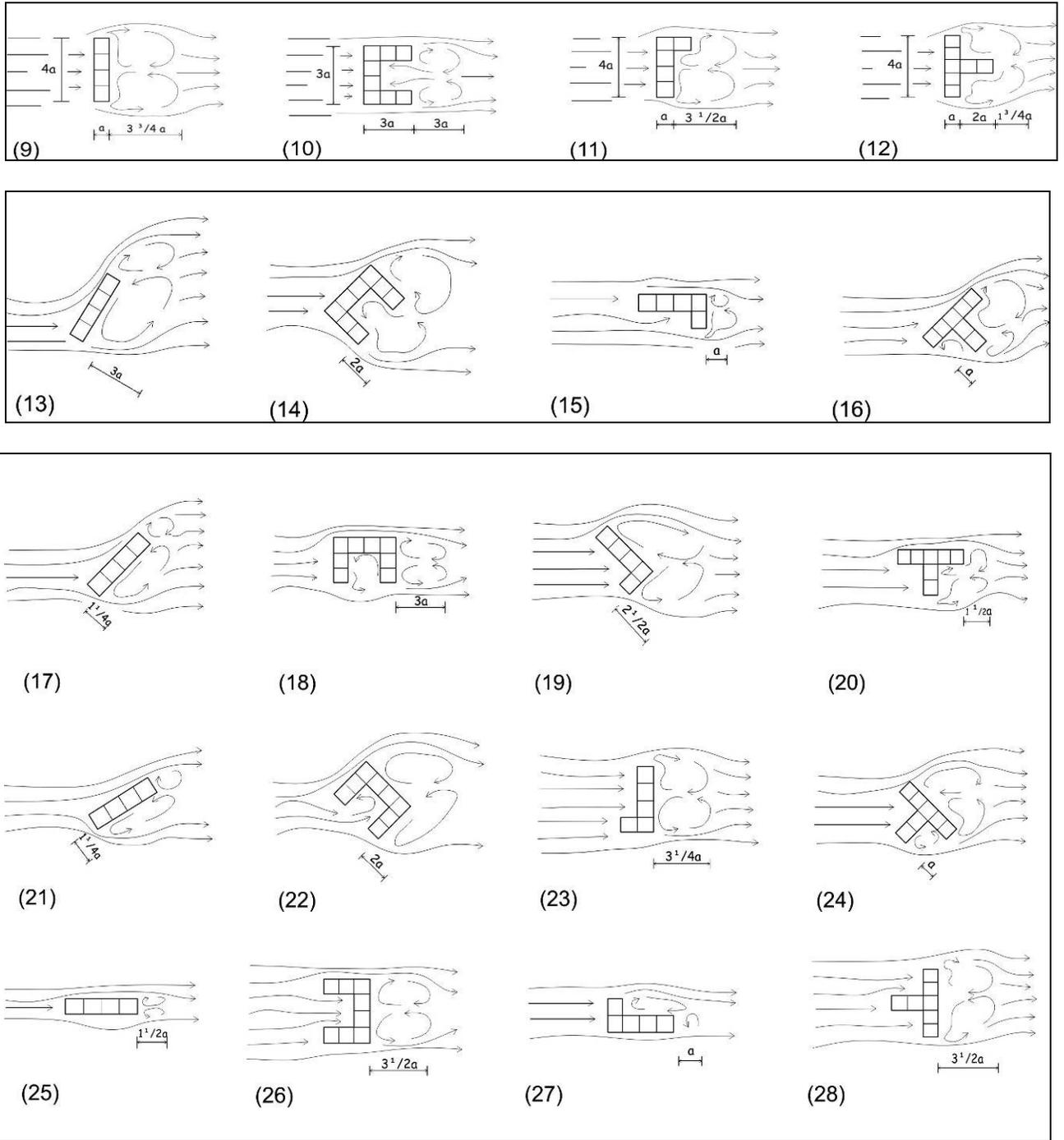
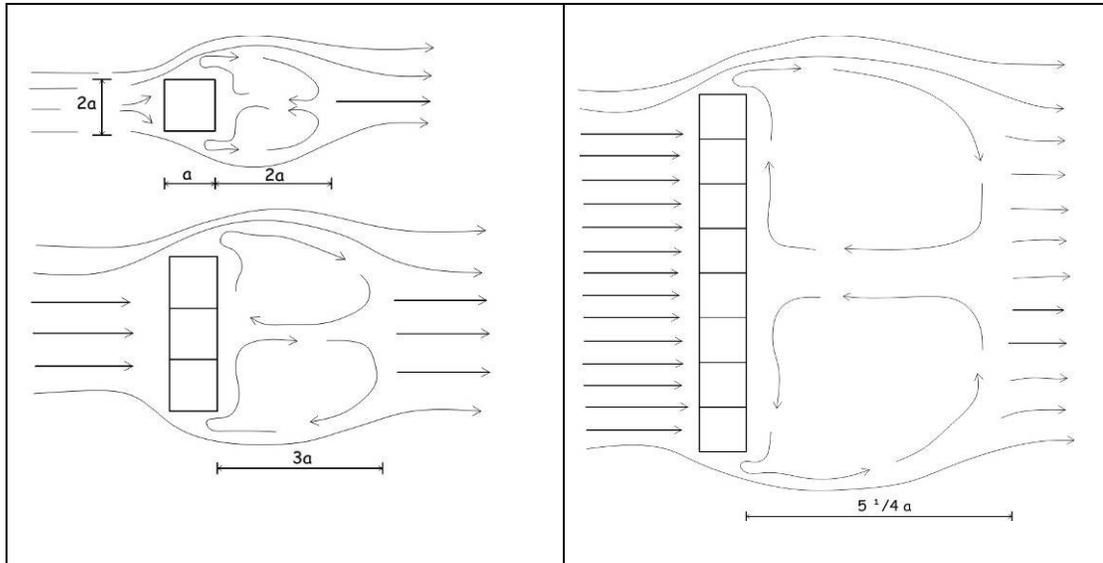


Figura 2-27: Esquemas de fluxo de vento em Áreas Construídas – Configuração e Orientação da Planta Baixa.

Onde  $a$  representa o tamanho proporcional da largura para a zona turbilhonar do vento

Fonte - Evans, 1975

A figura 2-28 mostra os padrões criados por diferentes configurações e orientações de edificações.



**Figura 2-28: Esquemas de fluxo de vento em Áreas Construídas – Impacto da Largura da Edificação**

Fonte - Evans, 1975

Para ventos perpendiculares a uma fachada, de altura (H) e largura (W) em relação à área de pressão positiva, a ASHRAE, 2001, determina os padrões de fluxo. De acordo com Wilson (1979) (equação 8), o comprimento de R (m) é:

$$R = B_s^{0,67} B_L^{0,33} \quad 8$$

Onde

$B_s$  = menor face do edifício em direção a barlavento, m

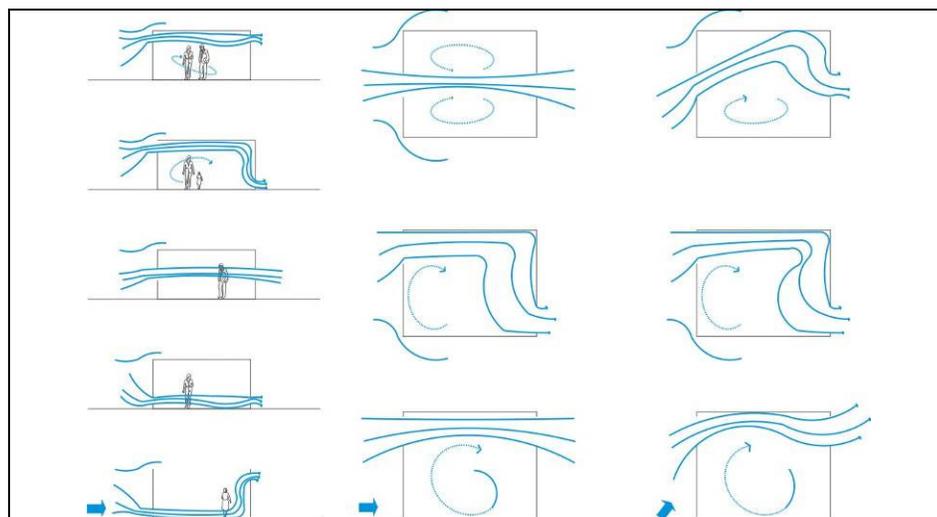
$B_L$  = maior face do edifício em direção a barlavento, m

Quando  $B_L$  for maior do que  $8 B_s$ , usa-se  $B_L = 8 B_s$ , na equação (2-7). Para edifícios com telhados de varias águas ou com águas separadas por uma distância mínima  $B_s$ , somente uma angulação poderá ser usada para calcular R. (ASHRAE, 2001).

A direção do fluxo tridimensional em torno de um edifício, a forma e o tamanho da zona de turbulência não são constantes sobre a superfície; na maioria das vezes, o fluxo volta ao seu movimento natural mais rápido ao longo das bordas no telhado e próximo ao chão. A altura  $H_c$ , da região de turbulência diminui também perto das bordas do telhado. (ASHRAE, 2001).

As características do fluxo de ar ingressando em uma construção são determinadas por 3 fatores básicos: o tamanho e localização das aberturas de entrada do ar na parede; o tipo de configuração e localização das aberturas usadas; a localização de outros componentes arquitetônicos próximos às aberturas, tais como divisórias, painéis verticais e horizontais adjacentes às aberturas (BITTENCOURT e CANDIDO, 2005).

O ângulo de incidência do vento é muito importante quando se trata da localização das aberturas. A distribuição interna do fluxo de ar dependerá do ângulo de incidência do mesmo nas fachadas onde se localizam as áreas de entrada e saída (figura 2-29). Estudiosos como Olgyay (1963) e Evans (1980) através de experimentos, sugerem algumas configurações para ambientes internos.



**Figura 2-29: Efeito da localização das aberturas numa edificação térrea**

Fonte: OLGAYAY, 1963 e EVANS 1957

Os fatores que afetam a taxa de ventilação incluem a velocidade média e o sentido do vento, com suas variações diária e sazonal, além de obstruções locais como o edifício, montes, árvores, ou arbustos próximos.

Liddament (1983) estudou a relevância da pressão do vento incidente, através de simulações em simulações, resultando no coeficiente de superfície  $C_e$ . A Equação 10 demonstra uma relação entre as áreas das aberturas e vazão de ar requerida.

$$Q = C_v AV \quad 10$$

$Q$  = vazão de ar,  $m^3/s$ ,

$C_v$  = coeficiente de abertura. Para vento perpendicular  $C_v = 0.5$  a  $0.6$  e para direções inclinadas =  $0.25$  a  $0.35$ ;

$A$  = Área de entrada de ar,  $m^2$

$V$  = velocidade do vento,  $m/s$

Um valor de  $C_p$  pode ser obtido somente em testes em túnel de vento, através de simulações específicos do local e do edifício. De uma maneira geral, quando a forma do edifício é retangular, os cálculos da taxa de ventilação podem ser estimados usando dados pré-existentes de túnel de vento.

Pensando em como relacionar o tamanho das aberturas com uma possível velocidade de vento interna, Givoni(1972) através de estudos simplificados em túnel de vento reduzidos chegou aos resultados mostrados na figura 2-30.

O mesmo autor propôs um método de correlação geral, que se baseia em dados

experimentais, para determinar a velocidade média do ar interior em compartimentos retangulares, com aberturas de entrada e saída iguais e localizadas em paredes opostas, em relação à velocidade de referência do vento no exterior. De acordo com o método a velocidade média é dada pela equação 2-11 (ALLARD, 1998)

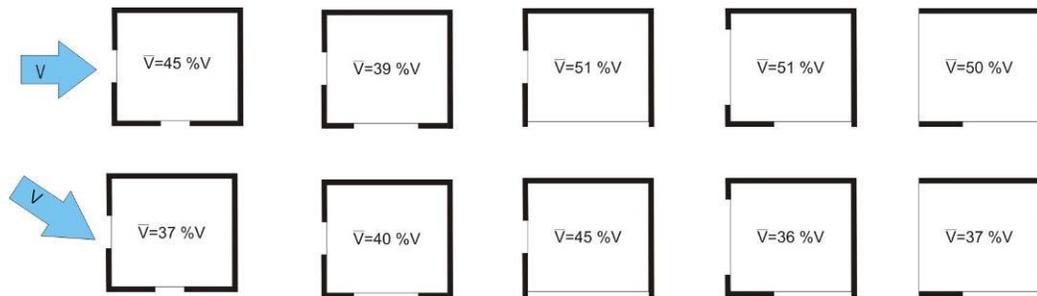
$$V_i = 0,45(1 - e^{-3,48X})V_r \quad 2-11$$

Onde:

$V_i$  = velocidade no interior do ambiente

$X$  = Área de entrada/Área da parede

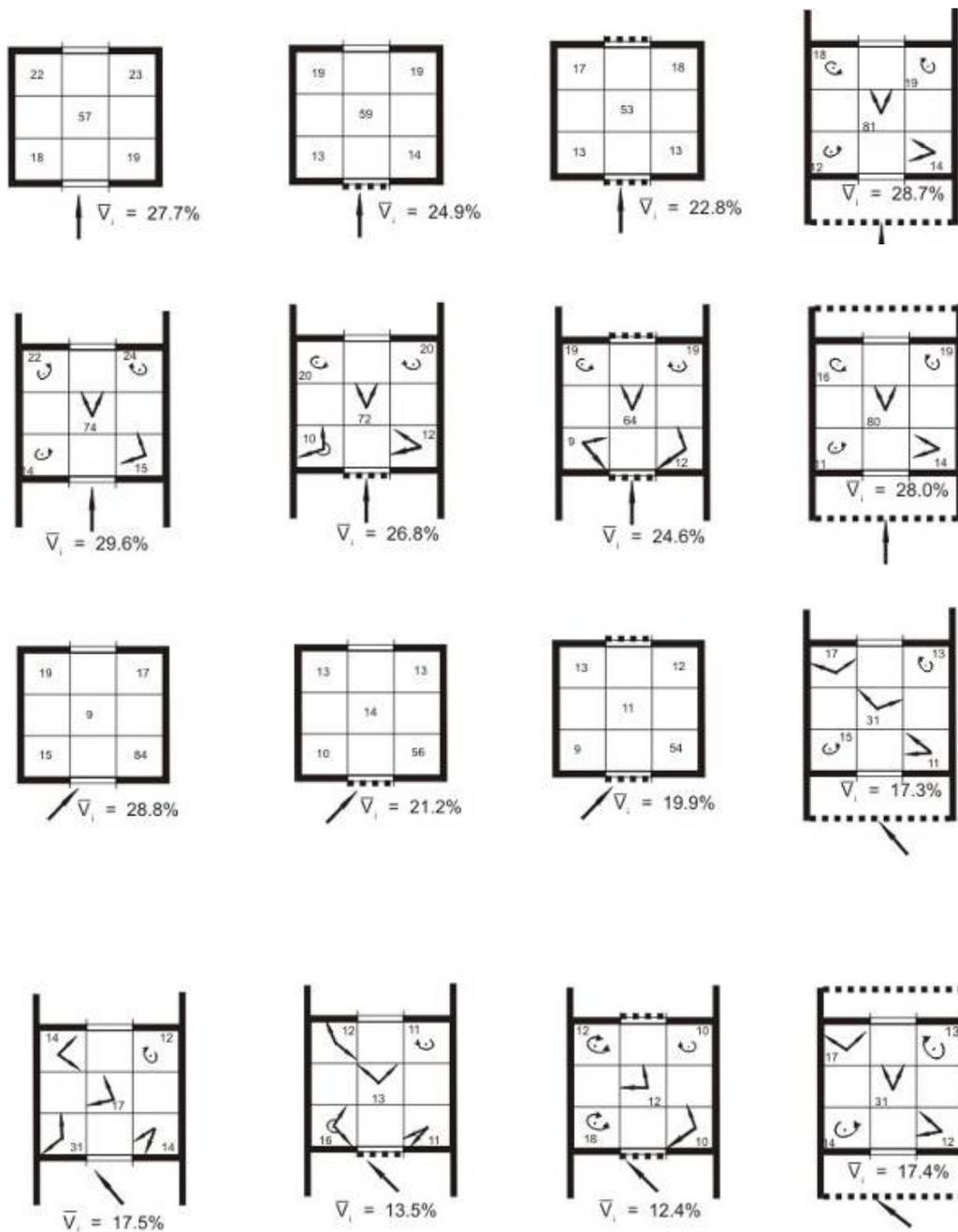
$V_r$  = velocidade do vento externo



**Figura 2-30: Influência da localização e dimensão das Aberturas Localizadas em Paredes Adjacentes**

Fonte: Givoni 1972

A figura 2-31 mostra outros estudos de Givoni (1976), onde telas de proteção contra insetos são colocadas nas aberturas. Os valores da velocidade do ar externo e interno são relacionados por porcentagem.



**Figura 2-31: Influência de telas no comportamento do ar interno, fluxo diagonais de vento**

Fonte: Givoni 1976

A figura 2-33 estabelece valores internos de velocidade de vento levando em consideração a direção de Incidência do vento na fachada requerida e a existência de anteparos

externos.

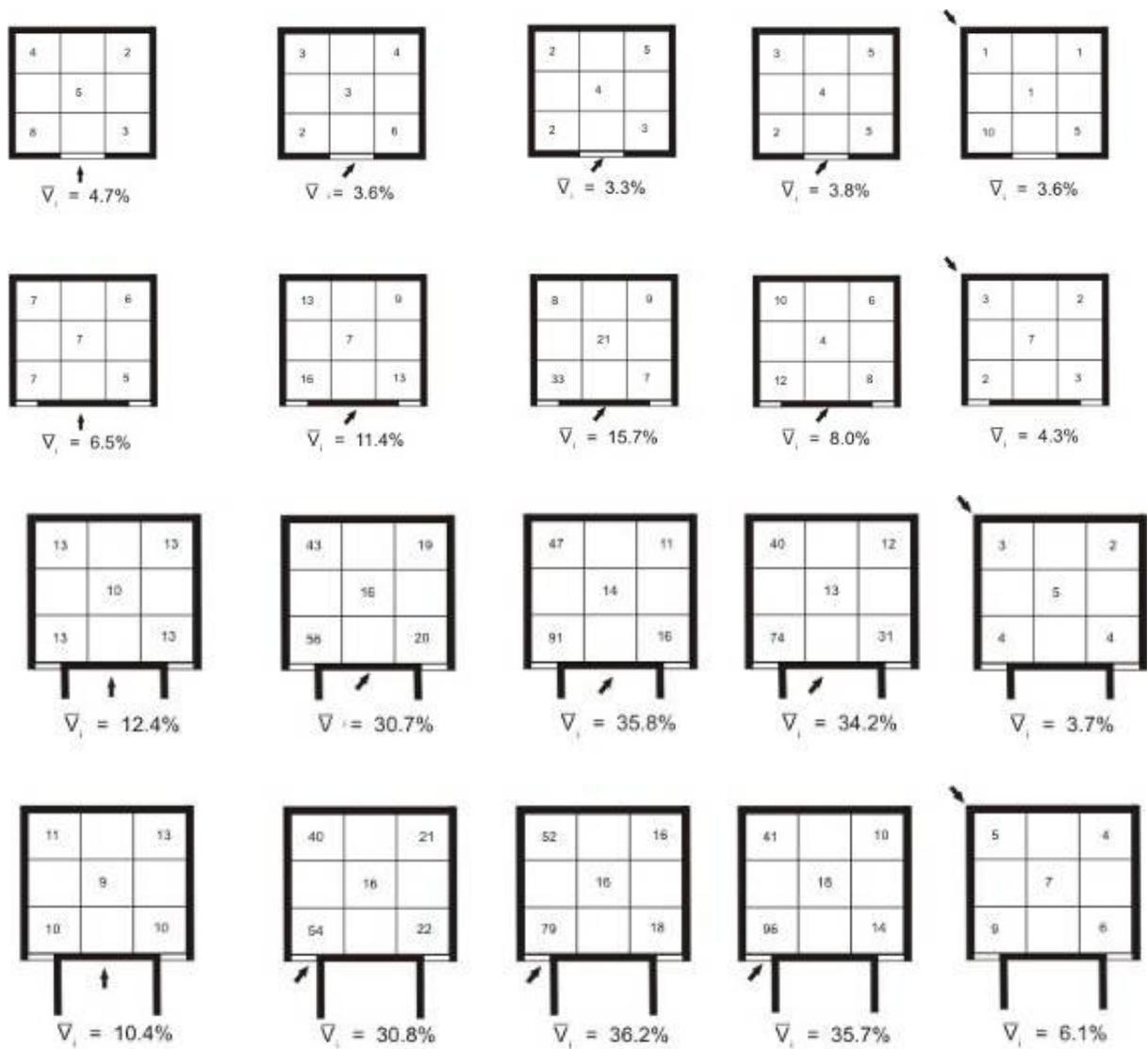
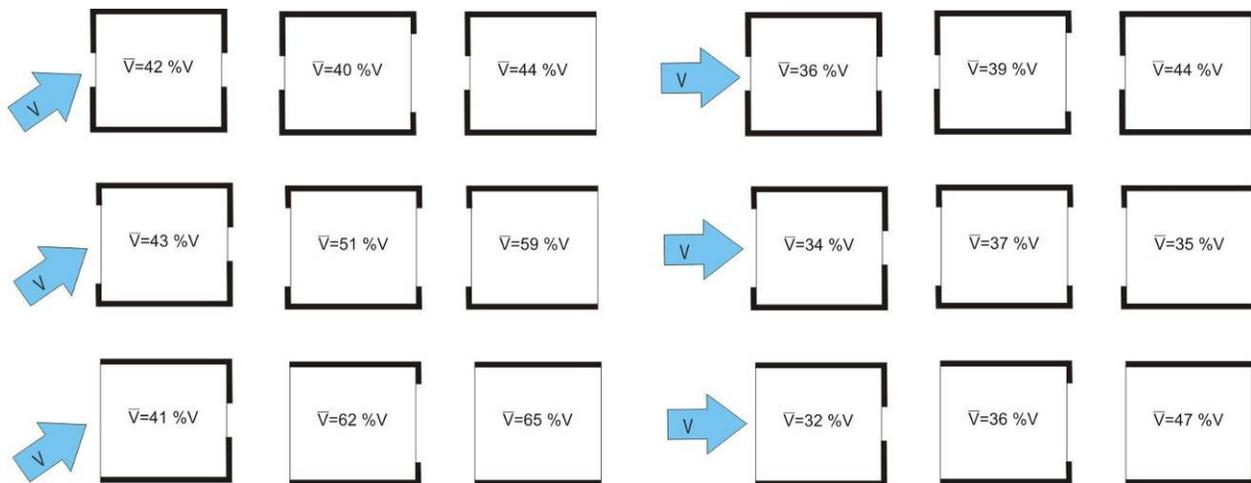


Figura 2-32: Influência de anteparos na velocidade do ar interno

Fonte: Givoni 1976

A abertura de saída é sempre crucial quando se pensa em maiores taxas de ventilação interna. A figura 2-33 apresenta alguns valores encontrados por Givoni (1998) onde a porcentagem do ar interno é dada em função do ar externo.



**Figura 2-33: Valores de velocidade estimados por Givoni**

Fonte: Givoni 1998

A metodologia adotada pela Stathopoulos (1985), considera distintas as situações onde áreas das aberturas são iguais ou diferentes para a entrada e saída de ar. Procedimentos diferentes também são utilizados para trocas advindas do fenômeno da ação do vento e para diferenças entre a temperatura do ar interno e externo.

Stathopoulos (1985), define que a área das aberturas é calculada em função da taxa de ventilação ( $Q$ ), da velocidade do vento e da efetividade das aberturas, considerando valores entre 0.5 a 0.6, para direção de vento perpendicular e entre 0.25 a 0.35, para direção de vento oblíqua à abertura. Quando as áreas, das aberturas, de entrada e saída são iguais, a trocas verificadas são resultantes apenas do movimento da ação do vento. Esta situação é considerada como a que alcança o melhor escoamento.

Para aberturas com áreas diferentes, o cálculo usado utiliza a menor abertura. A taxa de ventilação final é obtida em função da proporção entre a maior e a menor abertura. A partir dessa proporção, encontra-se o acréscimo (em percentagem) devido à diferença de áreas.

Em 1996, AWBI, também pensando na taxa de ventilação em relação às aberturas, estabeleceu relações entre o tamanho das aberturas e a vazão de ar infiltrado, diferenciando as

aberturas pelo tamanho. Para aberturas maiores do que 10 mm a vazão é dada pela equação 12, onde o valor  $C_dA$  pode ser encontrado através do simulação empírico proposto pela ASHRAE:

$$Q = C_d A \sqrt{\left(\frac{2\Delta p}{\rho}\right)} m^3/s$$

12

Onde:

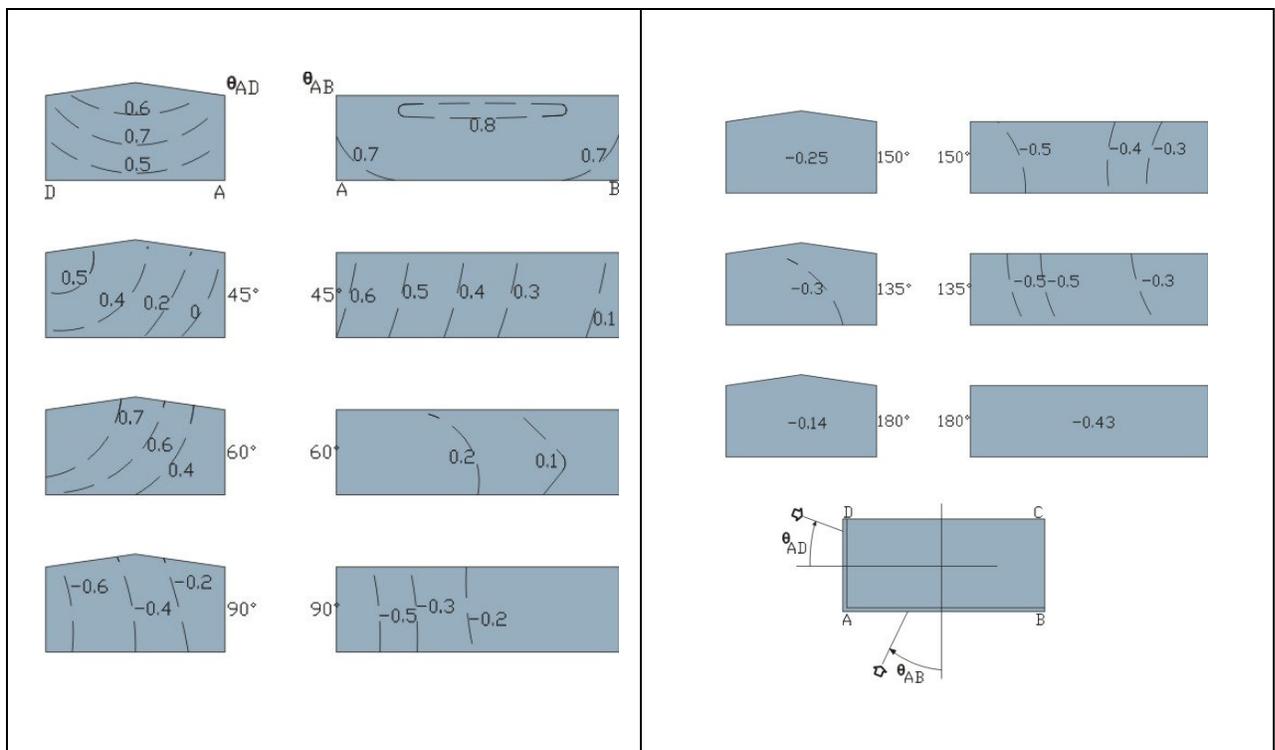
$C_d$ =coeficiente de descarga na abertura,  $m^3/s$

$A$ = área do fluxo,  $m^2$

$\Delta p$ =diferença de pressão através da abertura, Pa

$\rho$ =densidade do ar,  $kg/m^3$

A Figura 2-34 mostra os coeficientes de pressão local para baixas edificações. Geralmente, os edifícios baixos são aquele onde a altura  $H$  não é maior do que três vezes a largura em relação a vento dominante ( $W$ ). A figura 2-35, demonstra os coeficientes para telhados (Holmes, 1986) .



**Figura 2-34: Coeficiente de pressão paredes de construções**

**Baixas**

Fonte: Holmes, 1986

Para o ângulo de incidência do vento  $\theta = 0^\circ$ , perpendicular a fachada de interesse, os coeficientes de pressão são positivos, e seus valores diminuem próximo dos lados e na parte de cima, aumentando o valor da velocidade.

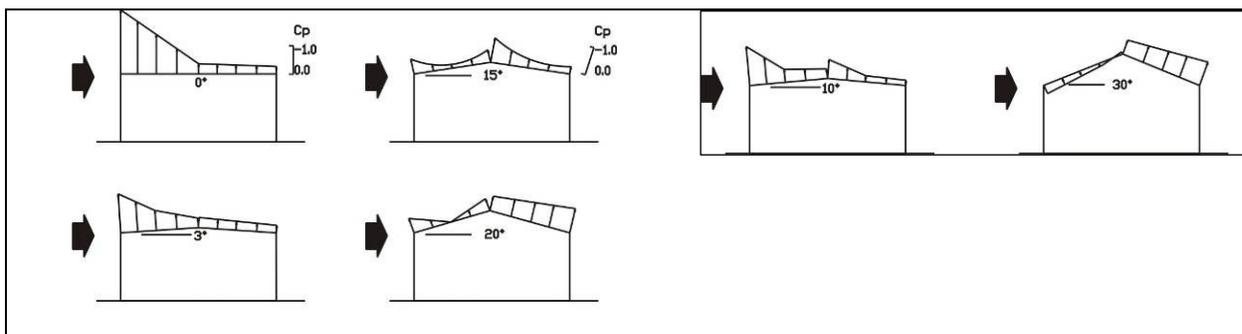


Figura 2-35: Coeficiente de pressão  $C_p$ , para coberturas em edificações baixas

Fonte: Holmes, 1986

A presença de cercas e muros pode diminuir significativamente o movimento do ar no interior dos edifícios, dependendo da altura, porosidade e ângulo das lâminas dos painéis (BOUTET, 1987). Nos loteamentos de habitação popular, pela necessidade de segurança, quase todos os lotes são fechados com muros, o que prejudica a ventilação no interior das habitações, considerando também o tamanho minimizado do lote.

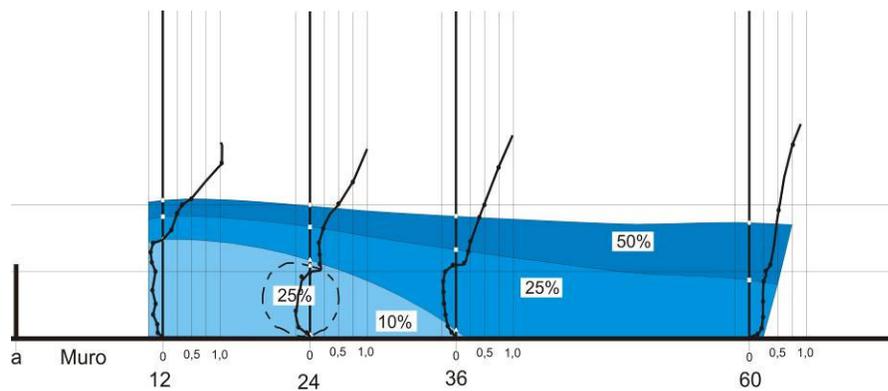
Uma pesquisa realizada por Hare e Kronauer, 1969, testou 10 tipos de muros e cercas, com aproximadamente 2 metros de altura, em ensaios com túnel de vento. A figura 2-36, demonstra uma ampliação dos elementos verticais, avaliados nas figuras 2-37 a 2-46.

1-Muros	2-Muros com um pequeno espaço aberto na parte de baixo	3-Cercas com lâminas horizontais com 25% de área aberta	4-Cercas com lâminas horizontais com 50% de área aberta	5-Cercas com lâminas horizontais com 35% de área aberta

6-Cercas com laminas horizontais variadas	7-Cercas com 30° de inclinação nas laminas horizontais	8-Cercas com 60° de inclinação nas laminas horizontais	9-Cercas com decréscimo de angulação nas placas horizontais	10-Cercas com aumento de angulação nas placas horizontais

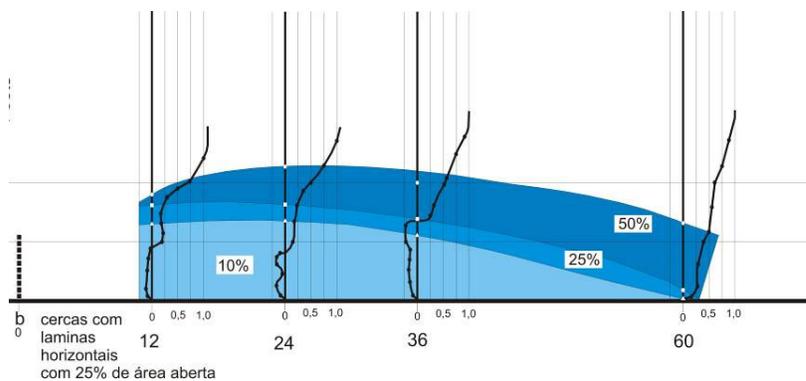
**Figura 2-36: Ampliação dos desenhos de barreira mostrados nas figuras 2-37 a 2-46**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



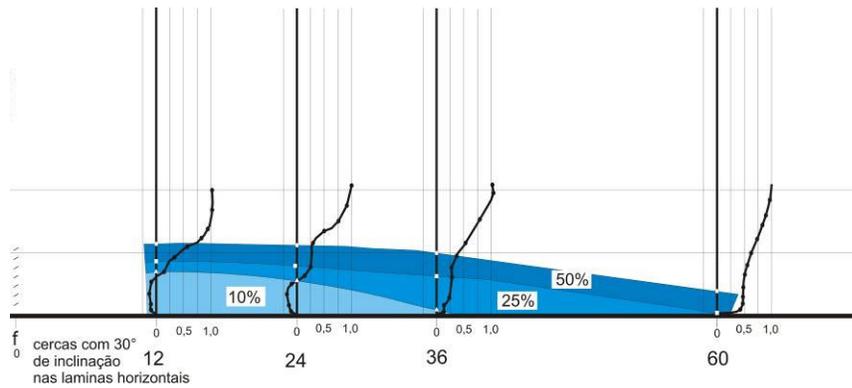
**Figura 2-37: 1-Efeito produzido por diferentes muros com 1,5m de altura**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



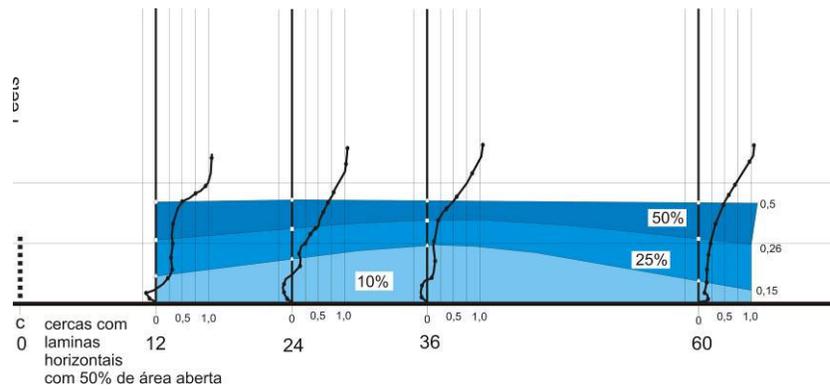
**Figura 2-38: 2-Efeito com cercas com 25% de área aberta.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



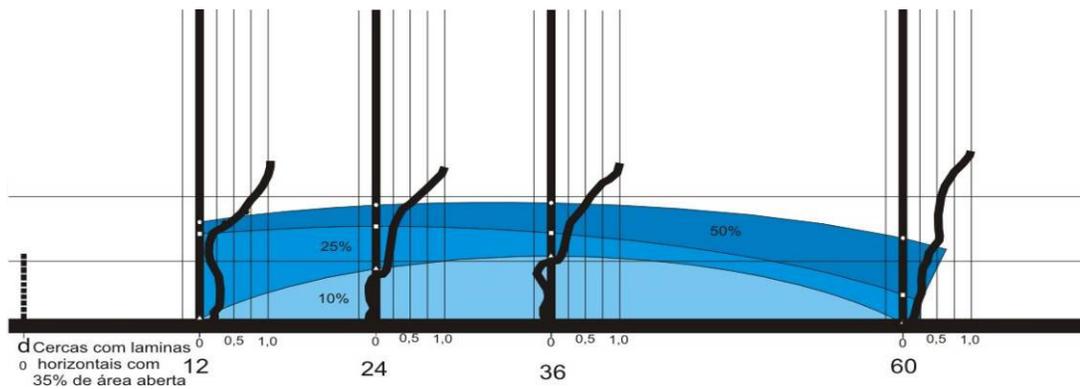
**Figura 2-39: 3-Efeito produzido por cercas com 30% de inclinação nas lâminas horizontais.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



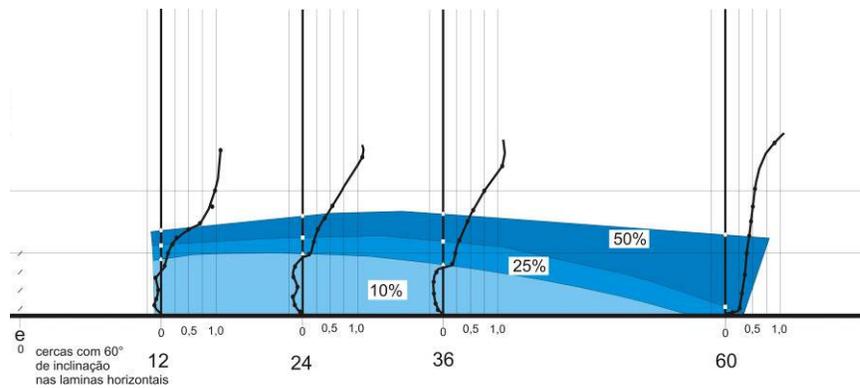
**Figura 2-40: 4-Efeito produzido por cercas com lâminas horizontais com 50% de área aberta.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



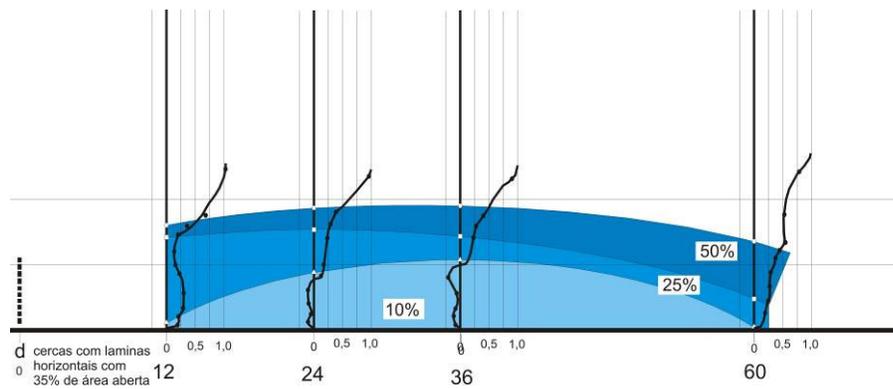
**Figura 2-41: 5-Efeito produzido por cercas com lâminas horizontais com 50% de área aberta.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



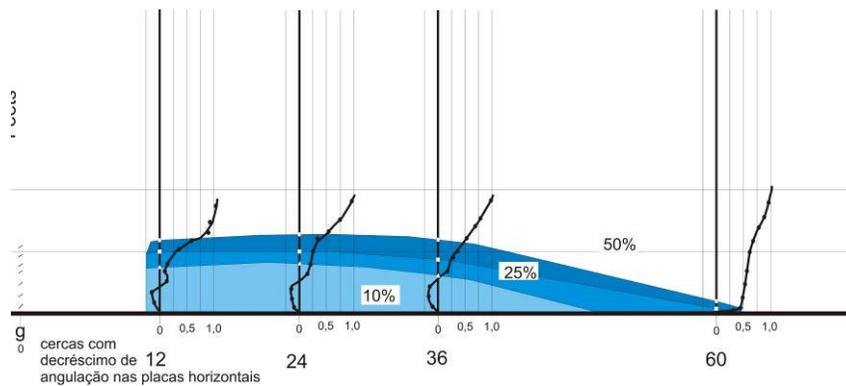
**Figura 2-42: 6-Efeito produzido por cercas com 60% de inclinação nas lâminas horizontais.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



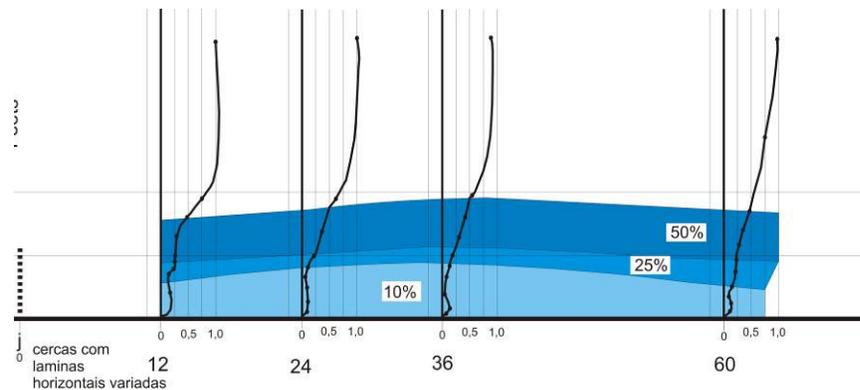
**Figura 2-43: 7-Efeito produzido por cercas com lâminas horizontais com 35% de área aberta.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



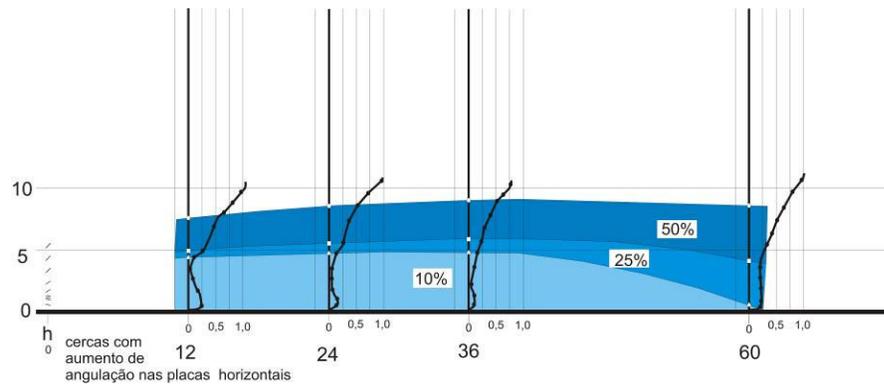
**Figura 2-44: 8-Efeito produzido por cercas com decréscimos de angulação nas placas horizontais.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



**Figura 2-45: 9-Efeito produzido por cercas com lâminas horizontais variadas.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.



**Figura 2-46: 10-Efeito produzido por cercas com aumento de angulação nas placas horizontais.**

Fonte: Hare e Kronauer, 1969.

Cada protótipo apresentou uma característica diferente no fluxo de ar que passava pela barreira. No caso descrito não foram levados em consideração o tipo de material nem a sua porosidade.

Na figura 2-37 estabelece-se uma pressão negativa e um fluxo instável bem atrás do obstáculo; na figura 2-38, o espaço vazio na base provoca apenas uma diminuição da instabilidade provocada na figura 2-37. Nas figuras 2-39, 2-40, 2-41 define-se que o melhor resultado foi o encontrado com 50 % de área de abertura, ou seja a figura 2-40, pois é o que

melhor sustenta a velocidade e a turbulência perto da cerca. Na figura 2-42 a variação de 40 a 60% nas aberturas, demonstra baixas velocidades na parte de baixo e nenhuma turbulência, enquanto a velocidade perto do chão equivale a 20% da velocidade do ar em área livre. As figuras 2-42, 2-43 e 2-44 com 25% de área de abertura, apresentam resultados parecidos, onde se encontram velocidades altas na parte baixa e não ocorrem vórtices. Enfim na figura 2-45, o aumento da angulação com 25 % de área de abertura, estabelece o melhor desempenho na parte de baixo sem a ocorrência de vortices.

As cercas, muros e grades são elementos de fachada que interferem na ventilação no interior dos lotes das habitações, são ele os responsáveis pelo primeiro contato do vento com a área interna do lote. Assim como se detecta alterações de velocidade e direção, as alterações de pressão também são encontradas. A variação de pressão devido às diferenças da temperatura entre a parte interna e externa da edificação, o que não deve ser esquecido.

O efeito conjunto da ventilação por efeito chaminé com a ventilação cruzada é resultante da soma das pressões responsáveis por ambos os fluxos de ar. Como a pressão varia com o quadrado da velocidade, ou seja a taxa do fluxo conjunto é igual à raiz quadrada da soma dos quadrados das taxas individuais de fluxo (ASHRAE, 2001).

O estudo da ventilação natural em edificações brasileiras, de acordo com a localização em cada trabalho é encontrado em artigos como, Matos et al, (2005), UFSC; Silveira, (2005); Cunha, et al (2003), UFRGS; Saraiva (1999), UFSC; Toledo (1999) e Toledo (2003), UFRGS Osório, (1999); Krüger et al. (1999), UFSC.

Santamouris (1998) apresenta vários modelos empíricos e de rede para a estimativa da ventilação natural dos edifícios, que partem da velocidade do vento ou da taxa de ventilação; e metodologias empíricas para o dimensionamento das aberturas de ventilação que consideram, de

forma reduzida ou ampla, as variáveis envolvidas no fenômeno.

A literatura encontrada sobre ventilação causada por trocas térmicas foram encontrados alguns simulações empíricos, sendo que a metodologia para se determinar a vazão é diferente em cada método. Entre os métodos que partem da velocidade do vento, pode-se citar o método de GIVONI e as metodologias do CSTB e de ERNEST. E entre os que partem da taxa de ventilação, situam os métodos: BRITÂNICO, ASHRAE, AYNSLEY e GIDDS/PHAFF. Esses métodos e metodologias, em geral, utilizam resultados obtidos em ensaios em túnel de vento, realizados com simulações em escala e não se prestam diretamente ao dimensionamento das aberturas, por considerarem tipologias pré-definidas. Entre as metodologias empíricas para o dimensionamento das aberturas apresenta-se: FLORIDA I e FLORIDA II, ASHRAE, AYNSLEY e BRITÂNICA (derivadas dos métodos já citados). (TOLEDO, 2001).

### **2.3 Simulações computacionais**

Os modelos computacionais *CFD*, do inglês Computational Fluid Dynamics, utilizam computadores para analisar problemas em dinâmica de fluidos. A Teoria do Contínuo (que engloba a mecânica dos sólidos e a mecânica dos fluidos) fundamenta a conceituação teórica que justifica a maior parte das análises em *CFD*.

O escoamento de fluídos satisfaz um conjunto de leis fundamentais bem definidas, contudo a geometria e a turbulência podem se constituir nos dois principais obstáculos à validade dos simulações de *CFD*. A turbulência se origina da ampliação de pequenas perturbações existentes no escoamento que ocorre quando existe uma predominância dos efeitos de inércia em relação aos efeitos viscosos que está associada a números de Reynolds elevados. Atualmente os

escoamentos turbulentos de interesse prático podem ser resolvidos somente com simulações de turbulência.

Um das formas de descrever um escoamento é através do campo de velocidade  $\vec{V}$  (x, y, z, t), uma função vetorial da posição e do tempo, com três componentes u, v, w, cada qual um campo escalar (equação 13):

$$\vec{V}(x, y, z, t) = u(x, y, z, t) \vec{j}_u + v(x, y, z, t) \vec{j}_v + w(x, y, z, t) \vec{j}_w \quad 13$$

A resolução do escoamento envolve a obtenção do campo de velocidades acima, e o campo de pressões  $p(x, y, z, t)$ , devido ao acoplamento implícito que existe entre as velocidades e as pressões. Em alguns problemas pode ser importante a consideração de efeitos adicionais como transferência de calor e transporte de massa o que levará ao estudo de variáveis adicionais como temperaturas e concentrações das diferentes espécies químicas.

### 2.1.1 Análise de Escoamentos

Um escoamento deve satisfazer as três leis básicas da mecânica, mais a relação de estado termodinâmico e as condições iniciais e de contorno essenciais, como: conservação da massa (continuidade); quantidade de movimento linear (segunda lei de Newton); primeira lei da termodinâmica (conservação de energia); uma relação de estado como  $\rho = \rho(p, T)$ ; condições de contorno apropriadas nas superfícies sólidas, nas interfaces, nas entradas e saídas.

As condições iniciais são importantes nos problemas em que há dependência do tempo (regime transitório), são especificações das variáveis de interesse no instante inicial. As

condições de contorno, por sua vez, estabelecem as condições de evolução das variáveis de interesse na região do contorno. As equações de transporte, na sua forma geral, são extremamente complexas devido aos termos não lineares e seus acoplamentos.

### **2.1.2 Formulação do programa**

O escoamento turbulento caracteriza-se pelo fluxo de um fluido, em trajetórias não paralelas, turbulentas e com vários vórtices. A turbulência pode ser caracterizada pelas seguintes propriedades: tridimensional por causa das flutuações, escoamento instável, variação de velocidade e elevado número de Reynolds.

A maioria dos simulações de turbulência são estatísticos. Nestes simulações as variáveis de interesse são separadas em duas componentes, um valor médio e uma flutuação em torno da média. As equações do escoamento são reformuladas para as variáveis médias e neste procedimento surgem variáveis adicionais que devem ser modeladas para que o número de equações seja o mesmo que o número de incógnitas.

### **2.1.3 Equações de Navier Stokes**

A obtenção da solução numérica de qualquer problema físico requer muita habilidade, conhecimento e experiência. Atenção deverá ser dada ao nível de balanço de conservação, o que varia a complexidade dos métodos numéricos adequados. O quadro 2-16 mostra alguns níveis de formulação de simulações (MALISKA, 2004).

**Quadro 2-15: Quadro nível de formulação dos simulações**

Nível em que os balanços de conservação são efetuados	Informações Necessárias	Tipo de equação resultante
Conservação para cada molécula $V \ll L_m^3$	Massa molecular, leis de troca de massa molecular, campos de forças: elétricos, magnéticos, etc.	Equação para cada molécula.
Balanços onde $t_m \ll t \ll t_t$ $L_m \ll L \ll L_t$	Propriedade refletindo o comportamento molecular $\rho, k, \mu$ etc.	Conjunto de equações diferenciais parciais.
Balanços onde $t \gg t_t$ $L \gg L_t$	Fornecer $\rho, k, \mu$ etc, e tensões de Reynolds, relação de transferência de calor e massa turbulenta.	Conjunto de equações diferenciais parciais.
O volume de controle coincide com o domínio da solução em algumas direções.	Fornecer as condições de contorno nas direções onde o volume de controle coincide com o domínio da solução.	Equações diferenciais parciais, ordinárias ou algébricas.
Para: $t =$ tempo médio sobre os quais os balanços de conservação são realizados $t_m =$ tempo entre colisões moleculares $t_t =$ escala de turbulência $L =$ comprimento médio sobre os quais os balanços de conservação são realizados $L_t =$ escala de comprimento para a turbulência $\rho =$ Massa específica $\mu =$ Viscosidade cinemática $k =$ Energia Cinética turbulenta		

Fonte: MALISKA, 2004

Os três componentes das equações de Navier Stokes mais a conservação da massa (equação de continuidade) formam um sistema fechado de equações diferenciais parciais bem definidas para estas variáveis, que pode ser resolvido, em princípio, para condições de contorno adequadas. Estas equações desenvolvem-se da equação 14 (NEGRÃO, 1995):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} - \rho U_j \phi \right) + S_\phi \quad 14$$

Onde  $\phi=1$  para a equação da continuidade e  $\phi = u, v, w$ , para as componentes da equação de Navier Stokes nas direções x, y e z. O coeficiente de difusão ( $\Gamma_\phi$ ), e o termo fonte  $S_\phi$  são dados no quadro 2-17 (NEGRÃO, 1995).

**Quadro 2-16: Equações que regem o escoamento nos simulações tridimensionais**

EQUAÇÕES	$\phi$	$\Gamma_\phi$		$S_\phi$
		Lam.	Turb.	
Continuidade	$I$	-	-	-
$U$ – mom.	$U$	$\mu$	$\mu_{ef}$	$-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{ef} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{ef} \frac{\partial W}{\partial x} \right)$
$V$ – mom.	$V$	$\mu$	$\mu_{ef}$	$-\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{ef} \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{ef} \frac{\partial W}{\partial y} \right)$
$W$ – mom.	$W$	$\mu$	$\mu_{ef}$	$-\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{ef} \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{ef} \frac{\partial V}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{ef} \frac{\partial W}{\partial z} \right) - \rho g$
Energia Cinética turbulenta	$K$	-	$\frac{\mu_{ef}}{\sigma_k}$	$G - C_{Dpe} - G_b$
Taxa de Dissipação	$\varepsilon$	-	$\frac{\mu_{ef}}{\sigma_\varepsilon}$	$C_1 \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\rho} \frac{\varepsilon^2}{k} - C_3 \frac{\varepsilon}{k}$
$\Gamma_T = \frac{\mu}{P_r} + \frac{\mu_t}{\sigma_T}; \Gamma_C = \frac{\mu}{S_c} + \frac{\mu_t}{\sigma_C}; \mu_{ef} = \mu_t + \mu; \rho = \rho(T, C)$ $C_D = 1.0; C_1 = 1.44; C_2 = 1.92; C_3 = 1.44$ $\sigma_k = 1.0; \sigma_\varepsilon = 1.3; \sigma_T = 0.9; \sigma_C = 1.0$				

Fonte: Negrão, 1995

Deve-se destacar que, como neste estudo o interesse é apenas no escoamento não há necessidade de resolver as equações da energia e do transporte de massa. A formulação destas equações pode ser dada também pela equação 14, com uma definição apropriada das variáveis  $\phi$ ,  $\Gamma\phi$  e  $S\phi$

Os simulações de turbulência para o fechamento das equações de Reynolds podem ser classificados em duas categorias: simulações que aceitam ou não, a suposição de que as tensões tangenciais aparentes de turbulência (também chamadas de tensões de Reynolds) podem estar relacionadas ou serem proporcionais aos gradientes de velocidade. Entre os simulações que aceitam a suposição encontram-se os simulações que utilizam a definição de uma viscosidade turbulenta ou turbilhonar  $\mu T$  com duas equações diferenciais, como por exemplo, o simulação  $k-\varepsilon$  e suas variantes (KASPER, 2003).

No simulação  $k-\varepsilon$  padrão,  $k$  representa a energia cinética turbulenta e é definida como a variação das flutuações da velocidade e  $\varepsilon$  é a taxa de dissipação turbulenta. Este simulação é o mais empregado em simulações, oferecendo na maioria das vezes boa precisão e eficiência. O simulação utiliza a viscosidade turbilhonar relacionando o tensor de Reynolds com variáveis conhecidas. (KASPER, 2003).

Para o simulação  $k\varepsilon$ , a viscosidade cinemática é dada por:

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad 15$$

Onde  $c_\mu$  é um valor empírico equivalente = 0,09.

O simulação  $k\varepsilon$  e suas variantes são os mais usados no caso de regime turbulento. As equações de transporte assumem para  $k$  e  $\varepsilon$  as mesmas formas das equações do quadro 2-17, e o coeficiente de difusão e o termo fonte para o movimento turbulento também podem ser encontrados no quadro 2-17 (NEGRÃO, 1995).

Todas as equações de transporte tem o mesmo formato (dado pela equação 14) e seus diferentes termos são geralmente descritos por transiente ( $\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)$ ), difusão ( $\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right)$ ), convecção ( $\frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho U_j \phi)$ ) e termo fonte ( $S_\phi$ ). A soma da difusão e convecção é definida por  $J$ .

Substituindo esta definição na equação 14 obtém-se a equação 4.3 (NEGRÃO, 1995):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) = \frac{\partial j_j}{\partial x_j} + S_\phi \quad 16$$

Onde:

$$J_j = \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} - \rho U_j \phi \quad 17$$

#### 2.1.4 Método dos volumes finitos

Patankar (1980), mostra que uma série de problemas físicos podem ser representados pela equação geral de balanço (equação 14).

Na resolução de problemas de escoamento, o método dos volumes finitos é talvez o mais utilizado. Na literatura especializada, verifica-se que este método foi utilizado com sucesso em um grande número de problemas, como por exemplo, as aplicações mencionadas em Patankar (1980).

O programa de computador disponível utiliza o método dos volumes finitos para resolver a equação geral de balanço, juntamente com o procedimento *SIMPLE* para resolver o acoplamento entre pressões e velocidades. Para facilitar a descrição do programa, neste item é abordado brevemente o método dos volumes finitos e o procedimento *SIMPLE*. Mais informações sobre o método dos volumes finitos e o procedimento *SIMPLE* poderão ser encontradas em Patankar (1980).

No método dos volumes finitos, além de se definir a posição dos nós, deve-se definir também para cada nó um volume finito (figura 2-47). Patankar (1980) fornece duas maneiras para definir as malhas, que foram denominadas de Práticas A (figura 2-49) e B (figura 2-50). Na prática B, utilizada pelo *PHOENICS*, são definidas inicialmente as superfícies que delimitam os volumes finitos e os nós são posicionados nos pontos médios dos volumes.

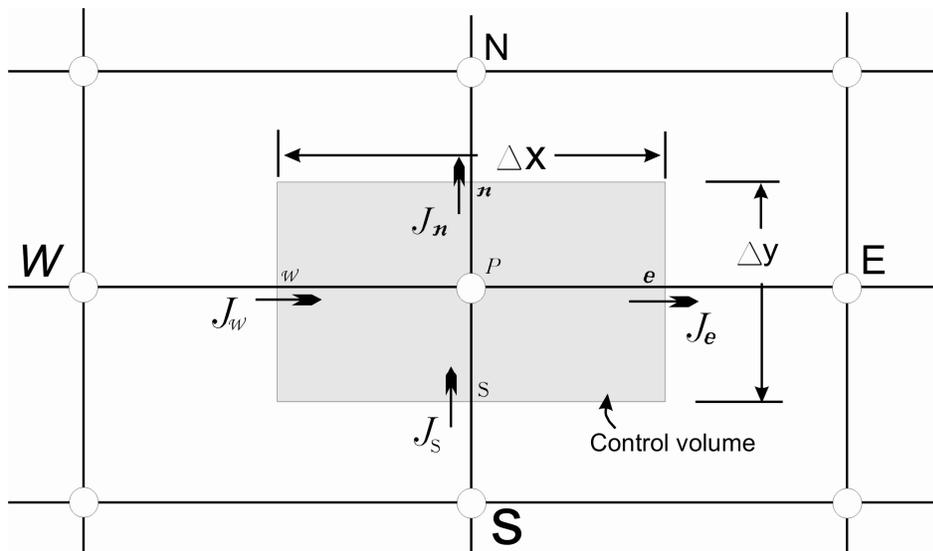


Figura 2-47: Discretização no método dos volumes finitos a

Fonte: PATANKAR, 1980

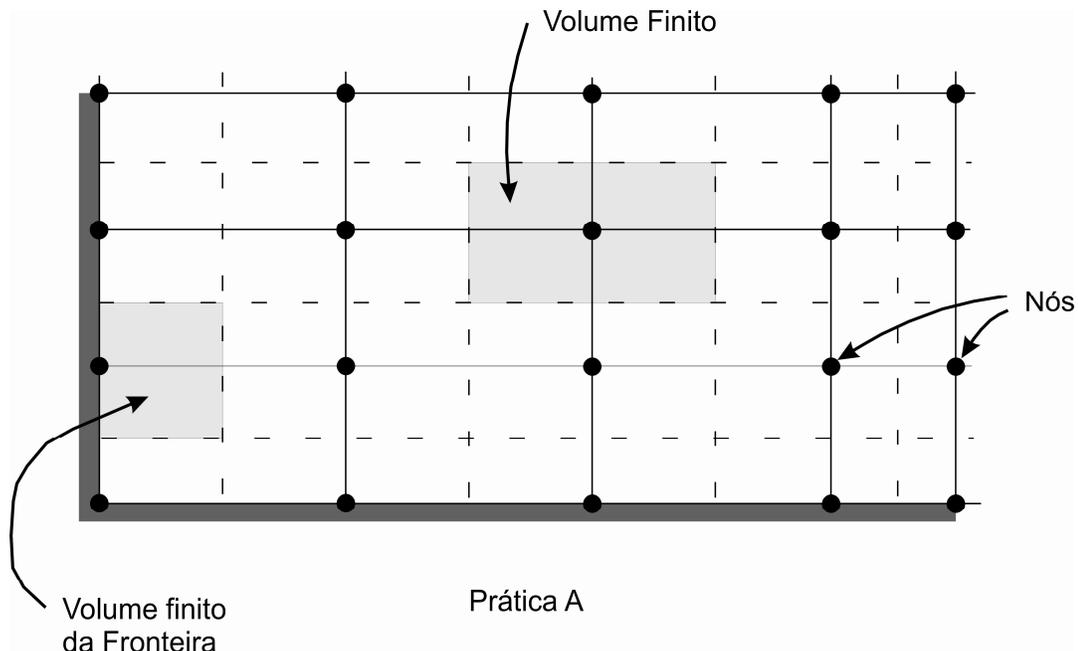
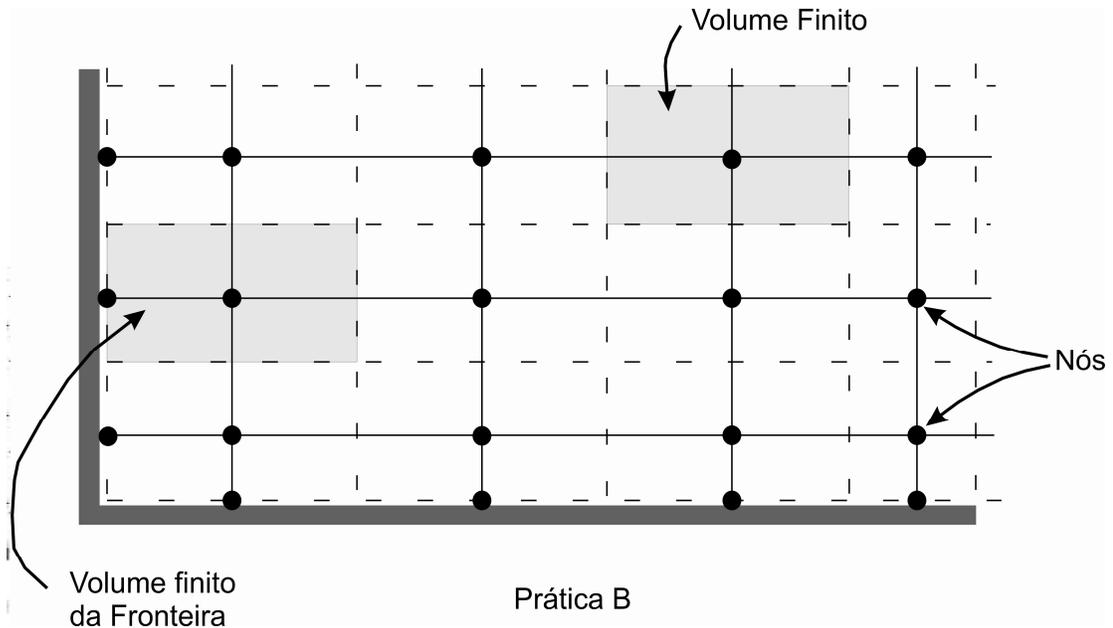


Figura 2-48: Prática A

Fonte: PATANKAR, 1980



Prática B  
**Figura 2-49: Prática B**  
 Fonte: PATANKAR, 1980

No método dos volumes finitos a discretização é feita integrando a equação diferencial em cada volume que corresponde a um nó. Toma-se um volume finito  $V$  de dimensões  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$ , cujo nó está situado em  $(x, y, z)$ . Integrando a equação 14, neste volume e utilizando o teorema da divergência obtém-se a equação 18:

$$J_e A_e - J_w A_w + J_n A_n - J_s A_s + J_b A_b - J_t A_t - \bar{S} \Delta V = 0 \quad 18$$

O vetor  $\vec{J}$  representa a soma dos fluxos convectivo e difusivo e possui as seguintes componentes nas direções  $x, y, z$ , na forma das equações 19, 20 e 21

$$J_x = \rho U \phi - \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad 19$$

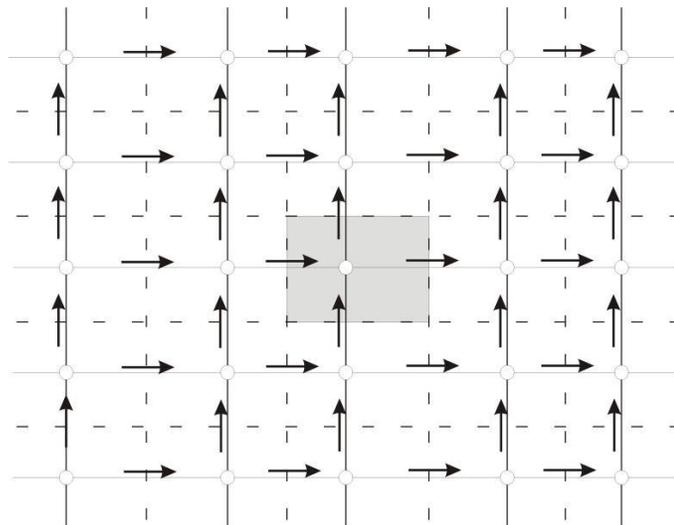
$$J_y = \rho V \phi - \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad 20$$

$$J_z = \rho W \phi - \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad 21$$

Na equação 18,  $J_e$  e  $J_w$  representam os fluxos médios de  $J_x$  nas superfícies leste e oeste, enquanto que  $J_n$  e  $J_s$  representam os fluxos médios de  $J_y$  nas superfícies norte e sul e  $J_t$  e  $J_b$  representam os fluxos médios de  $J_z$  nas superfícies inferior e superior. Também na equação 18,  $\bar{S}_\phi$ , representa o valor médio da fonte  $S_\phi$  no volume finito.

Na equação 18,  $A_e$ ,  $A_w$ ,  $A_n$ ,  $A_s$ ,  $A_t$  e  $A_b$  e são as áreas das faces leste, oeste, norte, sul, superior e inferior do volume finito e  $\Delta V$  é o volume do mesmo.

No método dos volumes finitos, o fluxos médio entre dois nós é calculado através de expressões obtidas a partir do caso unidimensional. (figura 2-50).



**Figura 2-50: Fluxo médio entre nós**

Fonte: PATANKAR, 1980

Patankar, (1980) menciona vários esquemas para calcular o fluxo  $J$  e mostra que, independentemente do esquema utilizado, o fluxo entre dois pontos A e B situados a uma

distância L pode ser dado pela equação 22:

$$J = (\rho U)\phi_A + \left[ \frac{\Gamma_{AB}}{L} A(|P|) + \text{MAX}(0, -\rho U) \right] (\phi_A - \phi_B) \quad 22$$

Na equação acima  $\phi_A$  e  $\phi_B$  são os valores de  $\phi$  nos pontos A e B respectivamente. O fluxo de massa que cruza a interface entre os volumes finitos é dado por  $\rho U$ . A expressão  $\text{max}(0, -\rho U)$  denota o maior valor entre 0 e  $-\rho U$ . A variável  $\Gamma_{AB}$  representa o coeficiente médio de difusão entre os pontos A e B, podendo ser calculada como a média entre as difusividades  $\Gamma_A$  e  $\Gamma_B$ . A variável P é o número de Peclet dado por  $P = \rho UL/\Gamma_{AB}$ . A função  $A(|P|)$  irá depender do esquema utilizado.

O domínio de solução é subdividido em um número finito de volumes de controle adjacentes entre si onde as equações de conservação são aplicadas e calculada no centróide de cada volume de controle. Os valores das variáveis e propriedades nas faces do volume de controle são determinados por interpolação.

O método dos volumes finitos pode acomodar qualquer tipo de malha e é, portanto, aplicável para geometrias complexas. A malha passa a definir as fronteiras do volume de controle e não é necessariamente relacionada a um sistema de coordenadas. (GANZAROLLI, ROSA; 2005).

A definição da malha é parte fundamental do problema, a precisão numérica da solução depende diretamente da mesma uma vez que as variáveis são calculadas em pontos discretos da malha. Ela é um dos elementos que influencia na taxa de convergência (ou divergência) da solução. (GANZAROLLI, ROSA; 2005).

Patankar(1980) descreve uma série de esquemas para tratar os termos convectivos, entre estes, o esquema “híbrido”( “hibrid scheme”), que é utilizado pelo *PHOENICS*, onde a função  $A(|P|)$  que aparece na equação 23, é dada pela equação 24:

$$A(|P|) = \max\left[0, 1 - 0,5|P|\right] \quad 24$$

Estas equações podem ser resolvidas por um método numérico e assim obtém-se o campo  $\phi$  desejado.

A resolução de escoamentos, apresenta dificuldades ao resolver as equações de balanço de quantidade de movimento, o gradiente de pressões está incluído na fonte  $S\phi$ . Como as pressões normalmente se constituem em uma incógnita do problema e não temos equação específica para esta variável, as pressões devem ser determinadas de forma que as velocidades obedeam à equação da continuidade. Ou seja, dado um campo de pressões qualquer, podemos resolver as equações de conservação de quantidade de movimento para obter as velocidades  $u$ ,  $v$  e  $w$ , entretanto este campo de velocidades não irá necessariamente obedecer a equação da continuidade.

Deve-se então encontrar um campo de pressões que, quando utilizado nas equações de conservação da quantidade de movimento, forneça um campo de velocidades que seja solução também da equação da continuidade. Patankar (1980), descreve detalhadamente o procedimento *SIMPLE*, para resolver o acoplamento entre as pressões e as velocidades. No *PHOENICS* é utilizado um procedimento semelhante que foi denominado *SIMPLEST*. Nestes métodos para tratar o acoplamento pressão-velocidade, após a resolução das equações de conservação de quantidade de movimento, são resolvidas as equações de correção de pressão, o que permite que o campo de pressões seja atualizado e se obtenham novas velocidades que atendem a equação da

continuidade. Então as equações de conservação de quantidade de movimento são novamente resolvidas utilizando as novas pressões e o processo é repetido até que se obtenha a convergência.

Além das dificuldades acima citadas, como mostrado em Patankar (1980), se as velocidades e pressões forem calculadas nos mesmos pontos da malha, irão resultar campos não realísticos. Para resolver este problema, o autor sugere a utilização da malha escalonada (“*staggered grid*”). Nesta prática são utilizadas, no caso bidimensional, três malhas diferentes: Uma malha para a velocidade  $u$ , outra para a velocidade  $v$  e uma outra para o restante das variáveis, denominada de malha normal. No caso de escoamentos tridimensionais são utilizadas 4 malhas uma para  $u$ , uma para  $v$ , uma para  $w$ , e a malha normal para as outras variáveis.

A disposição das malhas é dada na figura 2.50. Nota-se, nesta figura, que as malhas são dispostas de tal forma, que as velocidades são calculadas nas interfaces entre os volumes finitos da malha normal. A utilização da malha escalonada faz com que, se a malha normal tem  $mxn$  nós, então a malha para  $u$  terá  $(m-1)xn$  nós e a malha para  $v$  terá  $mx(n-1)$  nós.

### **2.1.5 Aplicação de simulação em estudos de casos sobre ventilação natural**

Nos estudos sobre ventilação natural, utiliza-se cada vez mais programas computacionais que auxiliem no cálculo numérico, ou na visualização do fluxo ao redor ou interiormente as construções. É fato que muito softwares delimitam valores fixos para os coeficientes de pressão, bem como valores constantes para a turbulência. Os valores fixados por estes aplicativos advém de simulações empíricas, que se basearam em estudos em túnel de vento.

Com o intuito de simular condições de ventilação em fase de anteprojeto, muitos simulações foram desenvolvidos para estimar o fluxo em ambientes internos. Entre eles, simulações empíricas, de rede, de zona e de dinâmica de fluidos computacional (*CFD*).

Os simulações de redes constituem-se de um conjunto de pontos no espaço (nós), conectados por linhas (arcos), onde tanto os nós quanto os arcos possuem atributos. Os fenômenos modelados por redes incluem fluxo de qualquer natureza, neste caso valores numéricos. Os simulações de redes usam como suporte matemático a teoria de grafos

O AIOLOS, desenvolvido por Allard (1998), é um programa focado no cálculo do fluxo de ar nos vários cômodos de uma edificação. Tem como parâmetro o número máximo de interações = 100 e a convergência residual= 0,01. A vantagem principal do AIOLOS está na sua saída informando a vazão de ar, pois essa é a variável predominantemente citada na literatura de referência sobre critérios de ventilação de ambientes interiores. (FERREIRA E ASSIS, 2007).

Krüger (1999) avalia a ventilação natural em habitações térreas unifamiliares, adotando um simulação de uma casa padrão do tipo COHAB, através de simulações computacionais com o software AIOLOS,. Criou-se um simulação da casa com a divisão em 5 zonas, cada zona correspondendo a um ambiente. No software AIOLOS aplicou-se coeficientes de descarga das aberturas (CD) fixados em 0,6. Os coeficientes de pressão nas diversas fachadas foram calculados pelo programa, que adota valores quadrados para diferentes tipos de exposição e orientação em relação ao vento predominante. A vantagem da utilização do AIOLOS está na identificação imediata da direção predominante do vento em relação aos dados climáticos utilizados. De posse de tal informação, pode-se dimensionar e posicionar as aberturas de forma que se obtenham parâmetros de ventilação natural no ambiente interno.

O software *Energy Plus*, para o cálculo da ventilação, incorpora o algoritmo *COMIS*<sup>19</sup> (*Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists*), baseado nos valores indicados pela *ASHRAE*.

---

<sup>19</sup> Ver capítulo sobre ventilação natural

Matos et al. (2005), trabalham com o *Energy Plus* na obtenção de padrões de ventilação em habitações de interesse social. O simulação possui sala, cozinha e 2 dormitórios, pé direito de 3m e área de 51m<sup>2</sup>. Foram simulados três casos com proteção solar: área de ventilação de 8%, 15% e 25% da área do piso e área de 8% sem proteção solar. As simulações mostraram que 25% de área de abertura de janela foi a melhor opção para o simulação analisado. Analisando-se os dados de trocas de ar por hora, fornecidos pelo programa para cada caso simulado, verificou-se valores muito elevados mesmo para o caso com 8% de área de janela, em torno de 200 renovações de ar por hora para as zonas cozinha e sala.

Existem trabalhos que se interessam pela criação de softwares direcionados a simulação específicas como é o caso do software COBRA produzido por Schneider (1995); a leitura feita por Montezuki et al. (2005) do simulação numérico proposto por AYAAD (1999); como também o simulador numérico bidimensional gráfico interativo denominado FLUXOVENTO, criado por Carvalho et al, (2005). Outro exemplo é o Souza et al, (2007), baseado no método de diferenças finitas com formulação para volumes de controle, desenvolvido por Patankar (1980). Esse método utiliza o esquema de interpolação da Lei da Potência (*Power Law*).

Os software existentes no mercado possuem padrões de cálculo que permitem ao arquiteto se abster da formulação de um software particular. Nestes casos os *CFDs* comerciais podem ser utilizados para a concepção de estudos aplicados a arquitetura.

O ítem 2.4.1. aborda estudos elaborados no Brasil e no exterior sobre as dificuldades e soluções encontradas para a ventilação natural, através de softwares comerciais.

### 2.1.6 Aplicação de simulação em estudos sobre ventilação natural em habitações e conjuntos habitacionais

Desde o ano de 1990, acontece de dois em dois anos o encontro Nacional sobre conforto no do ambiente construído (ENCAC). É verificado, por uma análise dos anais desse congresso, o amadurecimento e evolução tanto do estudo de ventilação como do uso cada vez mais freqüente de softwares que auxiliem na área de conforto.

Os primeiros estudos sobre ventilação natural e o uso de simulações computacionais através do software *PHOENICS* no Brasil, na esfera da Arquitetura e Urbanismo, remetem à tese e trabalhos realizados por Leonardo Bittencourt, coordenador do grupo GECA (grupo de estudos em conforto ambiental) na UFAL. As condições climáticas da cidade de Maceió/AL tornam o estudo da ventilação natural uma das variáveis importantes para se estabelecer a sensação térmica agradável, nos indivíduos em atividades diferenciadas.

O quadro 2-18 resume o simulação utilizado pelo Grupo de Estudos em Conforto Ambiental, GECA, da UFAL (Universidade Federal de Alagoas). Este simulação é baseado na tese de doutorado do professor Leonardo Salazar Bittencourt (1993), pesquisador e coordenador do grupo.

**Quadro 2-17: Características das Simulações utilizadas naUFAL**

Geometry	Domino		X = 40	Y=120	Z =40	
	Manual		Manter proporção 1(largura):3(comprimento):1(altura)			
			1° região: +1.5	1° região: +1.5	1° região: +1.5	
			Demais regiões: 1	Demais regiões: 1	Demais regiões: 1	
			Ultima região:1,5	Ultima região:- 1,5	Ultima região:1,5	
Models	Turbulence Models		KEMOLD			
Properties	Ar		K = 273	Pressão de referencia=10.000		
Initialisation Valores iniciais	P1 (pressão)	U1 (velocidade do vento para x)	V1 (velocidade do vento para y)	W1 (velocidade do vento para z)	κε	EP
	1 <sup>-10</sup>	0,0155	0,0155	0,0155	-0,4	-0,4

Continuação Quadro 2-18

Numerics	Total number interactions	De 50 a 6800 interações, dobrando o número de interações até chegar a 6800 interações. Utilizando o comando RESTART for all variables, na opção initialization, a cada nova simulação de dados.					
Objetos de Domínio				Objetos a serem simulados			
Nome:	Piso	Entrada	Saída	Nome:	casa		
Posição				tipo	blockage		
X	0	0	40	atributos			
Y	0	0	0	material	120 concret block		
Z	0	0	0	tipo	solid		
tamanho							
X	40	40	40				
Y	120	0	0	shapes			
Z	0	40	40	Import CAD geometry form	STL file		
tipo=	plate	inlet	outlet	Posição			
atributos	X			X= 82,5, Y=10, Z=0			
Velocity in X-direction at the reference height to=	0			Tamanho			
Velocity in Y-direction at the reference height to=	0			X =25, Y=2,7, Z =8			
Velocity in Z-direction at the reference height to=	3 <sup>20</sup>			'			

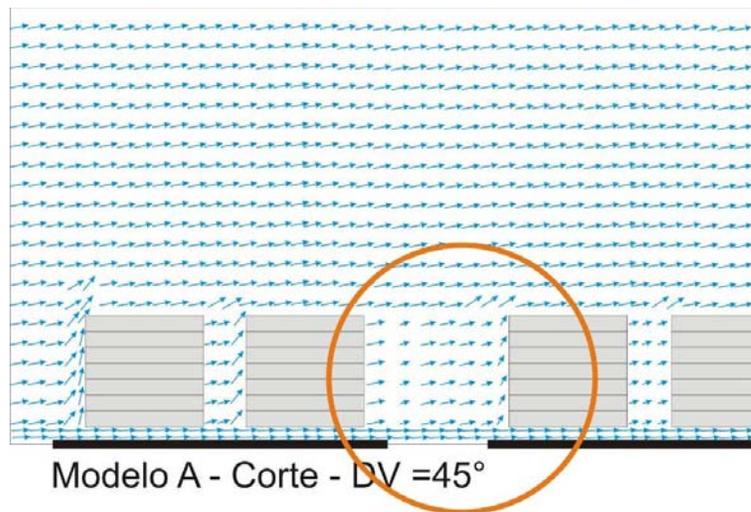
Fonte: UFAL, 2005, Documento Interno

Trabalhos produzidos pelo grupo, desde 1997, preocupam-se em analisar a relação da ventilação natural com o ambiente construído. Bittencourt. et al. (1997), através do programa de *CFD*, analisam duas alternativas de implantação de um edifício em lote típico da orla marítima de Maceió/AL; os simulações simulados foram submetidos às direções de vento 45° e 90° em relação à fachada leste, o que corresponde às incidências predominantes na região. Os resultados levam à conclusão de que a elevação do número de pavimentos, combinada à redução na taxa de ocupação do lote permitiria uma melhor distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos e externos (figura 2-51 e 2-52).

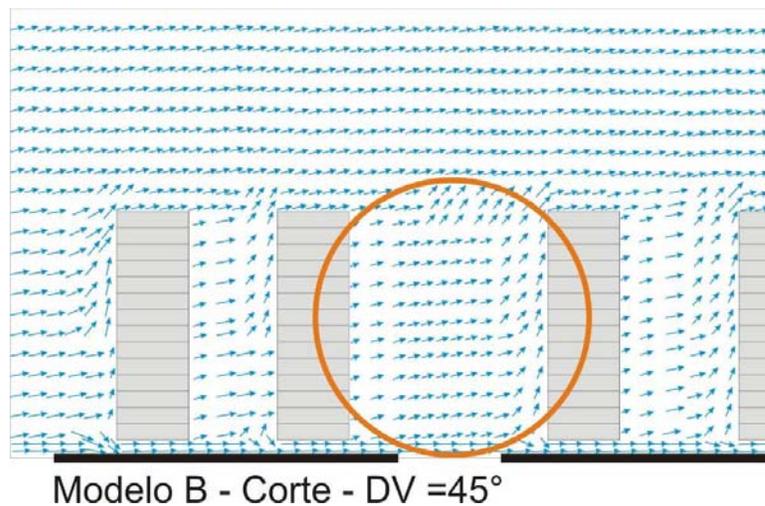
O uso do *CFD*, no entanto, tem apenas caráter ilustrativo, posto que o artigo não menciona quais foram os padrões utilizados, nem os dados iniciais inseridos no software para a realização e verificação prática dos resultados após a convergência na simulação.

---

<sup>20</sup> Para um valor de velocidade =3m/s caso o ângulo de incidência ocasione 90°, tem-se a velocidade no vetores X, Y e Z =  $\vec{x} = 0m/s, \vec{y} = 0m/s, \vec{z} = 3m/s$ . Para o ângulo de incidência de 45°, tem-se a velocidade nos vetores X, Y e Z =  $\vec{x} = 2,12m/s, \vec{y} = 0m/s, \vec{z} = 2,12m/s$ .



**Figura 2-51: Circulação da ventilação em relação ao número e pavimentos das edificações – edifícios baixos**  
 Fonte: Bittencourt, et al, (1997).

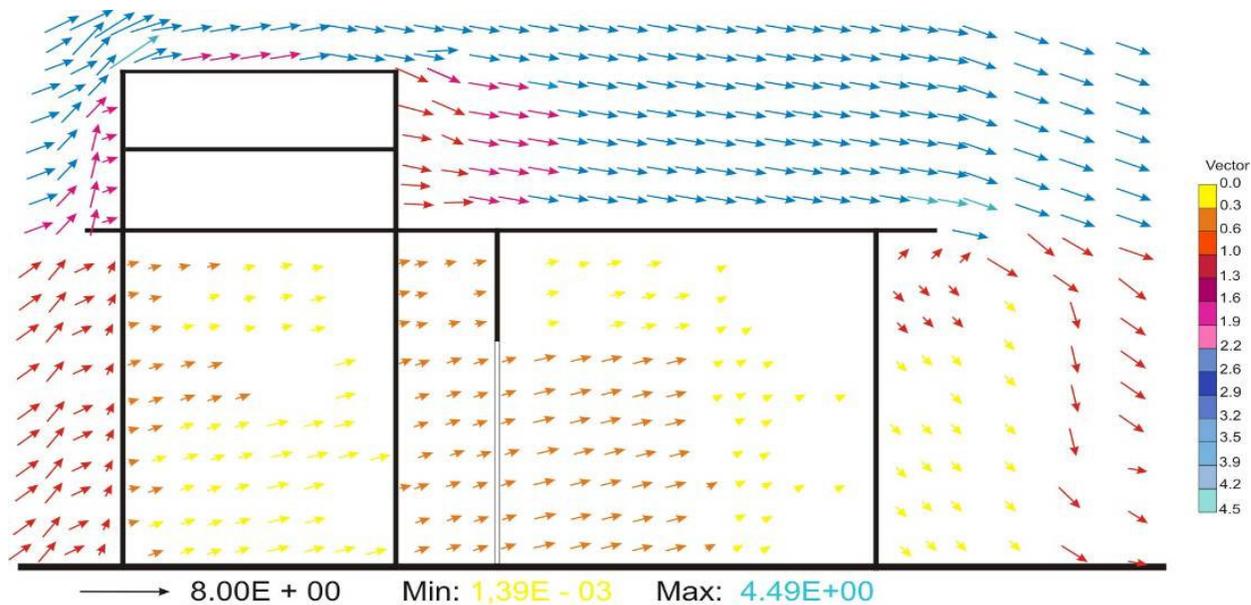


**Figura 2-52: Circulação da ventilação em relação ao número e pavimentos das edificações – edifícios altos**  
 Fonte: Bittencourt, et al, (1997).

Lobo e Bittencourt (2001) estudaram a influência da utilização de captadores de vento em habitações populares de regiões quentes e úmidas, através do estudo de unidades habitacionais de um conjunto residencial localizado em Maceió/AL.

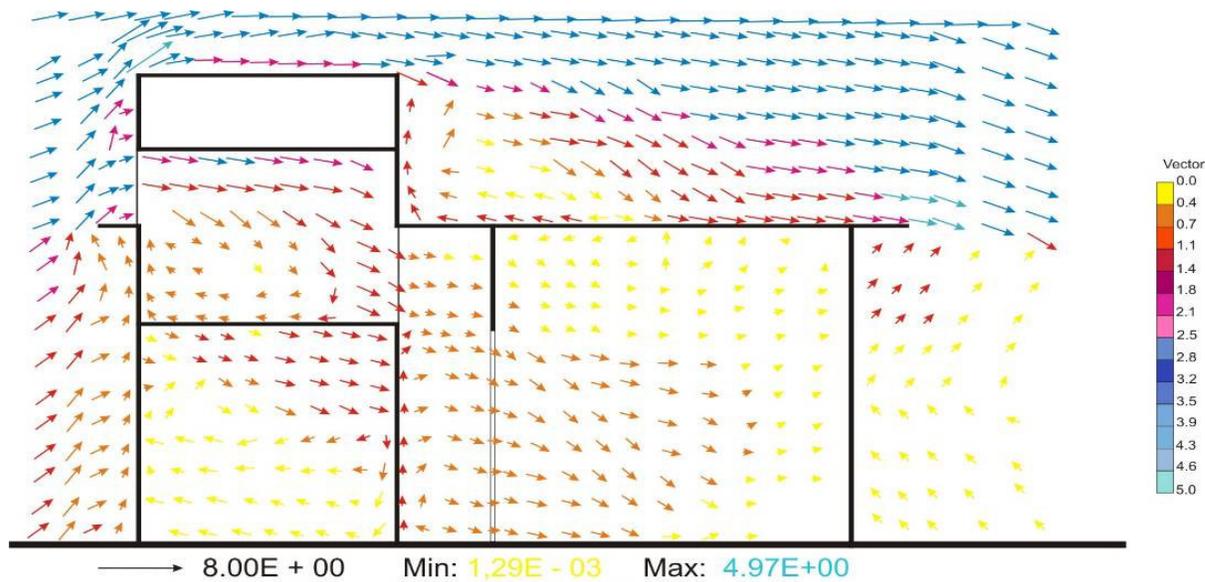
O simulação consta de duas habitações uma com o captador e a outra sem o captador de vento, utilizando o programa *PHOENICS 3.2*, verificando a diferença no conforto térmico nos ambientes internos. A análise figurativa das duas modelagens, através de figuras da área de

trabalho do software em questão, sendo captadas imagens plano xz, ilustram que na figura 2-54, onde há o uso do captador, o fluxo interno é maior do que na figura 2-53.



**Figura 2-53: Simulação sem captador de vento**

Fonte: Lobo e Bittencourt, 2001.

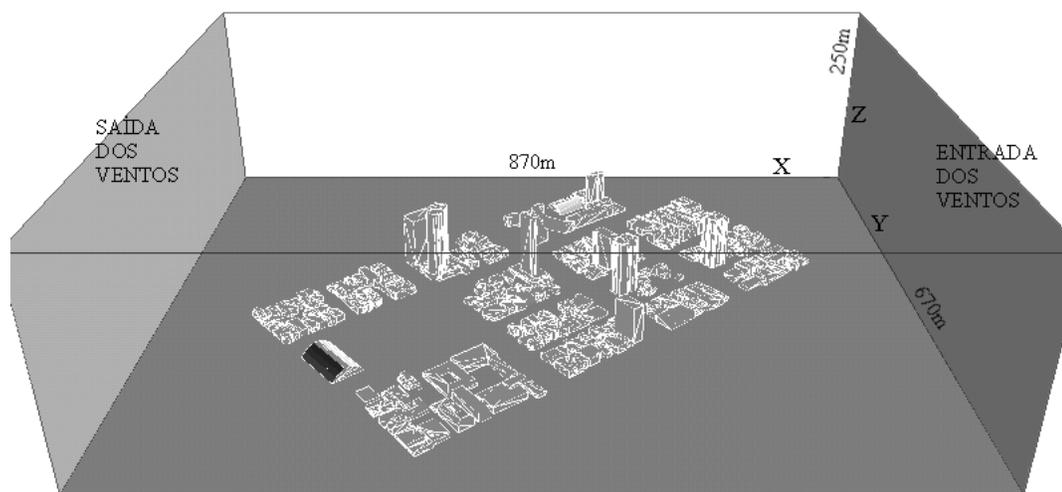


**Figura 2-54: Simulação com captador**

Fonte: Lobo e Bittencourt, 2001.

Aproveitando o uso de *CFDs*, Costa e Araújo (2001), contando com o auxílio de Saraiva (SARAIVA ET. AL., 1999), definem uma área de estudo muito mais ampla do que a proposta por Lobo e Bittencourt, (2001). Tinham como objetivo comparar as sucessivas modificações do plano diretor ocorridas em 1984, 1994 e 1999 da cidade de Natal/RN.

O simulação apresentava uma área de entrada e outra de saída. O espaço de domínio foi definido com auxílio de Saraiva et. al. (1999), fundamentado por seus estudo em túneis de vento. Adota-se um volume, onde pela seção vertical, a massa edificada representa no máximo 7% (sete por cento) da área da seção do domínio; a altura do domínio tem 3(três) vezes a altura da massa edificada; a dimensão longitudinal depende da altura do domínio, assim o espaço anterior à massa edificada tem uma distância equivalente a 2 vezes a altura do domínio; e o espaço posterior edificação, pela mesma regra mantem de 4 a 5 vezes a altura do domínio.



**Figura 2-55: Alteração da área de domínio**

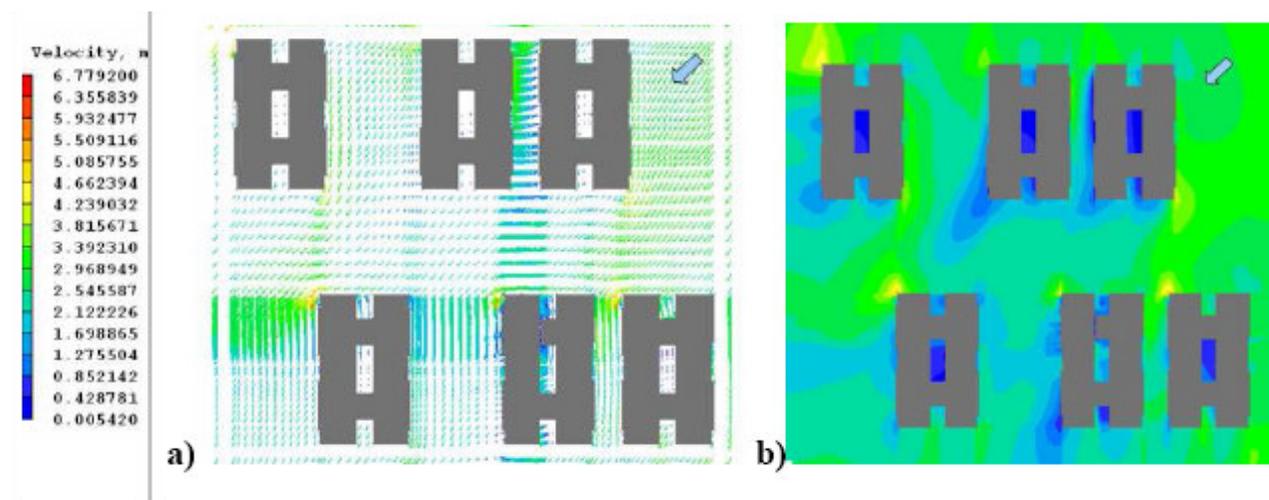
Fonte: Costa e Araújo (2001)

Da análise das simulações pode-se afirmar que as alterações nos índices e prescrições urbanísticas dos Planos Diretores estudados resultaram na redução da velocidade dos ventos na área de estudo, conforme foram sendo realizadas as transformações.

A preocupação de Costa e Araújo (2007), está em comparar diferentes áreas de taxa de ocupação e adensamento expostas à mesma condição de contorno. A viabilidade do trabalho é reconhecida por não haver diferenciação nos valores de entrada. Nota-se, porém, falta de dados como: tipo de simulação turbulento aplicado, número de células utilizadas, tipo de malha, tempo de convergência, apenas 2 lados de domínio foram definidos.

Outro exemplo de aplicação em áreas urbanas com auxílio de *CFDs* remete ao trabalho de TORRES et al. (2007). Os autores apresentam uma avaliação sobre a influência de arranjos construtivos urbanos, visando aprimorar o conhecimento sobre as condições de ventilação natural na qualidade climática das edificações.

O simulação proposto consiste em três conjuntos habitacionais verticais com arranjos construtivos urbanos de configurações diferenciadas determinados por conjuntos habitacionais verticais destinados à população de baixa renda.



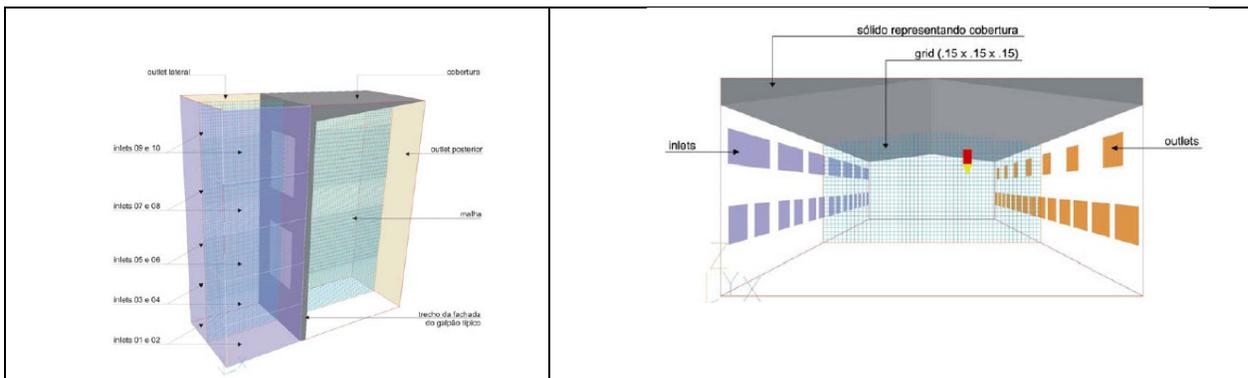
**Figura 2-56: Simulação residencial José Bernardes, incidência do vento sudeste. Plano de análise de 1,5m.  
Visualização em vetores ( a) e campo de velocidade (b)**

Fonte: TORRES et al, 2007

O software foi utilizado para conhecer o nível de aproveitamento dos ventos a partir da análise da disposição do arranjo construtivo e da configuração das edificações existentes no

conjunto.

Trindade (2006), com o uso do *PHOENICS*, busca identificar as taxas de renovações do ar no interior dos edifícios em Natal/RN. Para testar a validade do método adotado são apresentadas simulações com diferentes condições de contorno e avaliada sua influência nas taxas de renovação do ar. Para viabilizar as simulações em termos de tempo de processamento e capacidade computacional disponível, foi necessário dividi-las em duas etapas, utilizando dois domínios separados. Um domínio único geraria uma quantidade de células impraticável devido ao grande número de elementos vazados com dimensões reduzidas (1,5 cm) que teriam que ser capturadas pela malha. A primeira etapa foi composta por um simulação com domínio e malha dimensionados para a análise isolada do escoamento nos elementos vazados. Foi construído um domínio representando um trecho da fachada do galpão típico com a geometria das aberturas compostas por elementos vazados e parte da cobertura interna.



**Figura 2-57: Simulação dividida em 2 partes. A- Domínio externo ao galpão B- Domínio representando o interior do galpão**

Fonte: Trindade 2006

Devido ao grande número de células resultante desse refinamento, o domínio teve que ser reduzido, tendo largura de 2m( dois metros), profundidade de 5m( cinco metros) e altura de 5,3m(cinco metros e trinta centímetros), necessária à reprodução da altura interna do galpão típico. Foram adotadas entradas (*inlets*) frontais e laterais, simulando a ventilação no ângulo

adotado, a cada metro, representando o gradiente de vento, com as velocidades corrigidas para os seus centros geométricos. Saídas (*outlets*) foram colocadas na lateral e no fundo do domínio simulando o espaço livre para o escoamento tanto fora como no interior do galpão.

O simulação de turbulência adotado nas simulações foi o RNG  $k-\epsilon$ , baseado no estudo conduzido por Chen (*apud* DUARTE, 2003), que chegou à conclusão que este simulação é o mais indicado para escoamentos em interiores, por trabalhar bem as características dos escoamentos encontrados em ambientes fechados. Com o auxílio do tutorial e da biblioteca interna do programa, as outras variáveis foram inseridas de acordo com o simulação a ser analisado.

O simulação apresentado por Trindade( 2006) é até agora a definição mais completa sobre a utilização do *PHOENICS*, nos Anais do ENCAC. Constata-se CFDs não são muito populares entre estudantes da área de conforto. Realmente sua interface às vezes prejudica a comunicação entre usuário e software, já que as linguagens são bem diferentes. Quase todos os simulações analisados não trazem em seu conteúdo dados fundamentais para a utilização dos *CFD's*, entre eles: simulação de turbulência definição das áreas de contorno do domínio, tamanho do domínio, tipo de malha, quantidade de células que compõem a malha, número de interações necessárias, tempo de uso ininterrupto do processador, processador utilizado, limite de convergência, padrões de convergência adotado.

### 3 Metodologia

O trabalho divide-se metodologicamente em 5 partes: 3.1. Criação da quadra padrão através de um banco de dados das casas autoconstruídas do jardim São José, 3.2. Valores meteorológicos, 3.3 Utilização do Software PHOENICS para criação da simulação padrão; 3.4 Divisão da simulação em duas partes; primeira parte: definição da malha urbana do bairro e inserção da quadra tipo; 3.5- Simulação da quadra tipo desenvolvida a partir dos valores de velocidade e direção do vento encontrados na simulação parte 1

A análise da ventilação na área livre dos lotes das casas autoconstruídas do Jardim São José, necessita da construção de um banco de dados sobre habitações autoconstruídas, verificando a ocorrência de modificações num certo período e avaliando as consequências das alterações na ventilação natural. Os valores locais de velocidade e direção do vento foram retirados do aeroporto de Viracopos, que localiza-se próximo da área de estudo.

As simulações em CFD englobam um grande número de variáveis e simulações que devem ser simplificados de acordo como o objeto de estudo. Entre os programas de CFD existentes optou-se pelo *PHOENICS*.

Para que o resultado seja alcançado é necessário: definição do tipo de simulação de escoamento, definição do tipo de malha a ser utilizada, condições de contorno, criação do simulação, valores para convergência e tempo de simulação existente.

Para analisar o efeito da ventilação em torno das habitações, a simulação foi dividida em 2 etapas: a primeira que faz uma relação entre a área urbana próxima a quadra e o domínio do simulação levando em consideração as velocidade e direção do ventos para o tipo urbano especificado pela quadra. A segunda fará a relação direta com a área externa das construções e as áreas de recuo existente no limite do lote. Com isso define-se que os valores de velocidades serão externos às edificações, porém dentro da área livre do lote de cada edificação.

### 3.3 Casas autoconstruídas

A elaboração de um banco de dados sobre a moradia de baixa renda em Campinas, é uma das linhas de pesquisa estudadas pelo grupo de pesquisa coordenado pela Doutora Doris C. C. K. Kowaltowski no Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. WATRIN (2000), buscou um maior conhecimento sobre a população de autoconstrutores da cidade. Devido às dificuldades de localizar dados precisos sobre o número de moradias autoconstruídas em Campinas, Watrin e Kowaltowski, 2000 optaram por utilizar como indicativo de bairros autoconstruídos os loteamentos urbanizados planejados pela Companhia de Habitação de Campinas (COHAB).

O trabalho de WATRIN (2000) analisa cinco loteamentos como definidores da população a ser investigada. São 1654 lotes com uma margem de erro de 3,5% para mais ou para menos, a amostra ficou definida em um total de 153 lotes a serem investigados. Esta amostra foi dividida proporcionalmente ao tamanho de cada loteamento, o que resultou nos seguintes números: Jardim São José – 69 questionários; Jardim São Luís – 64 questionários; Jardim Aruanã – 8 questionários; Jardim Conceição – 6 questionários; Jardim Anchieta – 6 questionários. (quadro3-19)

**Quadro 3-18: Bairro de autoconstrutores em Campinas, 2000.**

Amostragem			
Loteamentos	Total de lotes entregue	Ano	Questionários Aplicados
Jardim São José	750	1999	69
Jardim São Luis	676	1999	64
Jardim Aruanã - DIC V, 2ª fase	96	1999	8
Jardim Conceição (Souzas)	61	1999	6
Jardim Anchieta	71	1996	6

Fonte: <http://www.cohabcp.com.br/proghab/prog2.html> , em 12/01/2005, dados da autora.

O Jardim São José(figura 3-58) pode ser visto como um Núcleo Residencial de Lotes Urbanizados, de propriedade da Cohab-Campinas e está inserido no perímetro urbano do

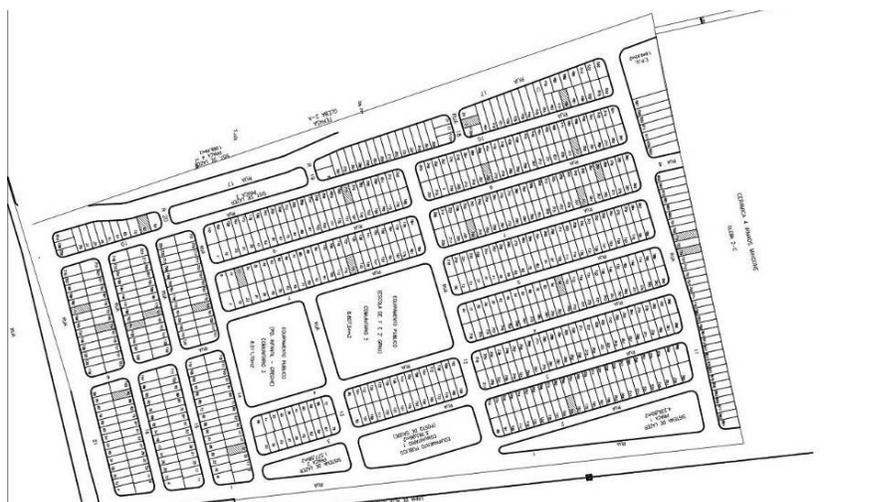
Município de Campinas, macrozona 5. Pela análise de fronteira do bairro tem-se ao Norte a divisa com a Cerâmica 4 Irmãos - Mingrone; ao Sul , encontra-se a Estrada Municipal Campinas-Friburgo; á leste encontra-se a subestação da CPFL e a Oeste a linha ferroviária da Fepasa.



**Figura 3-58: Fotos aéreas do Loteamento São José**

Fonte: Projeto FINEP

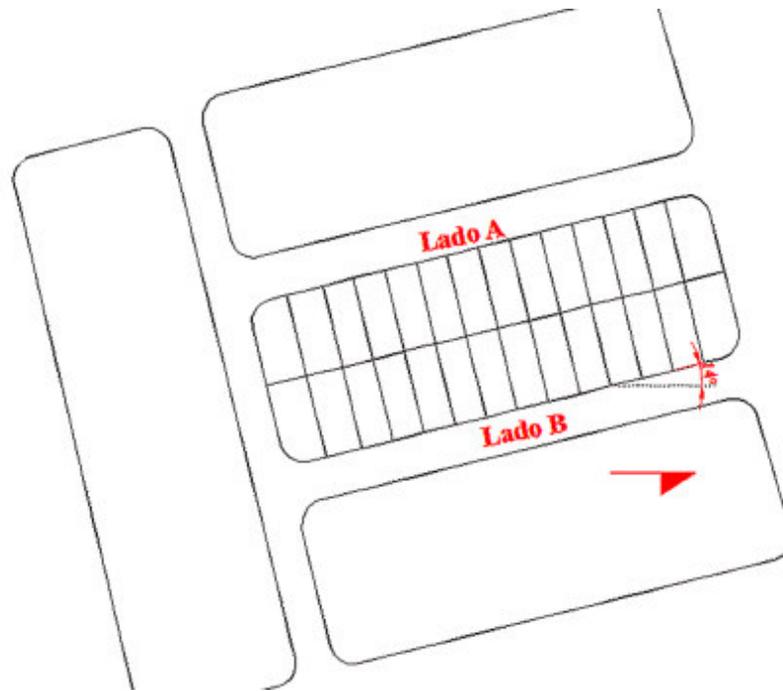
Dista 15 km do Centro do Município, sendo os acessos principais efetuados pela avenida. Ruy Rodrigues e Estrada Municipal Campinas-Friburgo. Existem 735( figura 3-59) lotes residenciais, sendo a metragem, tirando os de esquina, nos padrões de 7x18m.



**Figura 3-59: Implantação do São José**

Fonte: COHAB Campinas, 2005

A análise do Jardim São José mostra duas orientações das quadras: uma com o azimute na frente do lote a  $74^{\circ}$ (para o lado A) e outra a  $346^{\circ}$  leste (para o lado B). As quadras com sentido Norte-sul predominante, foram as escolhidas para a criação do simulação 3D, pois se encontrou maior número de habitações nesta orientação.



**Figura 3-60: Perfil Norte- Sul -Lado A/B –**

A quadra típica, consiste de uma quadra padrão, em largura e comprimento, do bairro São José, considerando-se a mesma posição em relação a seu azimute. Para tanto, a condição ortográfica e a ortogonalidade das quadras existentes, definem as quadras no sentido Norte/ Sul e no sentido Leste/ Oeste.

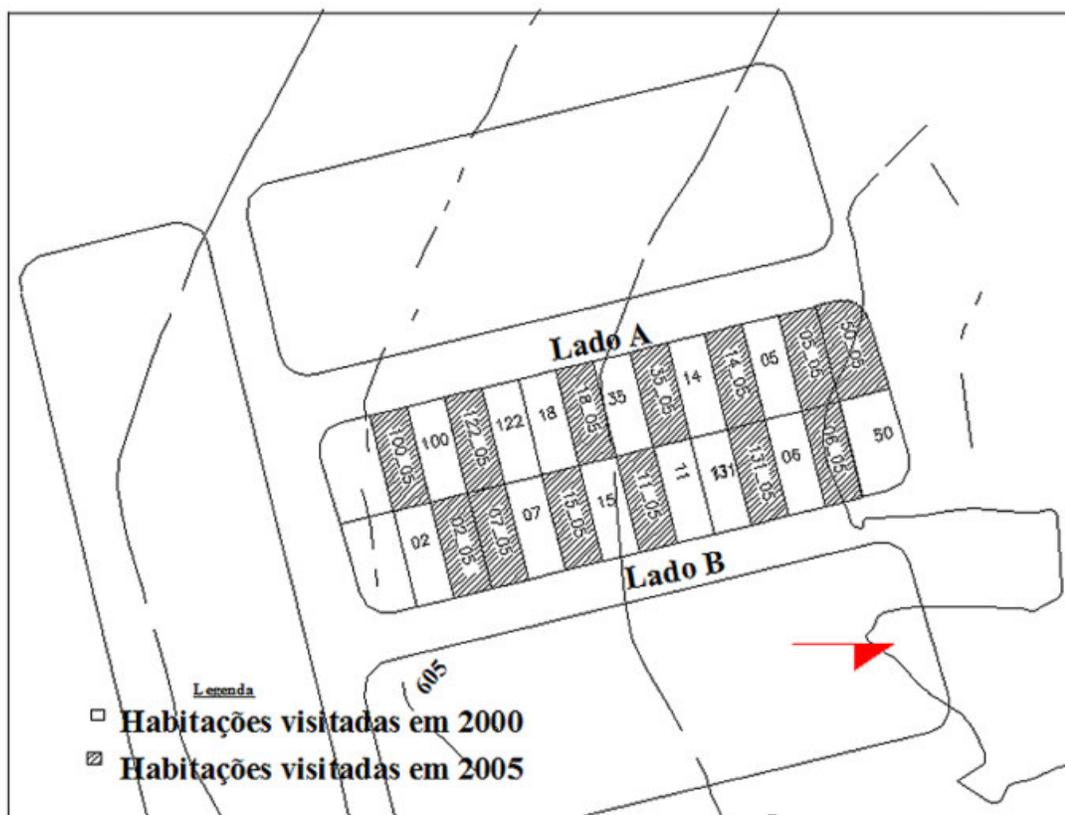
As visitas de campo, ocorridas no período de 2000 a 2005, documentam as alterações construtivas existentes. O quadro 3:20 mostra as habitações como também seu endereço, se sofreram ou não alteração e a orientação da quadra. A identificação das habitações manteve a numeração original utilizada em 2000.

Para analisar os efeitos que as modificações nas construções exerceram sobre a ventilação no entorno das mesmas, foram selecionadas aleatoriamente 13 casas encontradas, para a construção da quadra simulação. As edificações que sofreram alterações no quinquênio foram implantadas, na quadra padrão utilizada pela metodologia, uma ao lado da outra. A figuras 3-61

mostra a implantação geral, de todas as casas, no lote padrão. O perfil Leste-Oeste originário das quadras Norte-Sul, totaliza 26 unidades. A figura 3-62 mostra as habitações que foram utilizadas para a confecção da quadra tipo, e as respectivas fotos tiradas no ano de 2000 a 2005.

**Quadro 3-19: Identificação das Habitações utilizadas para a criação da Quadra simulação**

Identificação	Endereço	Alterações no período de 00/05	Identificação	Endereço	Alterações no período de 00/05	Identificação	Endereço	Alterações no período de 00/05
02	R16-95	Sim	18	R7-239	Sim	76	R10-84	Não
05	R16-159	Sim	30	R5-96	Sim	100	R18-12	Sim
06	R2-159	Sim	35	R2-133	Sim	106	R9-370	Não
07	R15-167	Sim	39	R10-270	Não	122	R11-715	Sim
09	R 14-33	Não	40	R10-485	Não	129	R11-729	Não
10	R14-169	Não	48	R10-485	Não	131	R7-125	Sim
11	R9-22	Sim	50	R2_89	sim	132	R21-174	Sim
14	R9-265	Sim	56	R3-185	Não	133	R7-343	Sim
15	R9-347	Sim	59	R10-04	Não	149	R16-154	Não



**Figura 3-61: Implantação das casa no lote padrão**

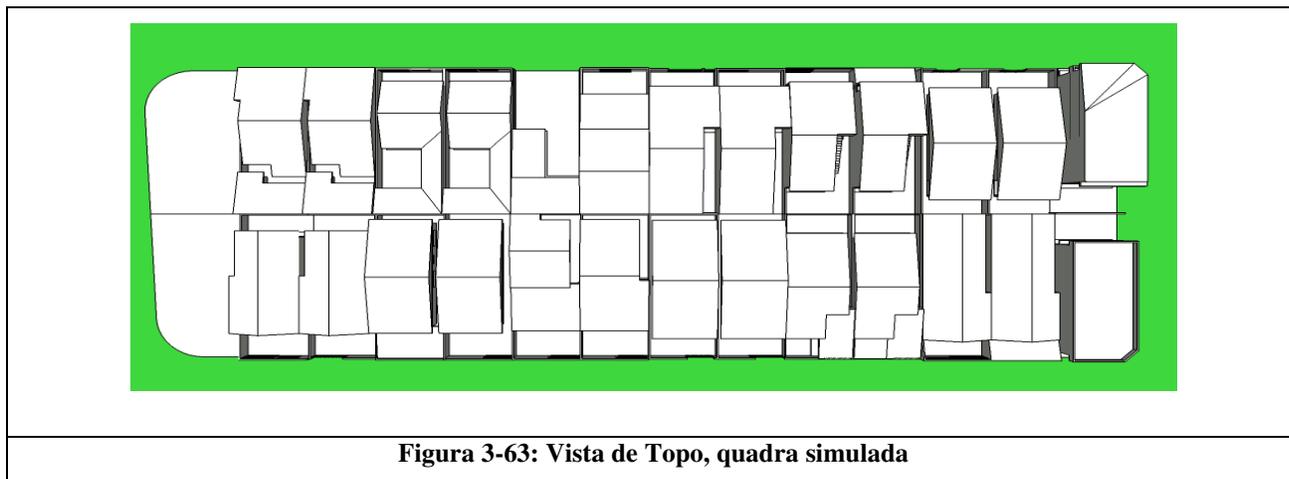


**Figura 3-62: Habitações fotografadas em 2000 e 2005**

A topografia do bairro São José, por estar próximo ao Ribeirão Anhumas possui uma declividade acentuada. Como previsto pelas normas de planejamento, dá-se preferência ao desenho das quadras perpendiculares às curvas topográficas, assim, as quadras mais extensas no bairro, definem-se pela longevidade na orientação Norte e Sul.

O software *CFD* não permitiu, pelo método utilizado, a simulação da declinação topográfica no elemento *plate*, utilizado para gerar o objeto de domínio inferior. O elemento *plate* utilizado ao sofre interferências de outros objetos que induziriam as alterações do relevo, apresenta saída de fluxos entre o objeto *plate* e o objeto criado.

Uma perspectiva eletrônica da quadra foi montada no software *Sketchup*, como mostram a figura 3-63. As plantas bidimensionais foram convertidas em objetos tridimensionais no *AutoCAD* e exportadas para o *PHOENICS* através de arquivo com extensão *.stl*<sup>21</sup>.



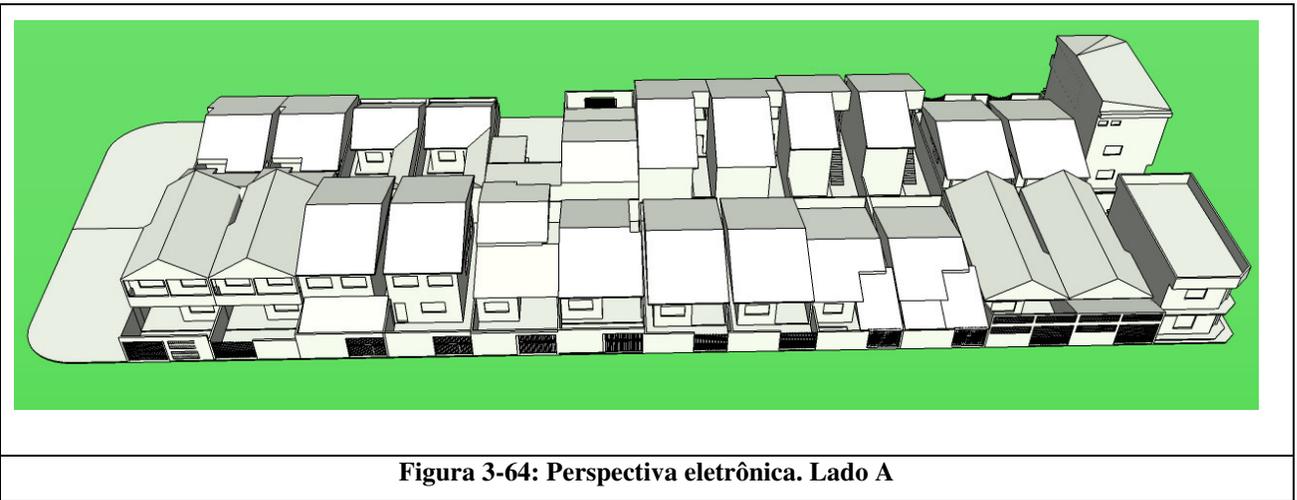
**Figura 3-63: Vista de Topo, quadra simulada**

Fonte: Autor

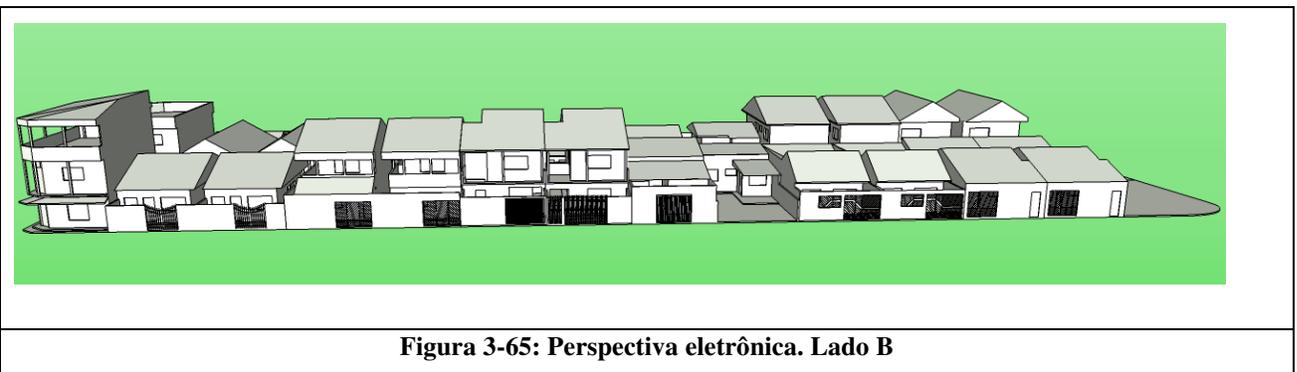
A figura 3-64 mostra uma perspectiva do lado A e a figura 3-65 uma perspectiva do lado B.

---

<sup>21</sup>O simulação tridimensional foi construído no software *Autocad* 2004. Para que o *PHOENICS*, possa ler o simulação, o mesmo deve ser exportado pelo comando *STLOUT*, extensão *.stl*.



Fonte: Autor



Fonte: Autor

A quadra padrão não utilizou, figuras 3-64 e 3-65, como elemento de fachada, portas e janelas abertas ou fechadas. As casas foram entendidas com blocos sólidos, sem circulação de ar interno. Isto foi necessário para gerar a malha computacional no entorno das construções. Se fosse gerada uma malha no interior das habitações seria necessária uma malha bem mais refinada. Isto limitou a pesquisa à ventilação externa.

### 3.4 Dados meteorológicos

Para a criação da carta dos ventos, são necessários os valores reais encontrados na área de estudo. Foi contatado o serviço da INFRAERO (Infra-estrutura Aeroportuária Brasileira), que

disponibilizou os dados do Aeroporto de Viracopos, referentes aos valores de velocidades e direção dos ventos, temperatura, umidade e nebulosidade, no período de 1/01/2002 a 31/12/2006 para servirem de base para a simulação. A área de estudo encontra-se em uma área próxima do aeroporto, o que valida o uso dos dados aeroportuários. Através destes dados da INFRAERO foi montada a carta de ventos.

A carta de ventos representa os padrões de direção e velocidade dos ventos para cada período do dia e cada mês em uma determinada localidade. Os dados foram tabulados no período de uma em uma hora, e para cada mês, nos 5(cinco) anos analisados. Foram delimitadas assim a velocidade e a orientação dos ventos predominantes além do percentual de horas que o vento sopra naquela direção. Para tal foram utilizadas o valor de velocidade e a direção do vento mais significativas nos dados e geral.

Para elaboração da carta dos ventos para Campinas os dados foram analisados e quantificados pelo software *WRPLOT*. Para a definição das entradas no software, foram supostas oito direções de vento (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) e para a escala de intensidade de velocidade do ar, foi utilizada a escala de Beaufort.<sup>22 23</sup>

### 3.5 Criação da simulação computacional - *PHOENICS*

Dentre os *CFDs* existentes optou-se pelo *PHOENICS*, que significa: *Parabolic*,

---

<sup>22</sup> A escala Beaufort, consiste de 12(doze) intensidades diferentes, que classificam a velocidade dos ventos em calmos a furacões. O software *WRPLOT* não permite mais que 9 (nove) classificações, desta maneira, foi utilizada a escala até o valor de 18m/s.

<sup>23</sup> Foi utilizado o padrão da Escala de Beaufort, conforme valores encontrados em MELARGANO, 1981.

*Hiperbolic and Elliptic Numerical Integration Code Series*. É um código geral para simular escoamentos monofásicos ou bifásicos, transferência de calor e massa, fenômenos envolvendo reações químicas e interações fluido e sólido.

O *PHOENICS* provê soluções para versões discretizadas de um conjunto de equações. A figura 3-66 prevê 17 modelos diferenciados de escoamentos onde uma significativa redução do esforço computacional é obtida se o escoamento puder ser modelado de forma mais simples. Entre tais simplificações cita-se: Laminar/ Turbulento; Incompressível/ Compressível; Euler (s/ viscosidade)/ Navier Stokes (viscoso); Potencial (irrotacional)/ Euler (rotacional); Stokes ( $Re \rightarrow 0$ )/ Camada Limite ( $Re \rightarrow \infty$ ) (viscoso e inércia dominantes)

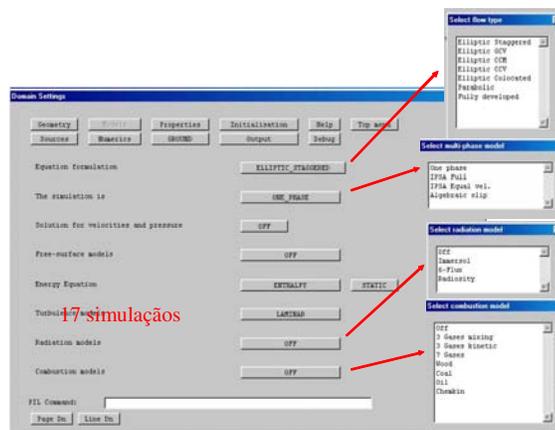


Figura 3-66: Simulações implementados pelo *PHOENICS*

O método dos volumes finitos foi amplamente utilizado durante os últimos anos para a solução de problemas de fluidodinâmica computacional. O *PHOENICS* utiliza o simulação matemático baseado nestes metodos .

A janela “*numerics*” do *PHOENICS* permite a seleção de diversos parâmetros do

processo interativo de solução. As entradas principais neste painel permitem o número total das interações sobre o domínio, e o critério global da convergência a ser ajustado. A figura 3-67 mostra o caixa de diálogo das interações no simulação (LUDWIG, 2004). O esquema de discretização híbrido é recomendado por GANZAROLLI E ROSA, 2005.

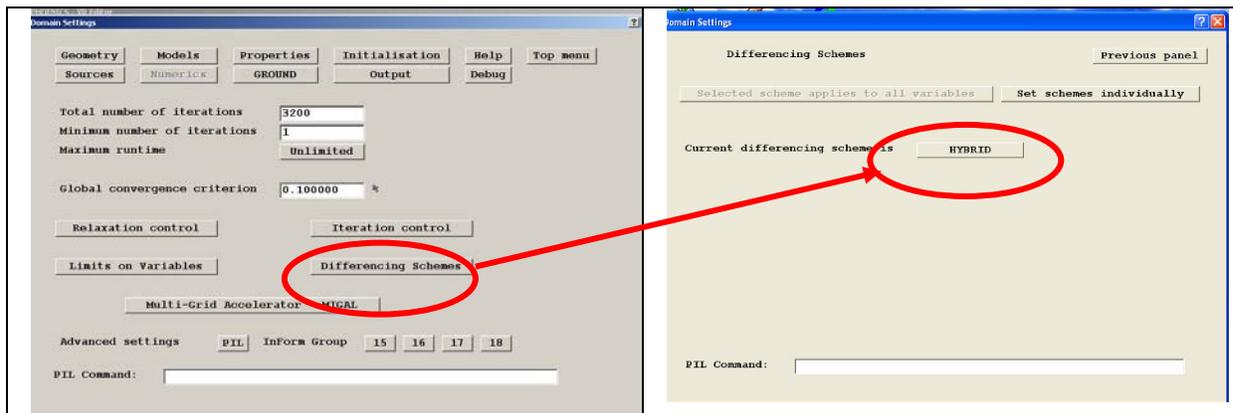


Figura 3-67: Caixa de diálogo controle da solução- discretização híbrida

O *PHOENICS* possui três tipos de controle de solução (*solver*) para sistemas de equações lineares que trabalham com métodos iterativos: (1) varredura (resolve fatia por fatia do domínio de  $IZ^{24} = 1$  até  $IZ = last$ –(opção padrão); (2) *whole field* (monta um único sistema de equações com todas as fatias de  $IZ = 1$  a  $IZ last$ ; e (3) ponto a ponto (visita ponto a ponto do domínio).

Como a maioria das simulações é não-linear, o controle *whole field* não é recomendado, pois exige mais recursos computacionais e necessita atualização a cada interação; o ponto a ponto por sua vez transmite os efeitos dos contornos e dos termos de transporte muito lentamente aos pontos vizinhos e, apesar de ser simples, também não é computacionalmente conveniente. GANZAROLLI e ROSA (2005), recomendam o uso do método das varreduras. Para simulação

<sup>24</sup>  $IZ$ = direção Z do dominio.

3D, como a varredura ocorre somente na direção Z, é importante que a direção principal do escoamento coincida com o eixo Z.

A simulação computacional pode ser dividida em sub itens como: definição do simulação de escoamento, definição da malha a ser utilizada, condições de contorno, criação do simulação, valor de convergência e tempo de simulação existente. Para isto foi criado uma simulação simplificada com um modelo de turbência, que dará origem às duas partes da simulação futura.

### 3.5.1 Modelo de Turbulência

Buscando aprimorar o simulação  $k\epsilon$  padrão, Chen e Kim, 1987, propõem uma modificação na resposta dinâmica do mesmo. A publicação de *Lam-Bremhorst*, 1981, propõe uma variação do simulação padrão, introduzindo correções para resolver escoamentos com baixos números de Reynolds; o problema da simulação encontra-se nas arestas das superfícies onde há um aumento considerável da velocidade. Este simulação é denominado *KEMOLD* no *PHOENICS*.

Também em 1987, Chen e Kim propõem uma alteração para o simulação proposto de *Lam-Bremhorst*, englobando-o ao simulação com altos números de *Reynolds*. A alteração proposta é inserida e ajustada para outras variáveis e a utilização é fornecida como opção pelo *PHOENICS* o simulação *KECHEN*.

De uma maneira geral o simulação  $k-\epsilon$  padrão trabalha com constantes que foram alteradas nos simulações *KEMOLD* e *KECHEN* implementados no *PHOENICS*. O quadro 3-21 mostra os valores diferenciais.

**Quadro 3-20: Valores das variáveis nos modelos**

Simulação	Valores constantes						
	$Pr_t$	$C_u$	$Pr_k$	$Pr_\epsilon$	$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	$C_{\epsilon 3}$
Simulação k-ε padrão	0,9	0,09	1,0	1,3	1,44	1,92	
<i>KEMOLD</i> (simulação <i>kε</i> Lam – bremhorst)		0,09	0.75	1.15	1,44	1,92	
<i>KECHEN</i> (simulação <i>kε</i> Che-Kim)		0,09	0.75	1.15	1.15	1,9	0.25 <sup>25</sup>

Onde:

$$Pr_t = \text{número de Prandtl} \left( \sigma = \frac{c_p \mu V}{\lambda} \right)$$

$Pr_k$  = número de *Prandtl* para energia cinética,

$Pr_\epsilon$  = número de *Prandtl* taxa de dissipação de energia cinética turbulenta,  $m^2/s^3$ .

$C_u C_{\epsilon 1} C_{\epsilon 2}$  = constantes do simulação *kε* padrão

$C_{\epsilon 3}$  = valor extra da equação padrão,

Foi criado uma simulação simplificada, onde foram testadas as condições de domínio e o número de interações para atingir a convergência; para a simulação de escoamento são testados dois modelos de turbulência: o modelo *kε* padrão e o *k-ε* CHEN. A simulação foi criada a partir do CASE 607 do tutorial do *PHOENICS*. Em todas as fronteiras do domínio devem ser especificadas condições de contorno que correspondam aos efeitos físicos presentes nestes locais.

Os quadros 3-22 e 3-23 demonstram um resumo dos elementos utilizados por duas pesquisas diferentes para a utilização de simulação computacional. A simulação proposta pelo tutorial do *PHOENICS* (CASE 607) (quadro 3-22), apresenta duas entradas de ar e três de saída sendo uma na parte superior do domínio. O elemento piso é utilizado com uma rugosidade de 0,03 m.

<sup>25</sup> Um valor extra KE/PK(razão entre a energia cinética (*k*) e a dissipação de energia (*ε*)) é incluído na equação da produção de dissipação (EP no *Phoenics*) através da adição da fonte por unidade de volume:  $S, EP = \frac{(\rho \gamma_1 C_e \epsilon P_k)^2}{k}$  Onde  $P_k$  = razão da produção volumétrica de *k*;  $\gamma$  = É a função de Lam-Bremhorst tende a unificar a turbulência do número de Reynolds para altos padrões.

Quadro 3-21: Simulação Computacional – Tutorial *PHOENICS*

<b>Geometry</b>	<b>Domínio</b>		X = 200	Y=120	Z =80	
	<b>AUTO</b>	Para cada direção utiliza-se	'X direction'	'Y direction'	'Z direction'	
			REG	REG	REG	
			(distribuídas entre as regiões)	(distribuídas entre as regiões)	(distribuídas entre as regiões)	
			50	20	20	
<b>Models</b>	<b>Turbulence Models</b>		KECHEN			
<b>Properties</b>	Ar	K = 273	Pressão de referencia=10.000			
<b>Initialisation</b>	P1	V1	U1	Z1	Ke	Ep
Valores iniciais	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup>		3,32	0.0606
<b>Numerics</b>	Total number interactions	200				
<b>Objetos de Domínio</b>						
	<b>Primeira entrada de ar</b>	<b>Segunda entrada de Ar</b>	<b>Primeira Saída de Ar</b>	<b>Segunda Saída de Ar</b>	<b>Terceira Saída de Ar</b>	<b>Piso</b>
Nome	INLET.	INLET.	OUTLET 2	OUTLET 3	SKY	PLATE
Posição						
X	Pos=0	Pos=0	Pos=200	Pos= 0	Pos=0	Pos=0
Y	Pos=120	Pos=120,	Pos=0	Pos=120	Pos=0	Pos=0
Z	Pos=80,	Pos=80,	Pos=0	Pos=0	Pos=80	Pos=0
Tamanho						
X	Size=0	Size= 200	Size=0	Size=200	Size=200	Size=200
Y	Size=120	Size=0	Size=120	Size=0	Size= 120	Size=120
Z	Size=80	Size=80	Size= 80	Size=80	Size=0	Size= 0
Tipo	WIND_PROFILE	WIND_PROFILE	OUTLET.	OUTLET.	OUTLET.	PLATE
Atributos			X	X		
Reference height=	10m	10m	X	X		Rugosidade= 0,03m
Rugosidade=	0,03m	0,03m				
Velocity in X-direction at the reference height to=	10 m/s.	10 m/s.	X	X		
Profile type=	Logarithmic	Logarithmic				Wall function law=Fully rough
Vertical direction=	Z	Z				

Fonte: C:\PHOENICS\d\_polis\d\_wkshp\building.htm

A simulação proposta por Wang et. al. (2007), apresentada no quadro 3-23, não utiliza o objeto *Wind profile*, porém cria varias entradas de ar com diferentes valores de velocidade do ar, de acordo com a altura da mesma em relação ao simulação. Wang et. al. (2007) utiliza três modelos de turbulência diferenciados.

**Quadro 2-22: Simulação Computacional WANG et. Al.- Universidade HERIOT\_WATT**

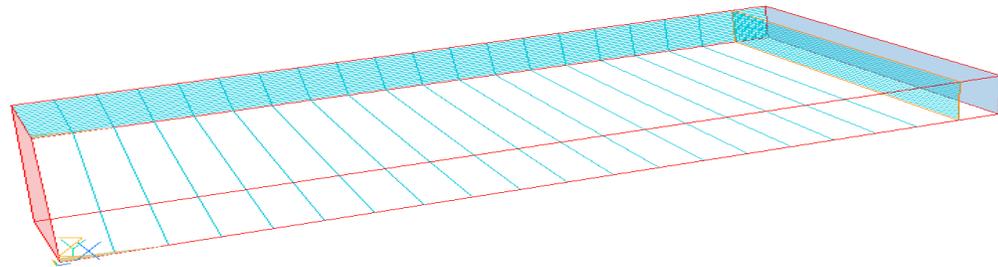
<b>Geometry</b>	<b>Domino</b>		X = 500	Y=500	Z =60	
	<b>Manual</b>		'X direction'	'Y direction'	'Z direction'	
		Número de células		60	61	22
		Para cada direção utiliza-se		REG	REG	REG
				1 <sup>o</sup> região:1,5	1 <sup>o</sup> região:1,5	1 <sup>o</sup> região: 1,0
			Demais regiões: 1	Demais regiões: 1	Demais regiões: 1	
<b>Models</b>	<b>Turbulence Models</b>	KE KEMOLD_2L KE-RNG model				
<b>Properties</b>	Use property table	OFF				
<b>Initialisation</b>	Valores iniciais 1 <sup>-10</sup>					
<b>Numerics</b>	Total number interactions	1500, sem convergência				
<b>Objetos de Domínio</b>				<b>Objetos a serem simulados</b>		
2 domínio <i>inlet</i> – cada fronteira possui varias entradas ( total 53)(velocidades atribuídas em X e Y)						
2 domínio <i>outlets</i>						

Fonte :[http://www.sbe.hw.ac.uk/research/buildingeng/wind\\_modelling/gui\\_bound.htm](http://www.sbe.hw.ac.uk/research/buildingeng/wind_modelling/gui_bound.htm)

### 3.5.2 Condições de Contorno

O simulação padrão segue o estudo de Wang et. al.( 2007), definido por um domínio de cálculo igual a um paralelepípedo de 800m, 400m e 70 metros nas direções de x, y, z, respectivamente, (figura 3-68) sendo utilizadas 19701 células em coordenadas cartesianas. As condições de contorno são aplicadas nas seis faces do domínio de cálculo. Uma face de entrada, com velocidade  $V=1\text{m/s}$ ; a velocidade é definida aleatoriamente pois o que interessava era as alterações de fluxo pela utilização de objetos de contorno diferenciados. Uma de saída; duas laterais, que não afetam o fluxo; e ainda as faces superior e inferior. A face inferior é sólida com rugosidade semelhante à área a ser estudada. Na face superior foram consideradas três condições:

uma condição parecida com a área de saída (elemento céu), um elemento nulo<sup>26</sup>, e outro sem nenhum elemento.



**Figura 3-68: Domínio padrão, simulação parte 1**

Fonte: *PHOENICS*

Para o domínio do simulação foi utilizado ar, sem levar em consideração trocas de calor, e para as edificações foi utilizado o concreto, como mostra o quadro 4-24

**Quadro 4-23: Propriedades dos materiais**

material	Massa específica ( $\rho$ )	Viscosidade cinemática ( $\nu$ )
	Kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /s
Concreto	1.400,00	0.2
Ar	1,189	1,544 10 <sup>-5</sup>

Fonte: *PHOENICS*

O tamanho do domínio, segue a proporção utilizada por Wang et. al.,(2007) para situações em climas urbano, onde a distância entre o objeto de estudo e as faces do domínio precisam estabelecer uma proporção entre a distância e a altura do objeto. Wang et, al. (2007) propõe que o objeto de estudo localize-se a uma distância das áreas de entrada entre 8 a 10 vezes o tamanho da altura do objeto, das áreas de saída não menos que oito vezes sua altura e que a altura do domínio tenha preferencialmente 6 vezes a altura do objeto. A figura 4-69 mostra os

---

<sup>26</sup> Denota um objeto introduzido unicamente com a finalidade do controle de grade; Não tem nenhum efeito no cálculo.

valores utilizados para a criação da simulação padrão.

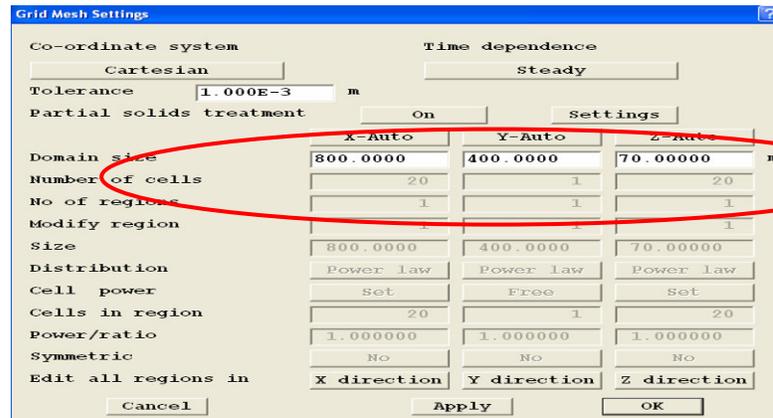


Figura 4-69: Características do Domínio

Das condições de contorno, foram realizadas seis: duas de entrada, duas de saída e duas de superfície. As condições de contorno laterais são modeladas pelas funções entrada e saída de ar. O tutorial do *PHOENICS* prevê ainda uma saída de ar na parte superior, denominada *SKY*, e o uso do objeto *PLATE*, na parte inferior.

### 3.5.3 Valores iniciais para a configuração da simulação

Para os valores iniciais utilizaram-se os valores de referência do tutorial do software. Onde  $U1 = 1,0 \cdot 10^{-10}$ ,  $V1 = 1,0 \cdot 10^{-10}$ ,  $k\varepsilon = 1,0 \cdot 10^{-10}$ ,  $Ep = 1,0 \cdot 10^{-10}$  ( $U1$ ,  $V1$  e  $W1$  são as velocidades nas direções  $x$ ,  $y$  e  $z$  respectivamente,  $k\varepsilon$  corresponde a  $k$ , energia cinética turbulenta e  $Ep$  a dissipação de  $k$ ). Os testes com alterações deste valor não apresentaram contribuições significativas. Para o cálculo matemático foi utilizado o simulação das varreduras, com esquema híbrido.

### 3.5.4 Critérios de Convergência

A convergência é a situação na qual a solução final do processo iterativo foi alcançada. Como o número de interações para se chegar à solução final é muito grande, normalmente se aceita paralisar as interações quando algum critério de convergência for atendido.

Esse critério de convergência deve ser bem estudado para que a margem de erro contida na solução seja aceitável. Para os critérios de convergência foi adotada duas propostas: a utilizada por Ferziger e Peric(2002) e o monitoramento de um ponto específico do domínio da simulação feita pela tela do *EARTH*.

A proposta por Ferziger e Peric(2002) onde o valor do resíduo encontrado na primeira interação pode ser tomado como referência para avaliar se o processo iterativo convergiu. Segundo Ferziger e Peric o valor do resíduo encontrado na primeira interação pode ser tomado como referência para avaliar se o processo iterativo convergiu . A redução do resíduo de 3 a 5 ordens de grandeza( o que corresponde a um fator de redução do resíduo de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ ), pode ser utilizado como critério para que haja a convergência

No arquivo *RESULT*, gravado pelo *PHOENICS* no final de cada conjunto de interações, encontra-se no grupo 15, os valores do resíduo de referência (*RESFAC*), os resíduos encontrados pelo software(*RESREF*) e o que sobra do resíduo (*RESSUM*) para as variáveis de velocidade, energia cinética turbulenta, *k*, e dissipação de *k*. Para convergência foi entendido que quando o resíduo da interação X fosse mil vezes menor do que o resíduo da primeira interação (redução de 3 ordens de magnitude) entender-se-ia como satisfatória a convergência.

O método de controle do software realizado em um ponto qualquer do domínio, define um ponto foi colocado numa altura  $z=1$  metro e na penúltima célula referentes as coordenadas *ix* e *iy*. Para monitorar a convergência do processo iterativo, o *PHOENICS* permite também que seja escolhido um ponto de monitoração denominado *probe*. As variáveis de interesse neste ponto são representadas em um gráfico como mostrado na figura 3-71, durante o processo iterativo. A figura mostra uma tela de processamento para a interação (*ISWEEP*) de número 191, com tempo previsto de simulação (*Time est*) de 39 s e tempo já processado (*time now*) de 37s.



Figura 3-70: Exemplo de Tela de Processamento

Fonte: PHOENICS

Há dois conjuntos de gráficos. O conjunto da esquerda mostra a evolução das variáveis em um determinado ponto do espaço (*probe*). A figura 3-71 apresenta em detalhes o gráfico e os valores que aparecem no lado esquerdo da tela do *EARTH*, que é o módulo do *PHOENICS* que executa o processo interativo.

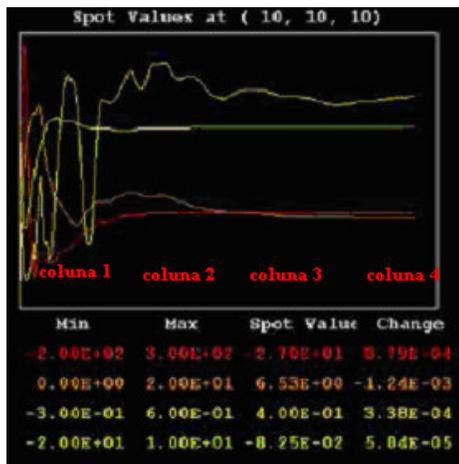


Figura 3-71: Gráfico da Esquerda do EARTH

Fonte: PHOENICS

Onde:

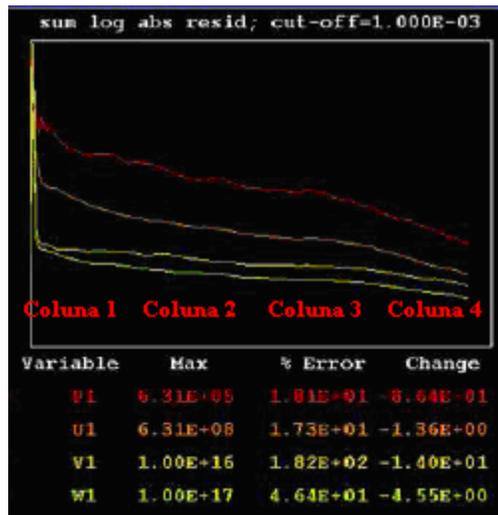
Coluna 1= Valor mínimo encontrado na posição do *probe* desde a 1ª interação até a atual.

Coluna 2= Valor máximo encontrado na posição do *probe* desde a 1ª interação até a atual.

Coluna 3= Valor da variável na posição do *probe* na presente interação

Coluna 4= Diferença do valor da variável entre a interação presente e a anterior.

A figura 3-72 apresenta em detalhes o gráfico e os valores que aparecem no lado direito da tela do *EARTH*. Esta figura mostra como evolui o resíduo da solução numérica. Assim, quanto menor o valor do resíduo, mais próximo da convergência o processo iterativo se encontra.



Onde:

Coluna 1= Variável medida.

Coluna 2= Valor máximo encontrado da variável medida.

Coluna 3 = O total dos resíduos de todos os elementos de volume.

Coluna 4 = Diferença do valor da variável entre a interação presente e a anterior

**Figura 3-72: Gráfico da Direita do EARTH.**

Fonte: *PHOENICS*

## 4 Análise dos Resultados

A partir da definição da simulação padrão, o objeto de estudo foi dividido em duas etapas: Parte 1: aplicação da simulação padrão em escala urbana simplificada e Parte 2: aplicação da simulação padrão na área de estudo.

### 4.3 Definição da Simulação Padrão

As figuras 4-73 e 4-74 mostram os gráficos da a variação da velocidade com a altura  $z$ , em função do número de interações realizadas. O ponto monitorado está localizado nas coordenadas ( $X=740$ ), ( $Y=00$ ), ( $Z=1,75$ ) que corresponde à penúltima célula na direção da coordenada  $X$  e a primeira célula na direção da coordenada  $Z$ , sendo sua posição dada pela 19ª célula na direção do eixo  $X$ , 1ª célula na direção do eixo  $Y$ ; e 1ª célula na direção do eixo  $Z$ .

O simulação  $k\epsilon$ -*Chen*, (figura 4-74). a partir de 10.000 interações não apresenta grandes variações na velocidade, enquanto o simulação padrão continua a sofrer alterações (figura 4-73). As condições de convergência também são alcançadas pelo simulação  $k\epsilon$  -*Chen*, com aproximadamente 10.000 interações. Observou-se que o simulação  $k\epsilon$  -*Chen* estabiliza as velocidades bem antes do simulação  $k\epsilon$  -*padrão*.

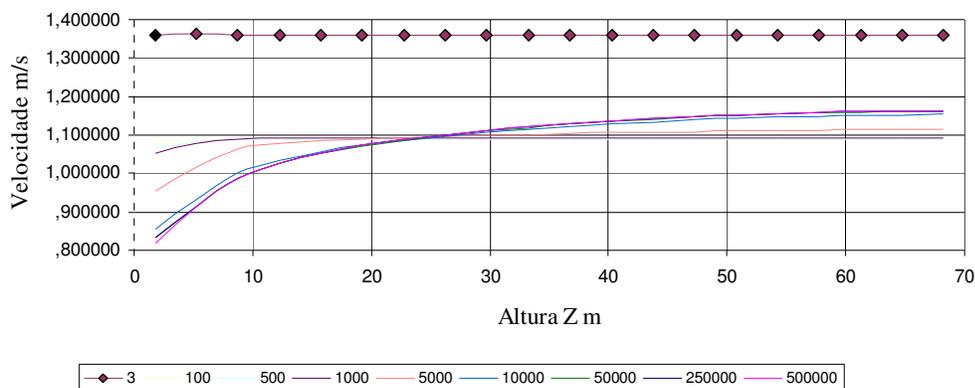
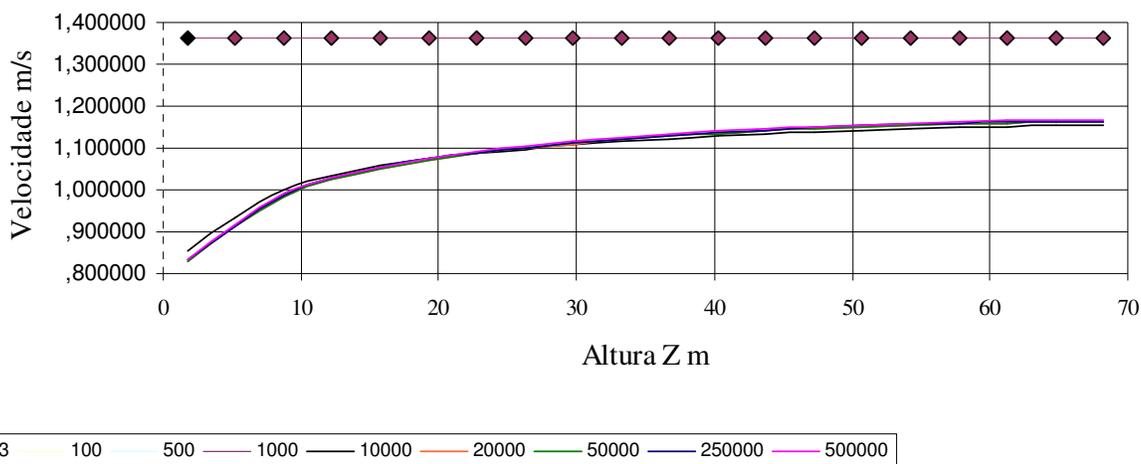


Figura 4-73: Gráfico simulação  $k\epsilon$ -padrão



**Figura 4-74: Gráfico simulação  $k\varepsilon$ -Chen**

O método numérico utilizado no programa *PHOENICS* realiza um de certo número de interações para a obtenção do resultado final, A cada interação a solução (campos de velocidade/ e pressão) aproxima-se da solução final. Esse número de interações varia principalmente com a formulação da simulação, principalmente do número de células utilizada e da eficiência do método numérico utilizado. Nas simulações deste item, a convergência do processo iterativo pode ser verificada, observando as variações do perfil de velocidades com o número de interações.

Avaliando as condições do simulação e o tempo necessário para a convergência, aliado ao computador disponível para a realização do trabalho, um dos principais parâmetros levados em consideração, foi a rapidez com que o simulação matemático atingia um padrão de velocidade constante em relação ao eixo Z. Como o simulação *k\varepsilon*-chen convergiu mais rapidamente optou-se por esse modelo de escoamento de turbulência.

Verifica-se que no método proposto pelo tutorial do *PHOENICS* as velocidades não se mantêm constantes e que a presença de regiões turbilhonares cilíndricas ao longo do eixo z, ocasionam velocidades pontuais acima da média do simulação com um todo.

Foram testadas três tipos de variações na condição de contorno aplicada à parte superior

do domínio: A) Com a utilização da condição de contorno tipo *céu*, proposto pela *CHAM*; B) Com a utilização da condição de contorno tipo *nulo*, que não afeta as condições do simulações e C) Sem nenhuma barreira na parte superior;

Foram consideradas como referência as três primeiras interações de cada simulação utilizadoe foram realizadas, para comparação, mais duas simulações para cada condição A, B e C, uma com 20.000 interações e outra com 50.000 interações. Não foram encontradas diferenças entre os resultados obtidos com o uso dos elementos B e C; porém foram encontradas diferenças entre os resultados obtidos com os elementos C e A. Em relação ao número de interações para a convergência, não houve muita diferença, mas ao verificarem-se os padrões de velocidade elas aparecem.

A condição A com 50.000 interações demonstra que o fluxo atingiu estabilidade no sentido longitudinal. Desta maneira optou-se pelo elemento C, que não apresenta nenhum tipo de resistência ao fluxo proveniente da área de entrada de ar, e atinge estabilidade no fluxo com 20.000 interações.

O uso do simulação com o objeto *céu* (condição A), atribui ao domínio superior, a função de saída de ar, desta maneira a direção da velocidade, ocorre em certas regiões no sentido vertical. A figura 4-75, mostra a as linhas de corrente, referentes ao plano XZ, para as três primeiras interações para a condição A e a figura 4-76 mostra as mesmas linhas de corrente para 20.000 interações para a mesma condição.

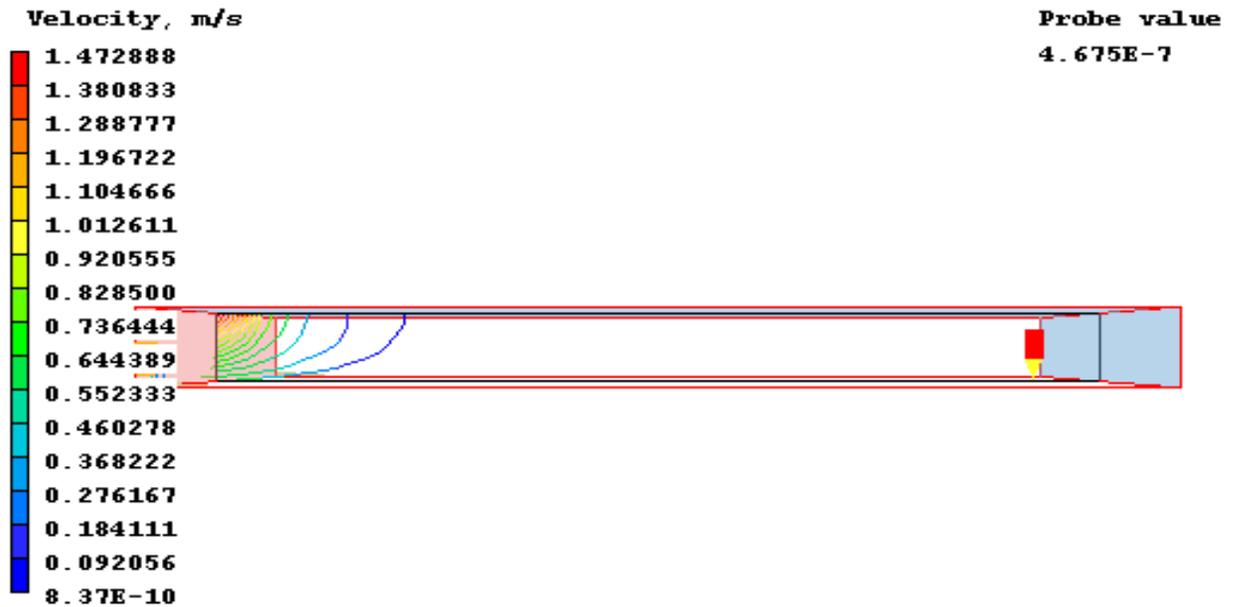


Figura 4-75: Linhas de corrente, para 3 interações, com uso de elemento Céu

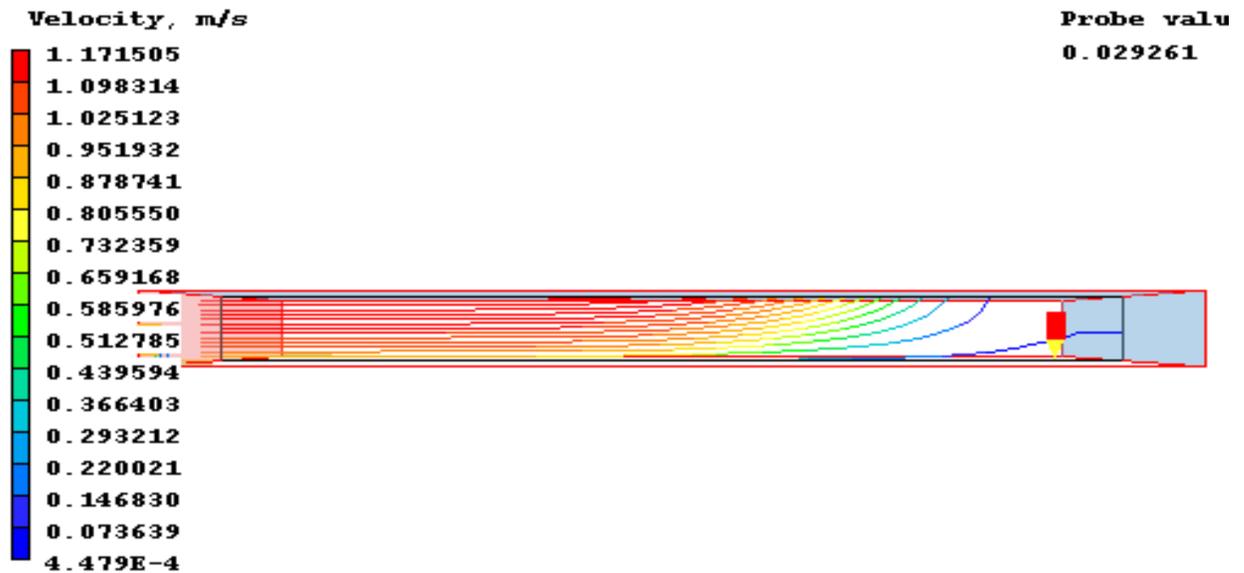


Figura 4-76: Linhas de corrente, para 20.000 interações, com uso de elemento Céu

A figura 4-77 mostra a as linhas de corrente, coordenadas ( $x=0$ ,  $0 < y < 200$  e  $0 < z < 70$ ), para 20.000 interações para a condição C.

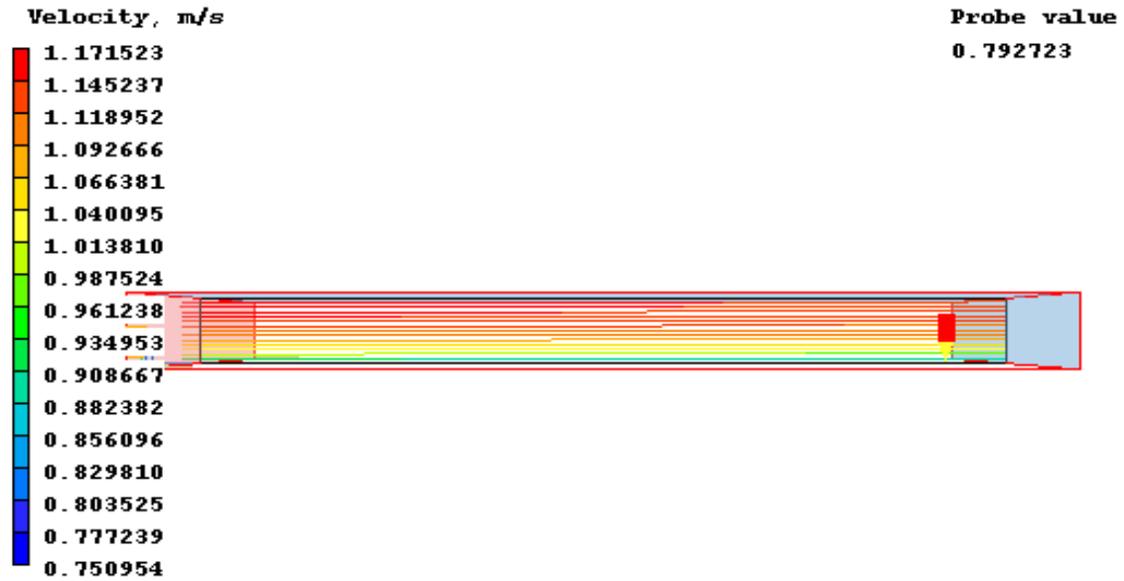


Figura 4-77: Linhas de corrente, para 20.000 iterações, com uso de elemento B

Os gráficos das figuras 4-78 e 4-79

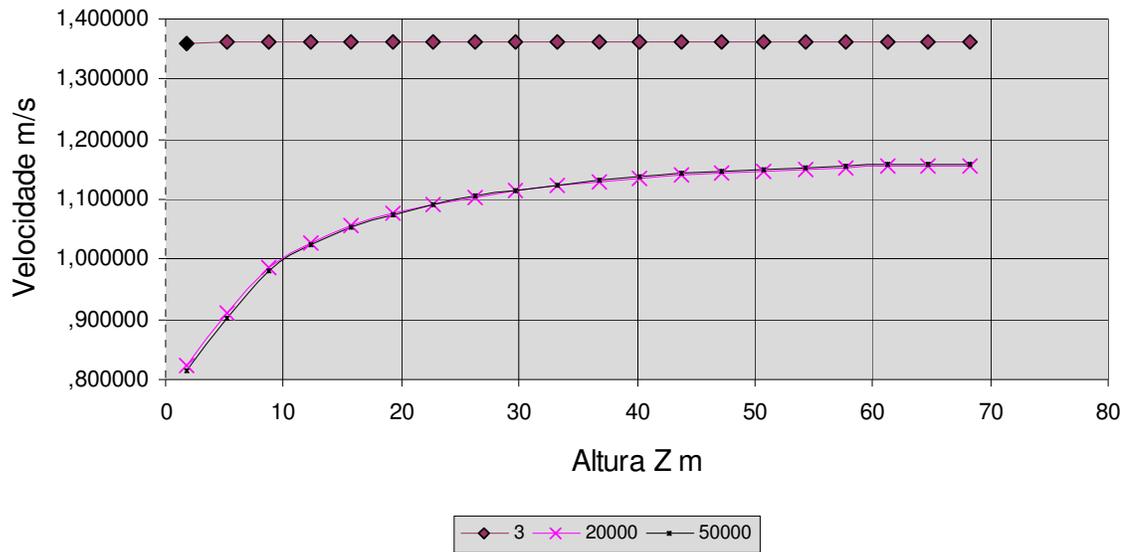


Figura 4-78: Velocidade x altura, elemento C.

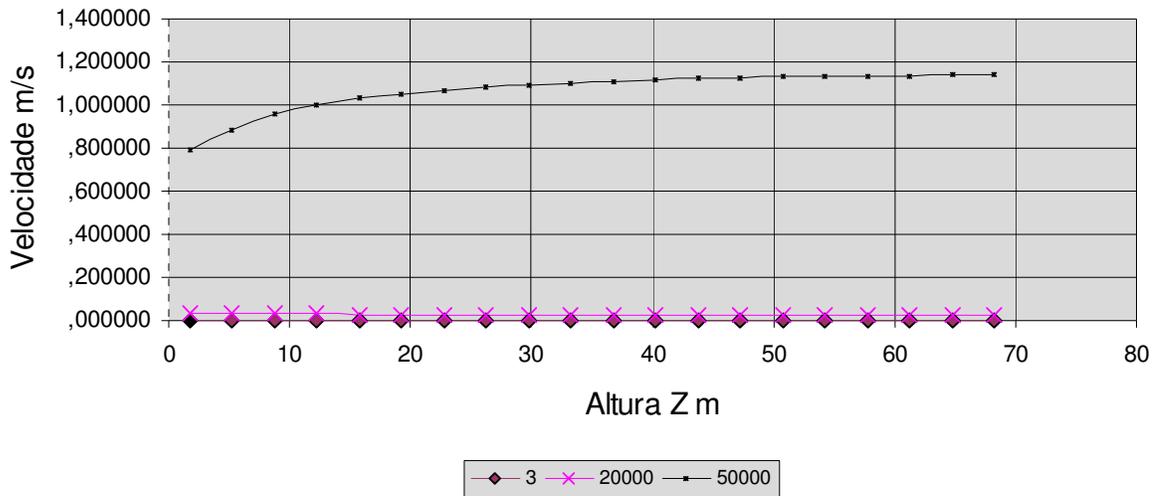


Figura 4-79: Velocidade x altura, elemento A.

A condição A, que demonstra a utilização de uma área de saída de ar na parte superior do domínio, gera o aumento do fluxo vertical, nas primeiras interações, podendo gerar zonas de turbilhamento, próximas ao solo, o que não condiz com as características esperadas no estudo da Camada Limite, pois está sendo utilizado o objeto de domínio *windprofile* conforme será mostrado posteriormente. No elemento C, que não prevê nenhum objeto capaz de alterar o fluxo, os padrões de velocidade são mais condizentes com as alterações da camada limite.

Analisando-se a simulação proposta pelo CASE 607, do tutorial, atribui-se essas variações ao elemento *sky* designado pelo *PHOENICS*. A retirada da condição de contorno superior, bem como o aumento da altura na direção Z, auxiliaram na obtenção de perfis de velocidades estabilizados mais rapidamente na simulação utilizada.

#### 4.4 Simulação Parte 1

A simulação parte 1 utiliza a representação simplificada da malha urbana do loteamento São José. As condições de domínio utilizam: dois objetos *Wind profile* para a entrada de ar, dois objetos de saída de ar, um objeto *plate* no piso e um objeto superior. O modelo de turbulência utilizado foi o *Ke-Chen*. O fluido foi o ar e para a representação das quadras foram utilizados

elementos sólidos de concreto.

Foram consideradas sete e as distâncias das quadras nos moldes do bairro São José. Os números 1 a 6, na figura 4-80, representam o entorno próximo; estas quadras possuem 36 metros<sup>27</sup> de largura, 105 metros de comprimento e 7 metros de altura. A distância entre as quadras é de 8 metros, conforme observado no bairro (figura 4-80).

O domínio de cálculo foi criado de forma que as quadras ficassem a uma distância das fronteiras de 10 vezes a altura das mesmas  $(7 \text{ m})^{28}$ , do plano superior do domínio. O efeito de contorno foi verificado nas extremidades oposta a direção da velocidade de entrada, neste caso optou-se pelo uso da rugosidade no bloco das quadras amenizando o efeito de parede, foi usada uma rugosidade de 0,01



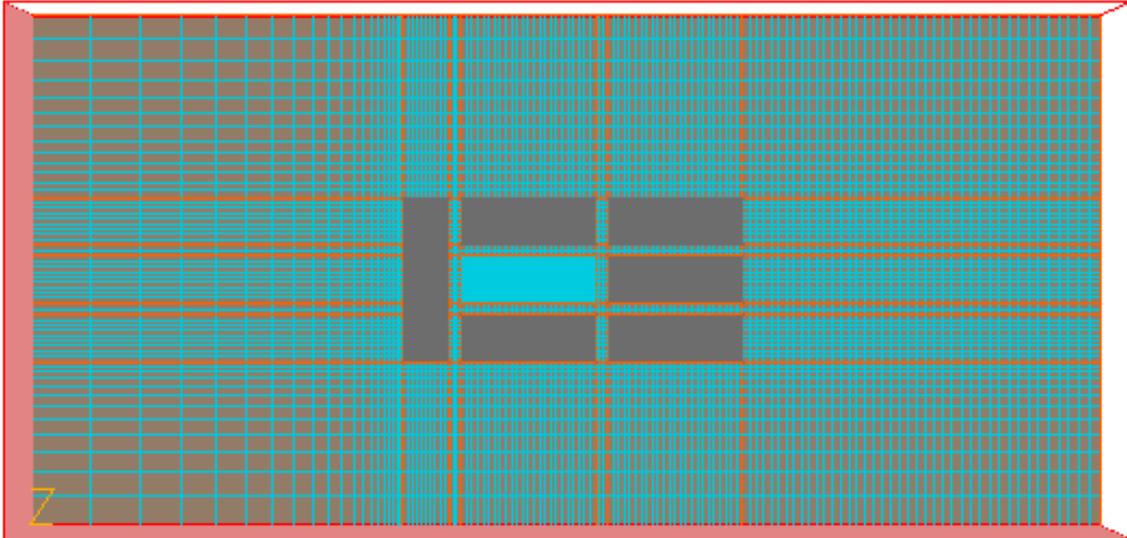
Figura 4-80: Configuração do domínio, simulação simplificada

A criação da malha é feita depois que todos os elementos são inseridos no domínio. O tamanho de cada célula influencia a precisão do resultado, bem como a rapidez do cálculo. Estima-se que o volume de cada célula deva ficar próximo da figura geométrica de um cubo, sem

<sup>27</sup> O sistema de unidade encontrado no *PHOENICS* utiliza o metro como unidade, bem como a velocidade em m/s. A pressão é em PA e a temperatura em Kelvin

<sup>28</sup> Os sete metros correspondem a altura média das habitações do loteamento Jardim São José.

muita distorção. Outro ponto levado em consideração é que os volumes das células vizinhas não devem ser muito diferentes. A figura 4-81 mostra uma vista superior do simulação simplificado.



**Figura 4-81: Malha Criada para simulação parte1**

O domínio geométrico foi estipulado conforme valores anteriores; assim, para um volume de  $0,125\text{m}^3$  por célula, são necessárias  $37184 \cdot 10^3$  células, o que tornaria impraticável a resolução matemática. Este número de células foi calculado em cima de malhas automáticas e uniformes, as quais apresentam menor erro nos resultados.

A ferramenta *FINE GRIDE* pode ser utilizada para refinar o tamanho e o número de células perto da área mais importante de cálculo, e a malha também pode ser ajustada manualmente; neste caso a margem de erros aumenta, porém a simulação pode ser executada. No caso da ferramenta *FINE GRIDE*, o trabalho realizado por TRINDADE (2006) demonstra dificuldades em seu uso optando por simulações separadas para o ambiente externo e interno.

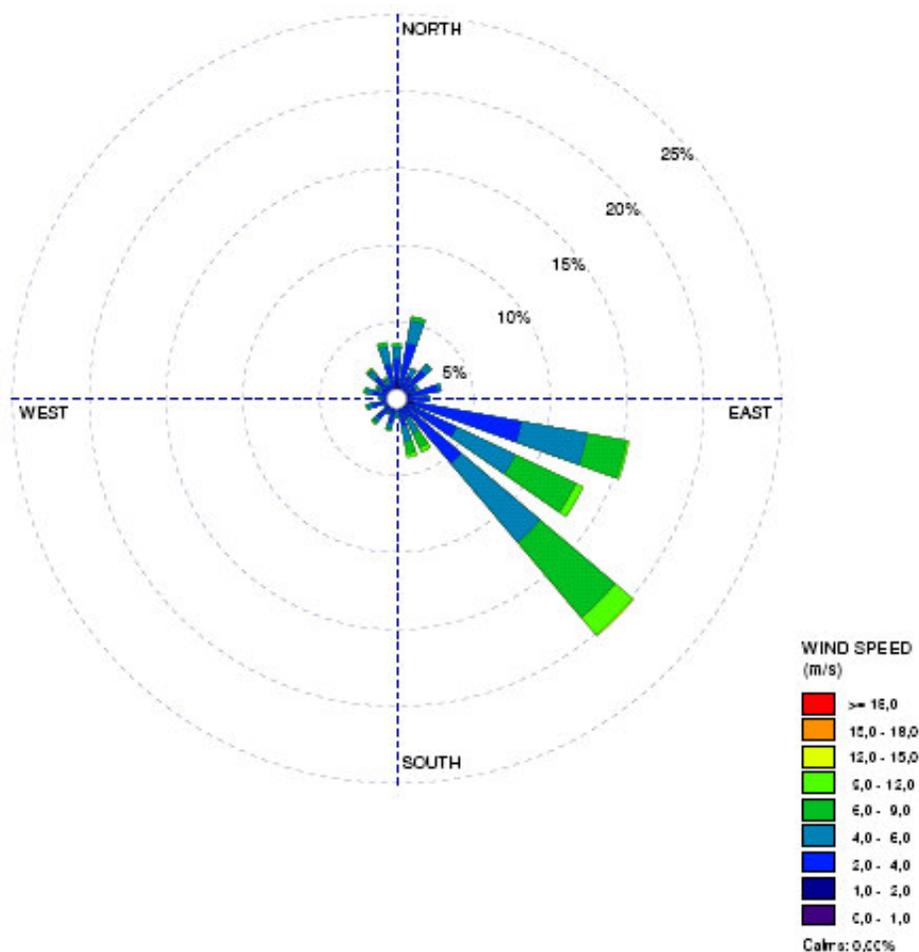
O melhor resultado foi o encontrado em malhas cartesianas com progressão geométrica, com  $7 \cdot 10^5$  células<sup>29</sup>, sendo as mesmas divididas nas três unidades cartesianas, onde se considera

---

<sup>29</sup> Outros valores foram testados, porém este foi o maior número de células conseguido para este simulação computacional.

125 no o eixo X, 56 células no eixo Y e 100 células no eixo Z.

Para a utilização do valores de velocidade e direção do vento nos objetos *wind profile* foi criada a rosa dos ventos, para Campinas/SP, foi criada através dos dados coletados no Aeroporto de Viracopos, no período de 2002 a 2006. Os registros foram organizados pelo software WRPLOT. A figura 4-82 mostra as velocidades e direções para Campinas/SP, de uma maneira geral.



**Figura 4:82: Rosa dos ventos para Campinas, sem diferenciação de horários e dias de medição para o período de 2002 a 2006.**

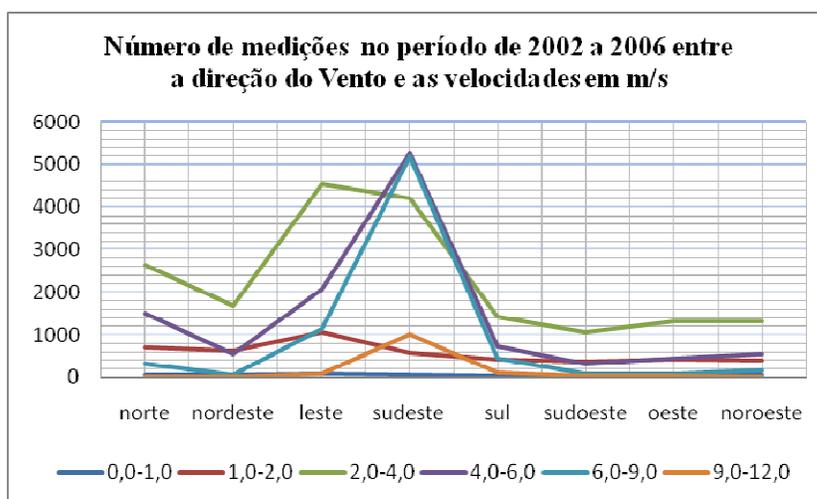
Pela análise dos dados propostos, verifica-se que a frequência predominante dos ventos de Campinas apresenta a direção SE (Sudeste), e que o maior número de rajadas ocorre com velocidade média em torno de 2m/s a 4m/s, conforme quadro 4:25.

**Quadro 4:24: Número de rajadas percebidas, Período janeiro a dezembro. Horário-0:00 -23:00h**

Orientação/ velocidade	0,0-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	4,0-6,0	6,0-9,0	9,0-12,0	total
	Nº de rajadas						
Norte	59	694	2632	1511	332	7	5235
Nordeste	52	629	1687	557	67	2	2994
Leste	80	1049	4549	2067	1158	69	8972
Sudeste	56	586	4223	5265	5184	1010	16324
Sul	32	425	1417	732	444	115	3165
Sudoeste	21	374	1055	314	90	19	1873
Oeste	37	422	1326	439	105	15	2344
Noroeste	47	389	1305	552	180	11	2484
Total de rajadas por m/s	384	4568	18194	11437	7560	1248	384

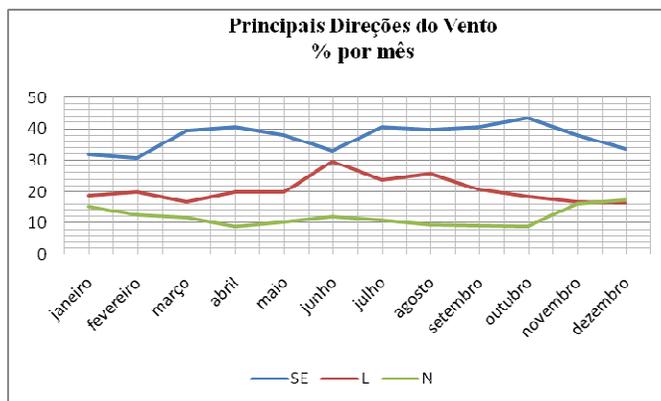
Fonte: INFRAERO

A figura 4-83 mostra as velocidades médias, em relação às direções e o número de medições encontradas no período de 2002 a 2006. Para a direção SE, as velocidades médias 4-6 m/s e 6-9m/s são predominantes.



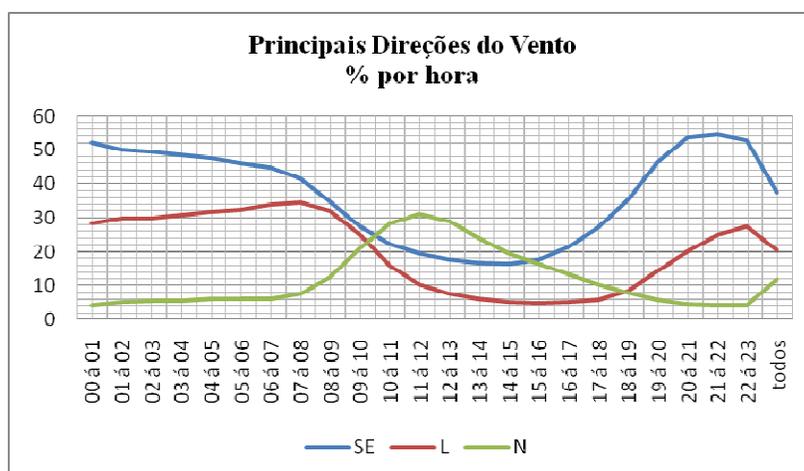
**Figura 4-83: Direção e velocidade dos ventos, 2002 e 2006**

Pelas diferenças mensais, percebe-se que as direções SE, N, L, são as mais frequentes. Embora não se tenha levado em consideração a média horária da velocidade, verifica-se a predominância da direção SE, em todos os meses analisados no período. A figura 4-84, mostra a frequência de rajadas mensais por direções predominantes.



**Figura 4-84: Porcentagem de rajadas mensais por direções predominantes**

Aproximando-se os resultados para os valores horários da velocidade, não levando em consideração o mês em questão, definem-se 3 (três) direções de vento predominantes SE, N, e L. A direção SE (Sudeste) é predominante nos períodos matutinos e noturnos, ocorrendo entre as 17:00h e as 10:00h Os ventos N (norte) ocorrem no período diurno, mais provavelmente entre as 10:00 e 16:00h. Os ventos L (leste) são sempre secundários, não mostrando predominância em nenhum horário.



**Figura 4-85: Principais direções do Vento, % por hora.**

Opta-se pela direção Sudeste pois é a predominante na maior parte das definições horárias; definindo-se a velocidade de 4m/s na direção Sudeste. O quadro 4-26 mostra as características dos objetos de entradas e saídas de ar implementados da simulação.

**Quadro 4-25: Características das entradas e saídas e de ar**

Objeto do dominio	Primeira entrada de ar	Segunda entrada de ar
Nome	EN_S_SE	EN_L_SE
Posição	X=0	X=0
	Y=0	Y=0
	Z=0	Z=0
Tamanho	X=0	X=830
	Y=392	Y=0
	Z=70	Z=70
Objeto tipo=	<i>WIND_PROFILE</i>	<i>WIND_PROFILE</i>
Propriedades do objeto		
Altura de referencia=	10m	10m
Velocidade em x, referente a altura h=	2,83 m/s	2,83 m/s
Velocidade em y, referente a altura h=	2,83 m/s	2,83 m/s
<i>Profile type</i> =	<i>Logarithmic</i>	<i>Logarithmic</i>
Direção Vertical=	Z	Z

A simulação parte 1 foi simplificada de acordo com o quadro 4-27, que define as principais características da simulação computacional.

**Quadro 4-26: Principais características da simulação parte 1**

<b>Geometry</b>	<b>Domino</b>	X = 830	Y=392	Z =70	
	Número total de células=	'X direction'	'Y direction'	'Z direction'	
		125	56	100	
		(distribuídas entre 7 regiões)	(distribuídas entre 7 regiões)	(distribuídas entre 2 regiões)	
	Para cada direção utiliza-se	<i>REG</i>	<i>REG</i>	<i>REG</i>	
		1 <sup>o</sup> região: 0,85	1 <sup>o</sup> região: 0,85	1 <sup>o</sup> região: 1,04	
Demais regiões: 1,0		Demais regiões: 1,0	Demais regiões: 1,0		
Ultima região: 1,01		Ultima região: 1,1	Ultima região: 1,02		
<b>Models</b>	<b>Turbulence Models</b>	<i>KECHEN</i>			
<b>Properties</b>	Ar:	K = 273	Pressão de referência=10.000 (Pa)		
<b>Initialisation</b>	Valores iniciais=	V1=10	U1= 10	Ke= 3,32	Ep= 0,0606
	Após a primeira interação, todos os valores são baseados, na ultima interação realizada.				
<b>Sources</b>	<i>Coefficient for auto wall functions</i> =	<i>default</i>			
	<i>Global wall roughness</i> =	0,03m			
<b>Numerics</b>	<i>Total number interactions</i>	50.000			
<b>Objetos de Domínio</b>					
<b>Objeto</b>	<b>Primeira entrada de Ar</b>	<b>Segunda entrada de Ar</b>	<b>Primeira Saída de Ar</b>	<b>Segunda Saída de Ar</b>	<b>Piso</b>
Nome	<i>EN_S_SE</i>	<i>ENL_SE</i>	<i>SAIDA_N</i>	<i>SAIDA_O</i>	<i>PISO</i>
Posição					
	X=0	X=0	X=830	X= 0	X=0
	Y=0	Y=0	Y=0	Y=392	Y=0
	Z=0	Z=0	Z=-0	Z=0	Z=0

Continuação Quadro 4-27

Tamanho					
X	X=0	X=830	X=0	X=830	X=830
Y	Y=392	Y=0	Y=392	Y=0	Y=392
Z	Z=70	Z=70	Z= 70	Z=70	Z= 0
Tipo	WIND_PROFILE	WIND_PROFILE	OUTLET.	OUTLET	PLATE
'Attributes'					
Reference height=	10m	10m			Roughness= 0,01
Roughness =	0,03m	0,03m			
Velocity in X-direction at the reference height to=	2,83 m/s.	2,83 m/s.			
Velocity in y-direction at the reference height to=	2,83 m/s.	2,83 m/s.			
Profile type=	Logarithmic	Logarithmic			Wall function law=general log law
Vertical direction=	Z	Z			
<b>Objetos a serem simulados</b>					
nome	Quadra_1				
'General, Type='	blockage				
<b>São geradas 7 quadras, cada uma com uma posição diferenciada, aqui é apenas mostrada a quadra número 1<sup>30</sup></b>					
'Attributes'					
material	120 concret block				
types	solid				
'Position'	'Size'				
X=288	X=36				
Y=126	Y=126				
Z =0	Z=7				

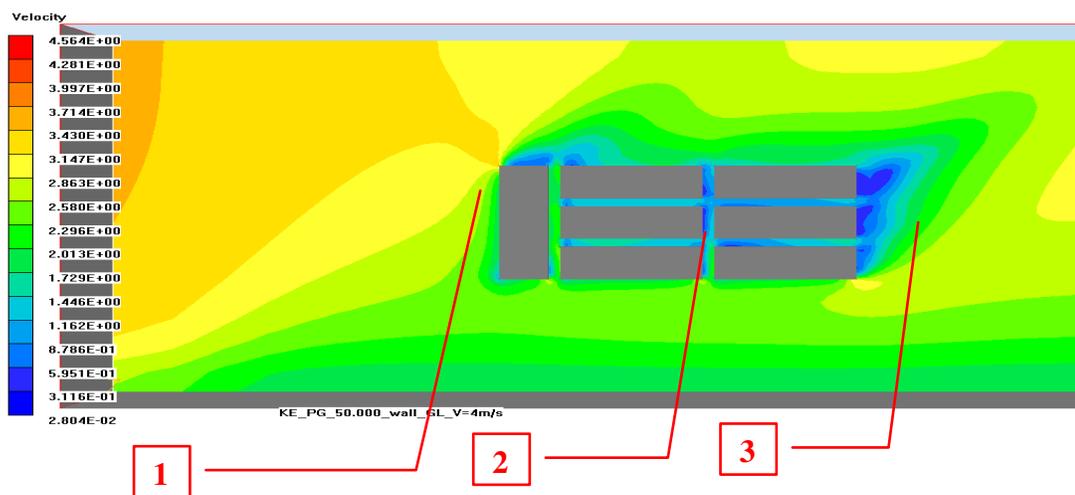
A simulação parte 1, demonstra a influência da área edificada no fluxo natural do vento. A figura 4-86, é uma vista leste em perspectiva da simulação 2, ela mostra que primeira quadra funciona como um elemento de separação da camada limite (1) na aresta da primeira quadra. Deste modo a direção do fluxo do vento tende a sair do curso que estava por um determinado espaço. no fluxo entre as quadras(2) pode ser verificada a diminuição da velocidade entre, no espaço das ruas, a diminuição da velocidade nas ruas entre as quadras. o efeito de turbilhonamento após a ultima quadra(3).As tonalidades de azul mostram valores abaixo de 1,44m/s sendo crescentes até a cor vermelha com velocidade em torno 4,50m/s.

<sup>30</sup> Quadra 2 (333, 126), Quadra 3 (333, 171), Quadra 4 (333, 216), Quadra 5 (447, 126), Quadra 6 (447, 171), Quadra 7 (447, 216).



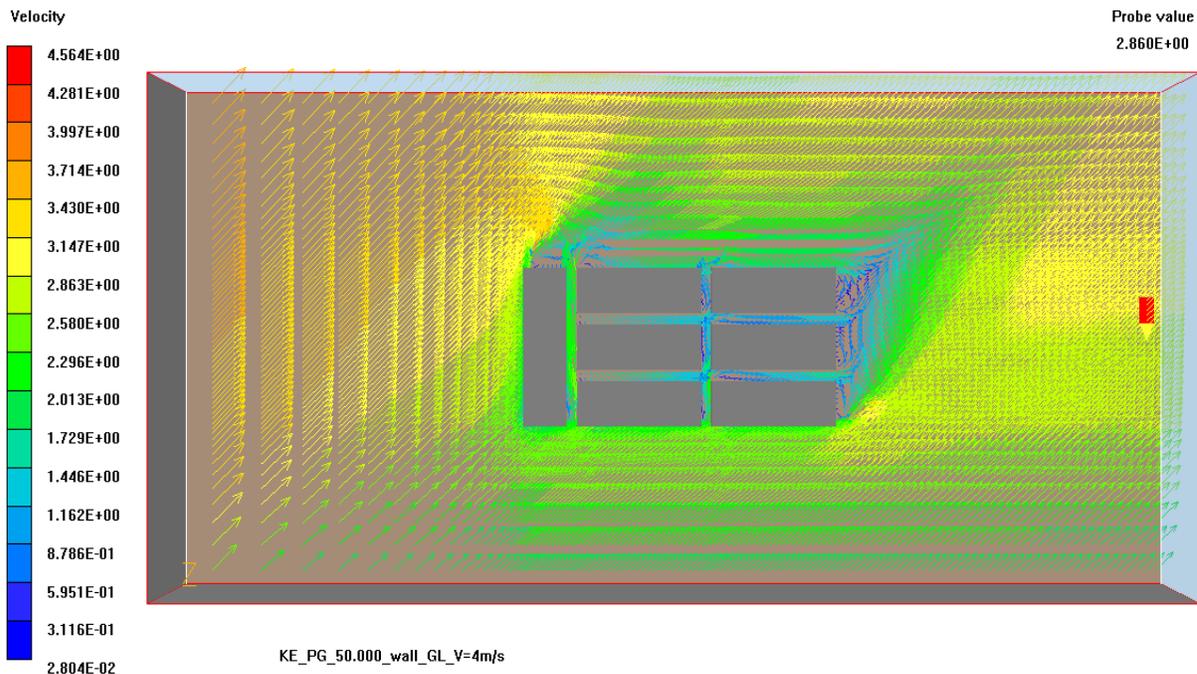
**Figura 4-86: Alterações do fluxo de vento decorrentes da malha urbana**

A figura 4-87 é uma vista de topo da simulação parte 1, com corte realizado a 1 metro de altura do chão. Observa-se primeiramente o “efeito de parede” causado pela quadra (1), como a quadra que servirá para a simulação parte 2 corresponde a quadra central, o efeito de parede não interfere nos valores das velocidades necessárias. A diminuição do fluxo no meio das quadras(2) e o efeito turbilhonar após as três últimas quadras também é observado(3).



**Figura 4-87: Alterações do fluxo de vento decorrentes da malha urbana, vista de topo**

A figura 4-88 mostra através de vetores, a direção do fluxo do vento, bem como as regiões onde se encontram os vórtices após as quadras.



**Figura 4-88: Alterações do fluxo de vento decorrentes da malha urbana, vista por vetores.**

#### 4.5 Simulação Parte 2

Como mencionado anteriormente, a subdivisão das simulações em duas etapas foi uma forma de lidar com as limitações de memória e velocidade de processamento inerentes aos simulações computacionais. Os resultados das velocidades de escoamento da primeira parte da simulação alimentam as condições contorno da segunda parte. Para atribuir os valores de velocidade correspondentes aos encontrados na suposta quadra central (figura 4-89) da simulação parte 1 para a parte 2 foi necessário estabelecer o domínio de cálculo para a simulação parte 2 e depois fazer a leitura das velocidades vetoriais nos eixos X, Y e Z, obtidas na simulação parte 1. Os valores de velocidade encontrados para cada célula utilizada na simulação parte 1 determinaram o valor da velocidade para as células que se encontram no contorno do domínio

para a simulação parte 2. A simulação parte 1 estipula que a velocidade do vento na malha urbana fica abaixo de 2,5m/s, para a velocidade média em Campinas/SP em torno de 4m/s.

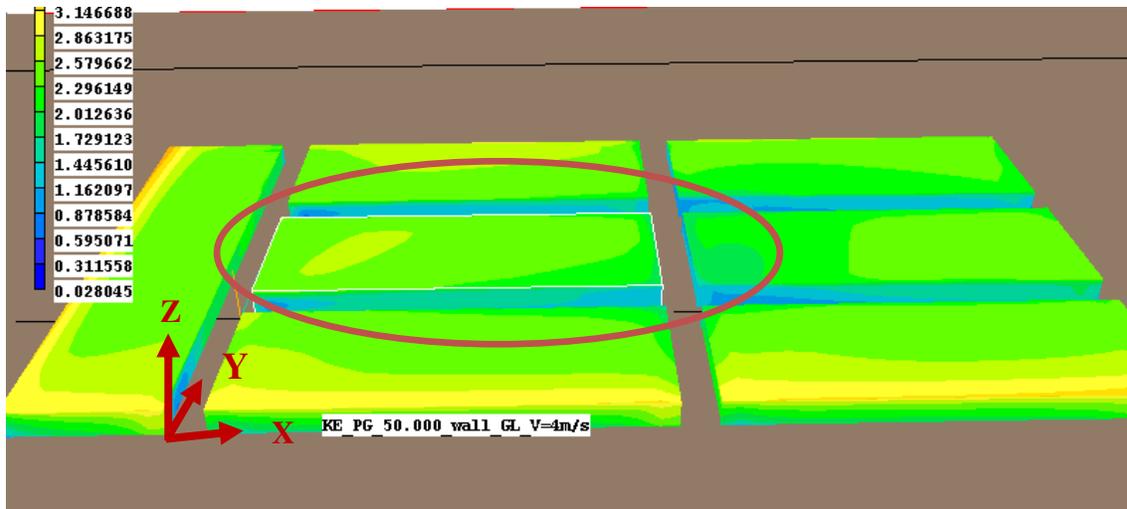


Figura 4-89: Valores de velocidade para a quadra central

A quadra principal está dividida em células, nos eixos X, Y, Z; 42 na direção Z, 25 na direção X e 10 na direção Y. Os pontos 1, 2 e 3 da figura 4-90 mostram os locais onde foi suposto o corte para a inserção dos valores na etapa 3.

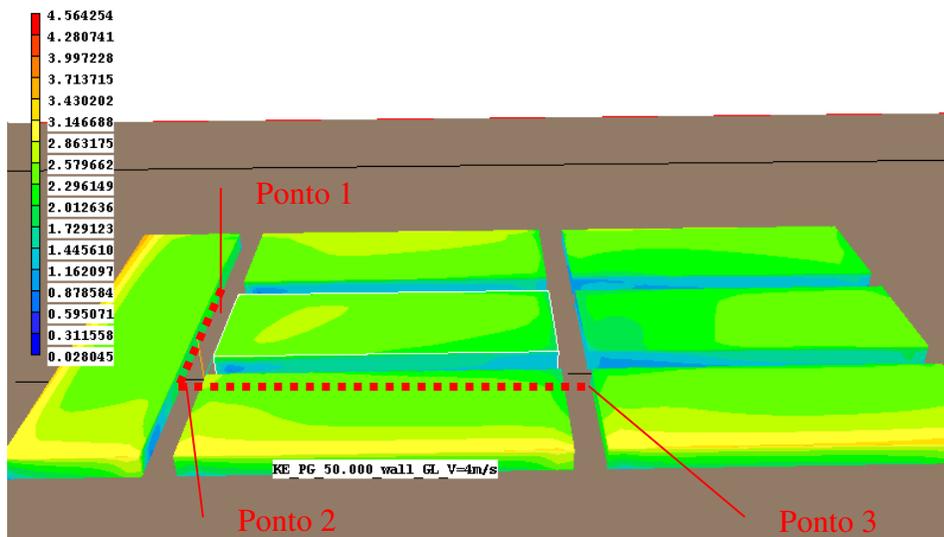


Figura 4 -90 Fronteira do domínio parte 3

O corte relativo aos pontos 1 e 2 passa pela última célula da quadra 1 (número 30 do eixo X, entre as células 21 a 35 em Y, e entre as células de 1 a 70 em Z). A linha entre os pontos 2 e 3 passa pela última célula da quadra 3 (célula 21 do eixo Y, entre as células de 30 a 61 do eixo X, e entre as células de 1 a 70 do eixo Z). As figuras 4-92 e 4-93 mostram os cortes da simulação parte 2.

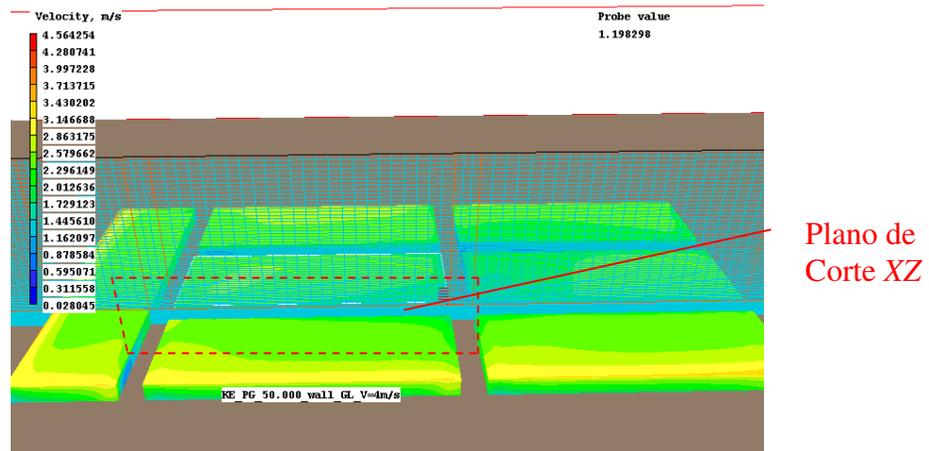


Figura4-91: Grade em X

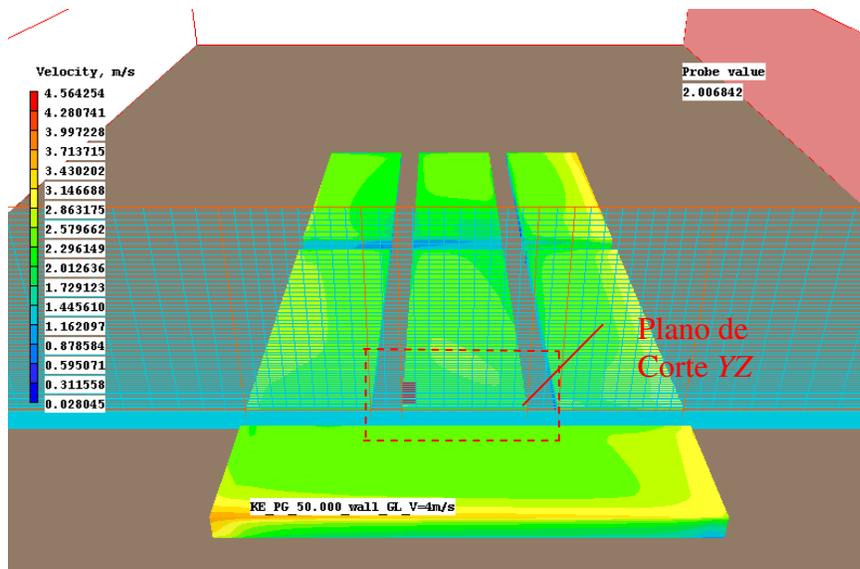


Figura 4-92: Grade em y

O novo domínio para a etapa 2 ficou definido da seguinte forma: o comprimento na direção x é de 125m, e é subdividido em 7 regiões, totalizando 125 células; na direção y o comprimento de 60 m é subdividido em 7 regiões totalizando 56 células e na direção Z a altura de 35 metros, é subdividida em 2 regiões totalizando 100 células; tem-se praticamente o mesmo número de células da simulação 2, porém em um domínio menor.

Os objetos utilizados para estabelecer as condições de contorno foram alteradas apenas nas 2 áreas de entrada e dependem dos valores encontrados na parte 1. Para se obter os valores das variáveis nas células de entrada que se encontram nos planos verticais voltados para as direções SUL e LESTE, usou-se a interpolação com os dados da simulação da parte 1. Para isto, foi escrito um programa em linguagem C que lê os dados da simulação parte 1, faz a interpolação e cria um arquivo que foi denominado de “q1\_adicional.dat”. Este arquivo contém os comandos do *PHOENICS* que estabelecem as condições de contorno em cada célula das superfícies de entrada. O programa executável foi gerado utilizando a interface DEV-C++ versão 5.

Na simulação da parte 1, o arquivo “q1\_adicional.dat”, é lido pelo *PHOENICS*, que executa os comandos nele contidos. O arquivo possui 33179 linhas contendo comandos do *PHOENICS*. Para exemplificar os comandos criados. A citação a seguir refere-se às linhas 7841 a 7847 do arquivo , onde os valores para a primeira célula *SOUTH* foram estabelecidos para P1, U1, V1, W1, KE, EP:

```
“...INLET(es001001,SOUTH,1,1,1,1,1,1,1,1)
  VALUE(es001001,V1,2.426363E-001)
  VALUE(es001001,U1,-5.463317E-002)
  VALUE(es001001,W1,1.665289E-003)
  VALUE(es001001,KE,7.711425E-003)
  VALUE(es001001,EP,3.319050E-004)...”
```

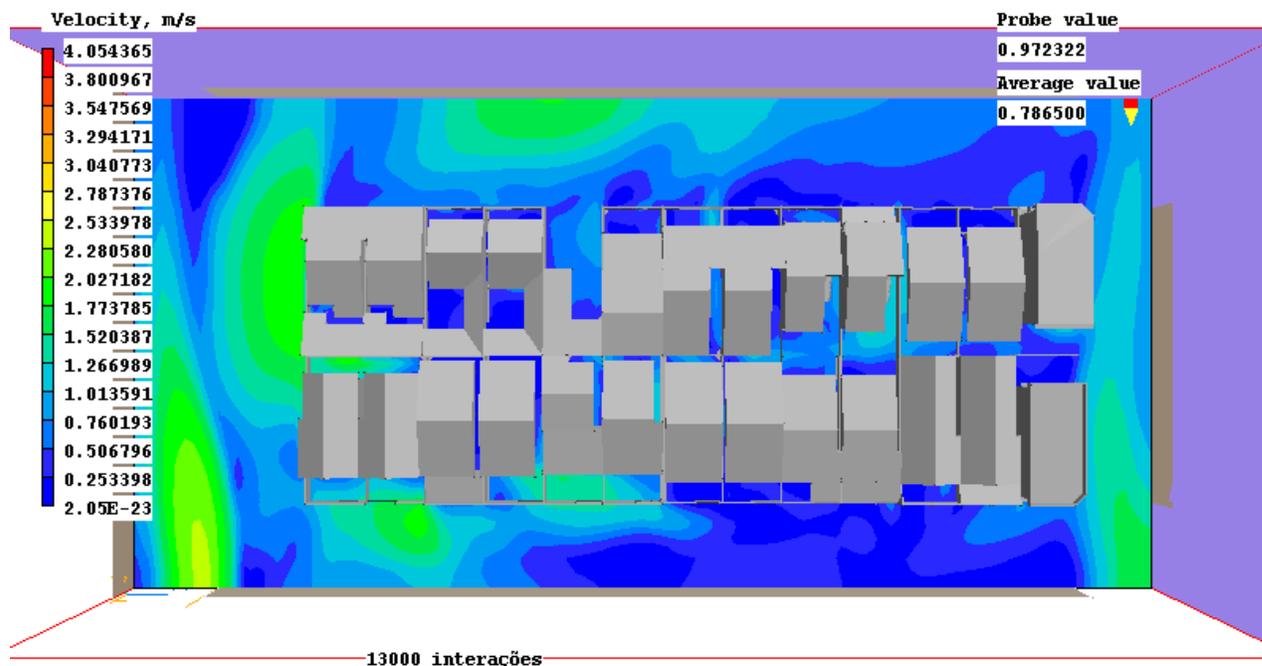
A simulação parte 2 trabalha com as entradas de velocidade de vento, de acordo com os valores encontrados na parte 1; assim, o tipo de objeto de entrada também é alterado, não sendo mais necessário o uso do objeto *Wind-profile*.

A inserção da quadra tipo é feita pelo comando *stlout*. O quadro 4-28 mostra a característica da quadra criada.

**Quadro 4-27: Característica da quadra criada**

Nome	QuadraTipo
Tipo	<i>blockage</i>
Atributos	
<i>material</i>	<i>120 concret block</i>
<i>types</i>	<i>solid</i>

A figura 4-93 mostra uma vista com as velocidade calculadas no plano horizontal do fluxo corresponde à altura de 1 metro do solo. Na figura 4-94 os mesmos resultados numa vista em perspectiva..



**Figura 4-93: Vista superior da implantação do simulação**

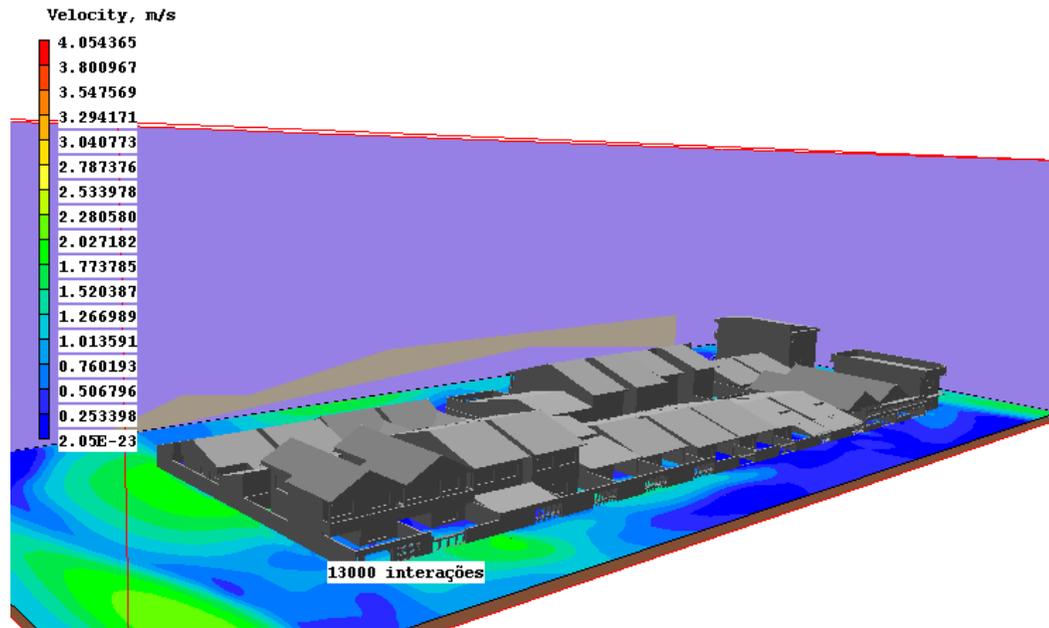


Figura 4-94: Vista SE do simulação

Foi realizado um total de 26000 interações. O quadro 4-2 mostra os valores dos resíduos de convergência para a simulação parte 2, de acordo com Peric e Ferziger, 1990.

Quadro 4-28: Valores de convergência das variáveis para Simulação parte 2

Variável	Valor de convergência
P1	3,21E+001
U1	1,55E+003
V1	3,02E+003
W1	5,63E+002
K $\epsilon$	7,47E+004
Ep	4,48E+007

Onde:

P1= pressão

U1=velocidade do vento na direção X

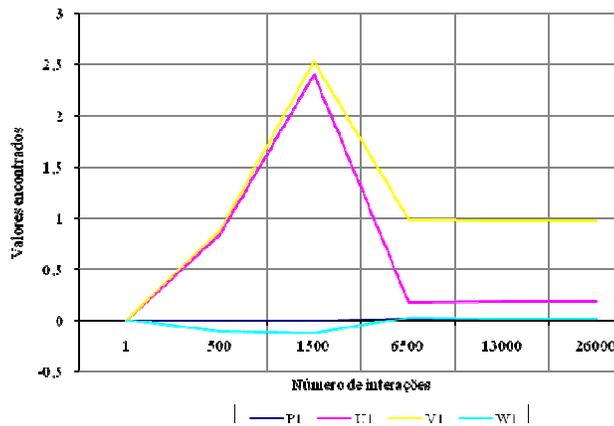
V1= velocidade do vento na direção Y

W1= velocidade do vento na direção Z

$K\varepsilon$ = energia cinética turbulenta

$E_p$ = energia potencial

A figura a seguir mostra os valores das variáveis para o ponto, monitorado pelo *PHOENICS*, de coordenadas 155, 56, 7 do domínio. Este ponto localiza-se na última célula das coordenadas X e Y, pois é o lugar onde os resíduos das variáveis possuem os valores finais, caso se escolhe-se um ponto no meio do domínio poderia haver diferenças entre os resíduos finais e as telas de monitoramento talvez não apresentassem redução de valores ou paralelismo entre as interações do ponto monitorado. Nota-se que a partir de 6500 interações no ponto selecionado, as variáveis tem seu valor praticamente inalterado.



**Figura 4-95: Valores para as variáveis medidas no Ponto 155, 56, 7.**

As figuras 4-96, 4-97, 4-98, 4-99 mostram os gráficos dos resíduos das variáveis P1, V1, W1, U1 em relação ao número de interações e ao valor de convergência, em função da primeira interação da simulação. São retirados do arquivo *RESULT* após cada interação.

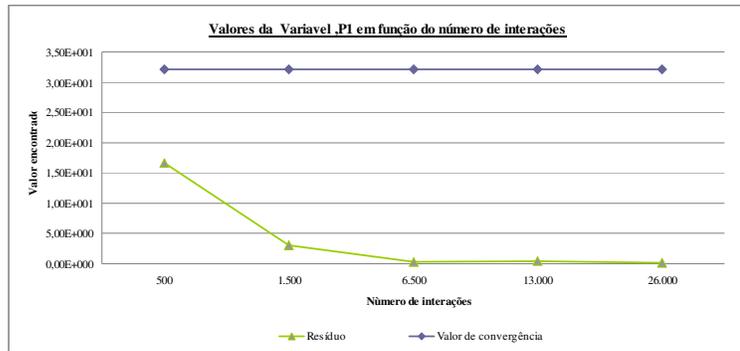


Figura 4-96: Valores de convergência para a variável P1, em função do resíduo.

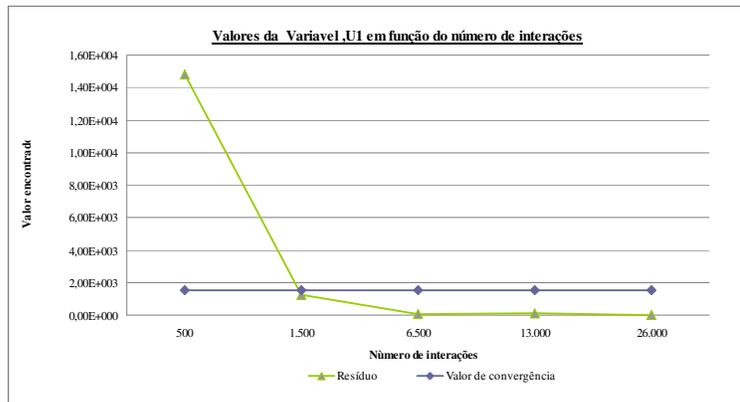


Figura 4-97: Valores de convergência para a variável U1, em função do resíduo.

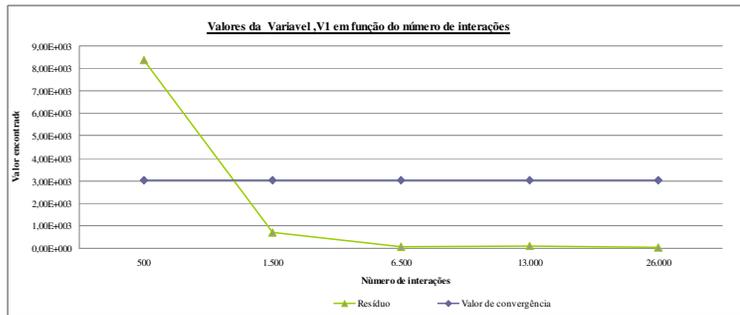
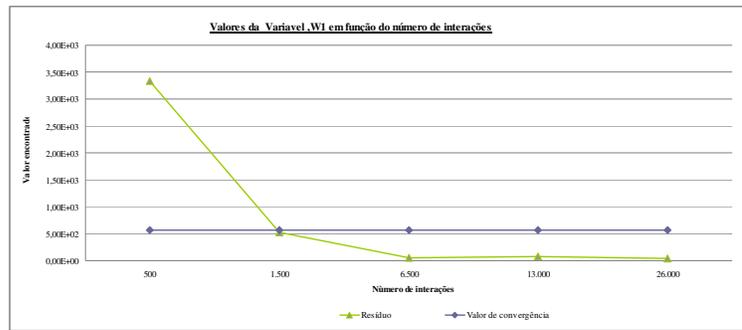
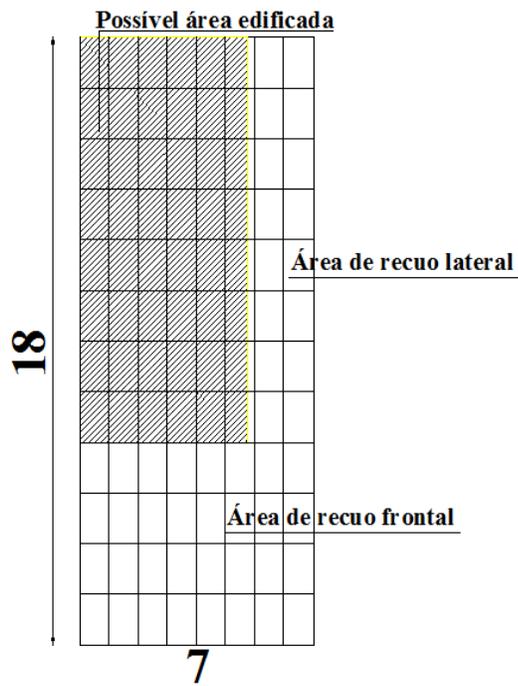


Figura 4-98: Valores de convergência para a variável V1, em função do resíduo.



**Figura 4-99: Valores de convergência para a variável W1, em função do resíduo.**

A simulação parte 2 pode ser analisada primeiramente sob o aspecto da inserção da quadra em sua malha urbana. A análise é feita através de animações e videos que foram retirados e feitos pelo software. Cada casa foi dividida em 8 células na largura, por 12 células no comprimento. A figura 4-100 mostra um lote padrão do Jardim São José, com o recuo lateral e frontal obrigatório, com a malha definida para cada edificação.



**Figura 4-100: Lote padrão utilizado na Simulação Parte 1.**

As maiores velocidades encontradas dentro da área do lote ocorrem nas casas 12 e 13, que se encontram na esquina do fluxo predominante. Mesmo assim estes valores estão entre 0,9 e 1,4 m/s. Segundo estudos de Givoni a localização das aberturas nas residências, bem como o tamanho, obstáculos e a possibilidade de ventilação cruzada entre as aberturas pode causar variações de 5% a 30% no valor da ventilação no interior das casas. Nestas condições o valor interno de velocidade dos ventos, geralmente provindos de áreas de turbulência, estaria muito abaixo do padrão mínimo de 0,2m/s proposto pela ASHARE (1997), na grande maioria das edificações do loteamento Jardim São José.

As casas localizadas com vista principal na direção predominante do vento, SE, poderiam ser mais beneficiadas com a ventilação se a largura das ruas fosse maior do que os sete metros encontrados no Jardim São José. A largura encontrada atualmente faz com que a recirculação ocorra principalmente na esquina. A vorticidade reduz a velocidade do vento, sendo aquela encontrada dentro dos lotes das casas não superior a 1,4m/s.

A figura 4-101 mostra a célula utilizada para a criação da linha de corrente em cada casa, a animação das linhas de corrente podem ser vistas nos vídeos.

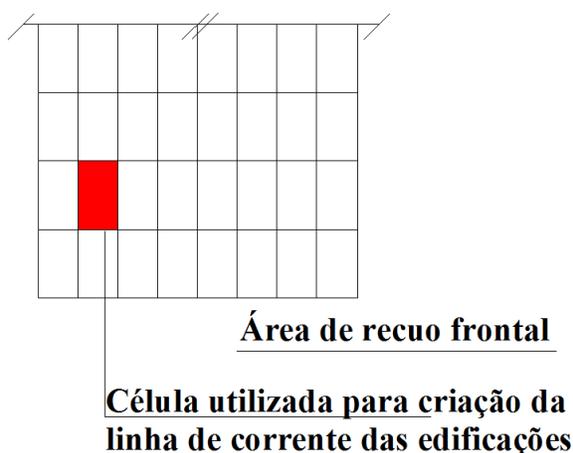
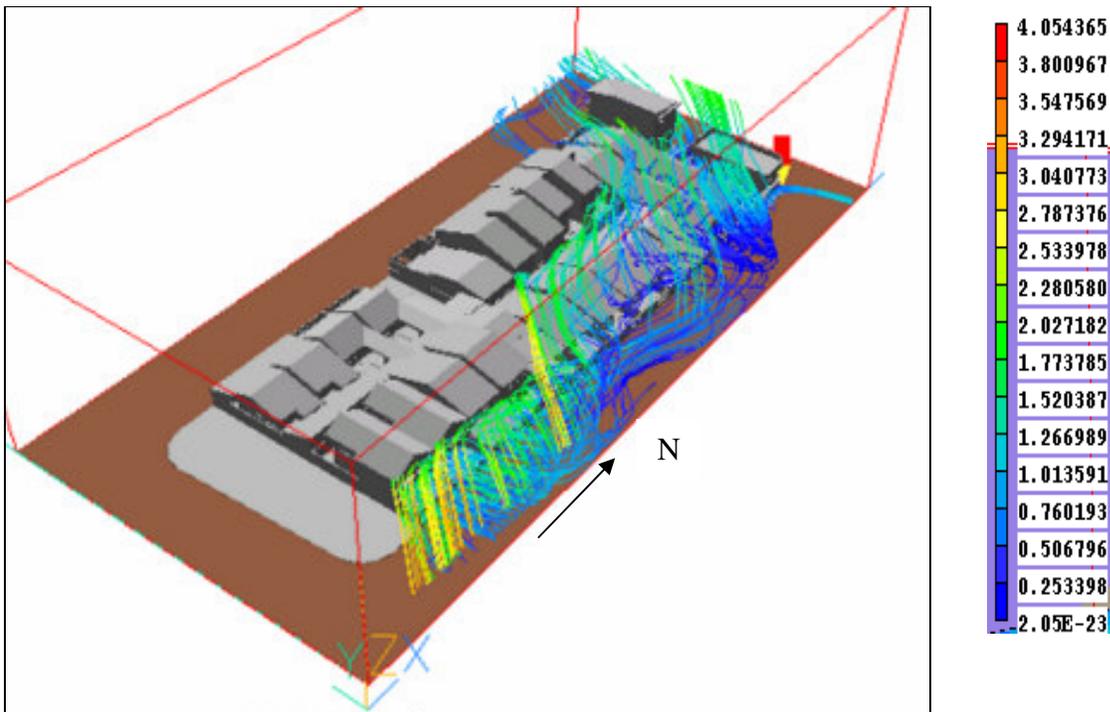


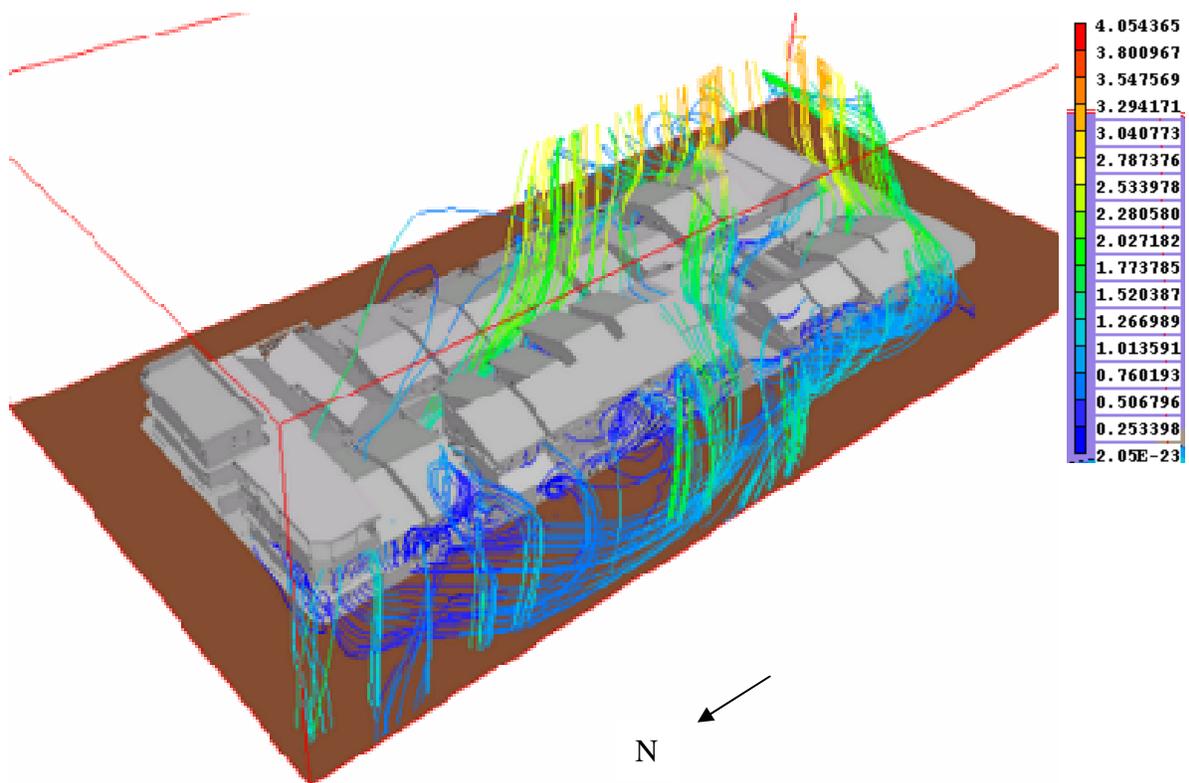
Figura 4-101: Célula utilizada para criação das linhas de corrente.

As figuras 4-102 a 4-108 representam um perfil do fluxo do vento, encontrado na segunda célula da segunda linha e da segunda coluna de cada lote, à altura  $z=1\text{m}$ . A figura 102 mostra o resultado do fluxo da célula da figura 4-101 de cada lote de frente para o vento dominante SE. A cor amarela representa as maiores velocidades e o azul escuro as menores velocidades.



**Figura 4-102: Fluxo do vento para casas voltadas para a direção dominante SE**

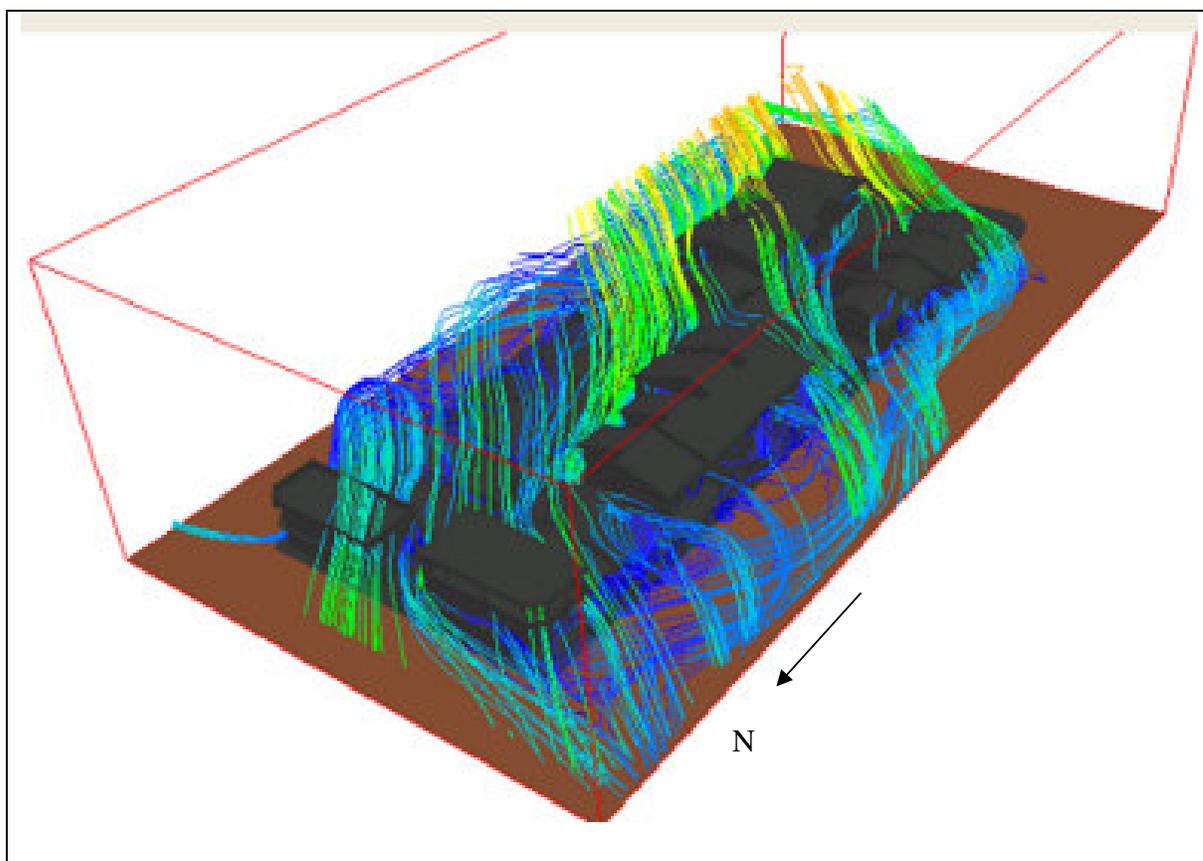
As casas implantadas do lado leste sofrem maior influência do efeito de recirculação (vorticidade) gerado pelo espaço da rua, de 6 m neste bairro. O lado Oeste, observado na figura 4-101, mostra a recirculação na rua, resultado do fluxo das casas com vista para Oeste.



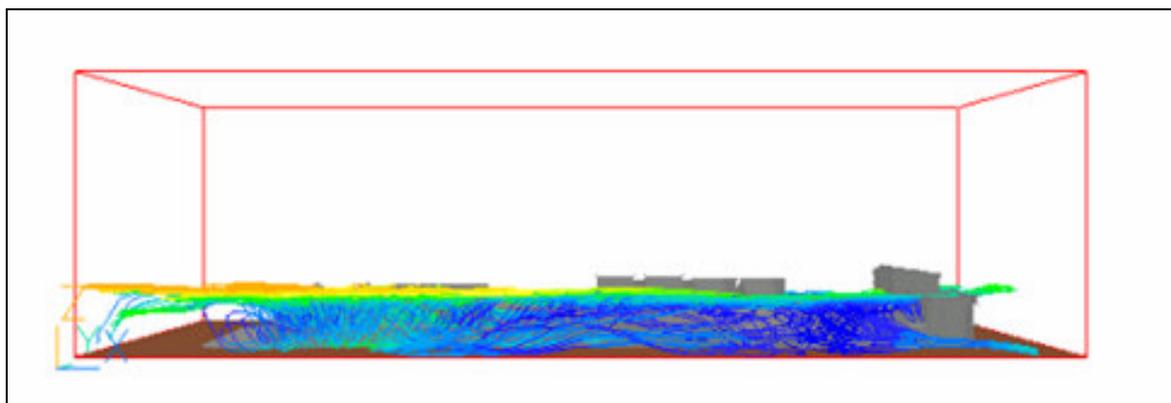
**Figura 4-103: Recirculação do fluxo de vento na rua, consequência das habitações com vista a Oeste.**

A figura 4-104 mostra os fluxos resultantes das primeiras células de cada lote, para  $Z=1$ , tanto para a fachada Leste quanto Oeste. O perfil econômico do desenho do loteamento São José não prevê quadras com quatro fachadas, apenas duas. No caso deste loteamento, o método utilizado para definir as orientações principais das quadras considera o desnível topográfico, não levando em consideração o perfil dos ventos para Campinas.

A figura 4-105 mostra uma vista da entrada do fluxo a Leste. Como as linhas de corrente foram criadas a partir de um ponto dentro do lote das casas, é possível ter uma visão de qual ponto do domínio afeta a aérea de estudo, localizada à altura máxima de 7,5m das entradas Sul e Leste.

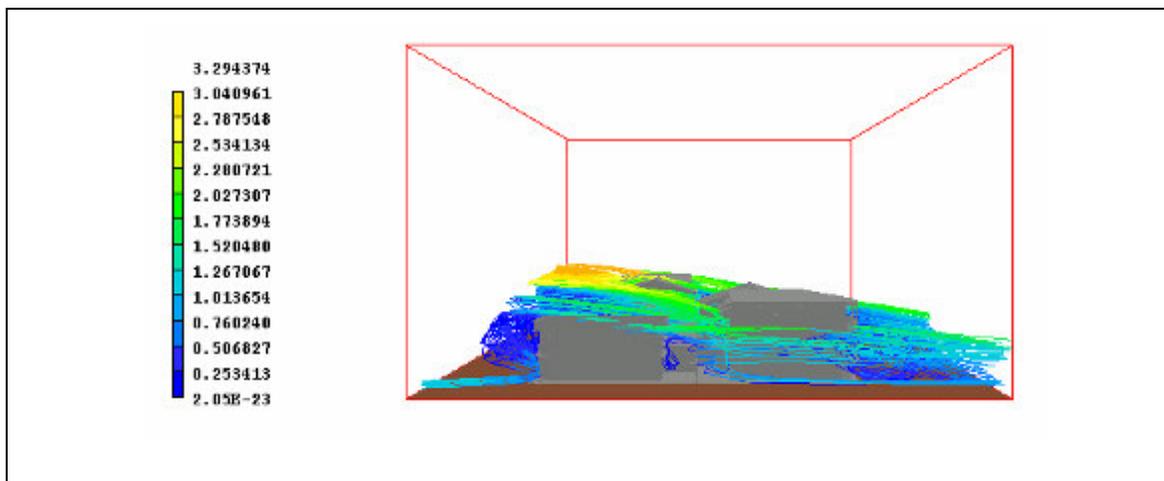


**Figura 4-104: Fluxo SE e NO, para  $y=11$  e  $Y=46$ ,  $z=1$ ,  $146 < x < 26$ .**



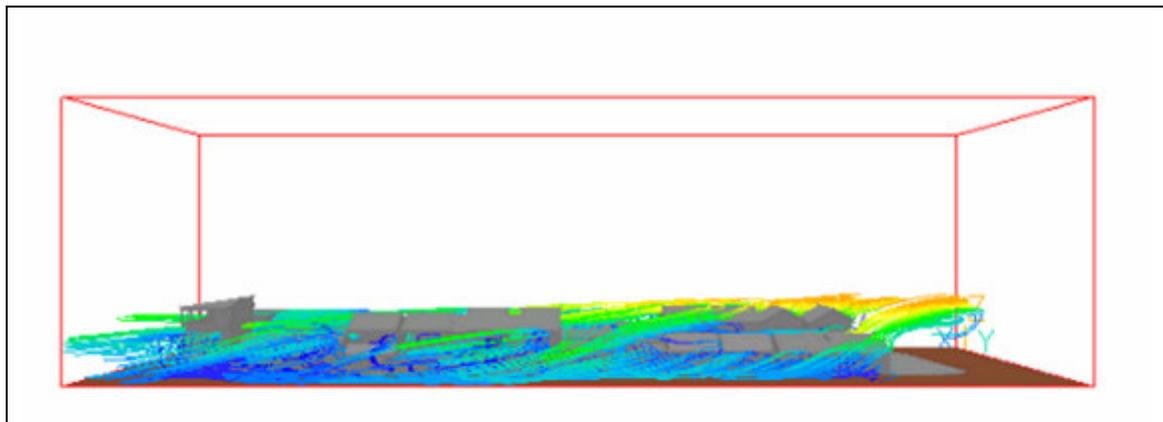
**Figura 4-105: Vista leste, altura de entrada dos fluxos que afetam os simulações**

A figura 4-106 mostra a vista Norte da simulação. Relaciona a entrada do fluxo com a saída do mesmo, em relação ao eixo norte-sul. Observa-se a perda da intensidade da velocidade, bem como a inter-relação do fluxo com a área edificada.



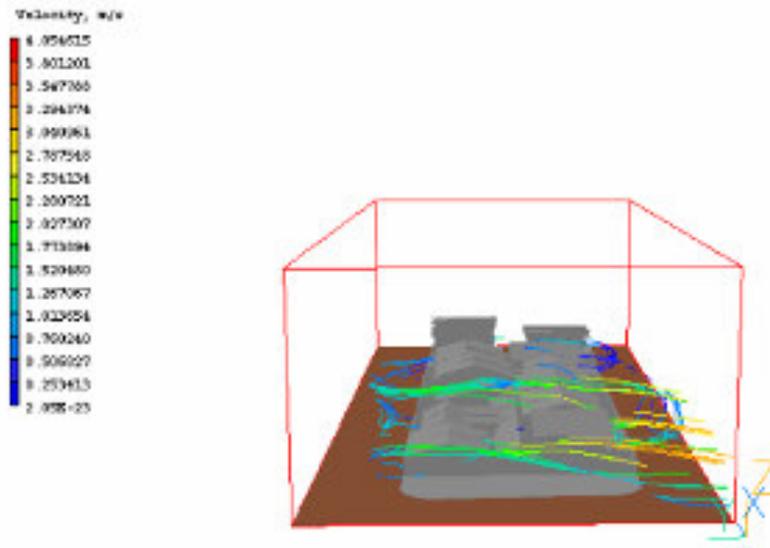
**Figura 4-106: Vista Norte, entrada e saída do fluxo.**

A figura 4-105 mostra a vista oeste da simulação. O fluxo que interfere nas edificações do lado oeste é resultante das entradas sul e leste, provenientes de fluxos diretos nas primeiras edificações e de linhas de corrente que circularam por outras edificações antes de chegar ao local indicado.



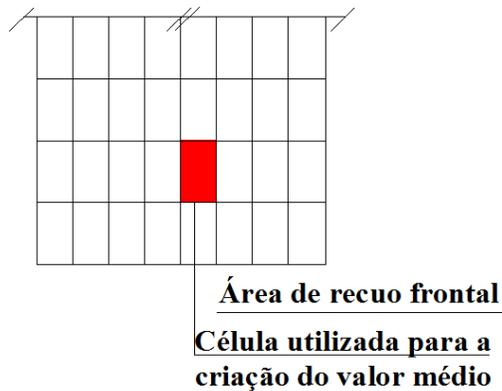
**Figura 4-107: Linhas de corrente que afetam as edificações localizadas do lado oeste**

A figura 4-106 mostra a fachada Sul, com as entradas de fluxo para as casa a leste.



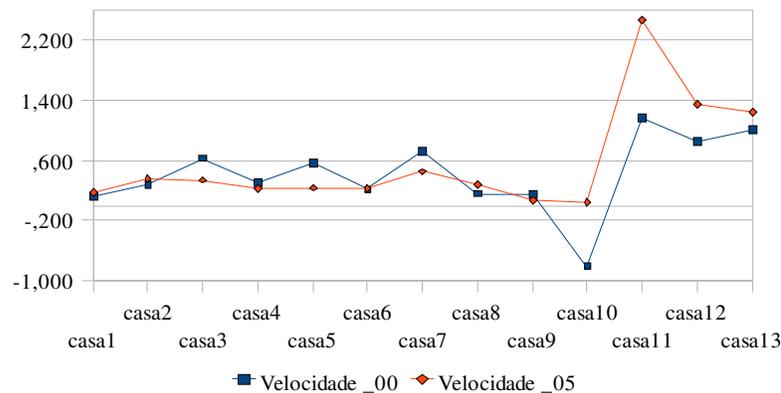
**Figura 4-108: Vista Sul, entrada de fluxo.**

Os resultados foram analisados casa a casa. o ponto utilizado para a análise foi o mostrado na figura 4-109.



**Figura 4-109: Célula utilizada para a criação do ponto médio**

Constatou-se estatisticamente que os resultados da amostra são lineares e o resultado supõe dois pontos extremos, o que elimina as casas 10 e 11 da seleção. A figura 4-110 mostra o gráfico com os valores do quadro 4-30.



**Figura 4-110: Valores de velocidade encontrados para o ponto médio de cada habitação**

O quadro 4-30 mostra os valores de velocidade encontrados para as casa de 2000 e 2005. Observa-se também a diferença de velocidade para as casas nos dois períodos e a existência ou não de alterações projetuais no período de 2000 a 2005. Os valores negativos indicam o aumento da velocidade do vento em relação as alterações.

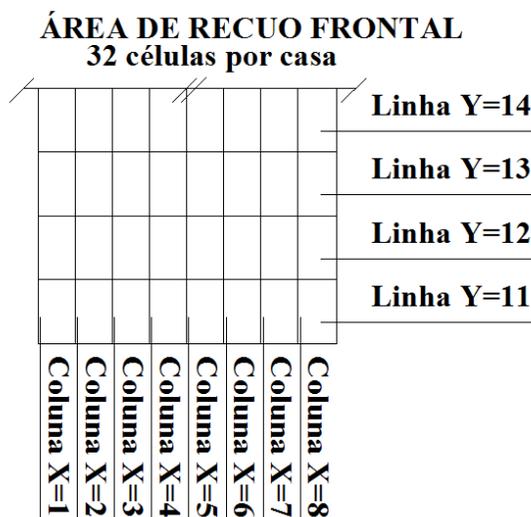
**Quadro 4-29: Valores de velocidade encontrados para cada habitação**

m/s	casa1	casa2	casa3	casa4	casa5	casa6	casa7	casa8	casa9	casa10	casa11	casa12	casa13
<b>Velocidade_00</b>	0,1	0,3	0,6	0,3	0,6	0,2	0,7	0,2	0,1	-0,8	1,2	0,9	1,0
<b>Velocidade_05</b>	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1	0,0	2,5	1,4	1,2
<b>Diferença entre velocidades</b>	0,0	-0,1	0,3	0,1	0,3	0,0	0,3	-0,1	0,1	-0,9	-1,3	-0,5	-0,2
<b>Alteração de projeto</b>	não	não	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	*	*	sim	sim

Observa-se que quatro casas apresentaram diminuição do fluxo, em duas não houve alteração, e 5 apresentaram aumento da velocidade no interior do lote. É detectado também que a posição da casa em relação ao lote altera o valor da velocidade. Casas sem alterações projetuais apresentaram diferenças no fluxo e na velocidade devido a outras casas e à configuração do entorno. Houve também o caso de alterações positivas e caso de recirculação da velocidade no interior do lote.

Com o objetivo de entender melhor o comportamento da ventilação ao redor das

edificações foi calculada a velocidade de 32 células em cada casa, conforme figura 4-111.



**Figura 4-111: Pontos utilizados para o monitoramento da edificações**

Os resultados ponto a ponto podem ser vistos na fichas individuais, apresentadas nas próximas paginas, que mostram imagens dos fluxos e posição no lote. Em cada ficha são apresentados a fotografia e o projeto em escala gráfica da edificação, em 2000 e em 2005. Na segunda página, vê-se a localização das edificações no lote e o comportamento das linhas de corrente para as primeiras células da fachada, bem como os gráficos das velocidade encontradas para cada ponto da edificação nos dois momentos.

A casa 1 não apresenta alterações projetuais entre 2000 e 2005, o que também é constatado pela velocidade e direção do fluxo do vento que não sofrem alterações no interior do lote.

A casa 2 não apresenta alterações projetuais entre 2000 e 2005, porém a velocidade e direção do fluxo do vento sofrem alterações no interior do lote, devido ao posicionamento de ambas na quadra. A casa em 2000 está entre 2 construções de mesmo gabarito, sendo a entrada do fluxo predominantemente SE. A edificação em 2005 encontra-se entre a casa de 2000 e uma casa de fundo, sem construções na frente, o que gera duas linhas de corrente responsáveis pela

alteração do fluxo no interior do lote e a recirculação do vento dentro do mesmo, aumentando um pouco o valor da velocidade.

A casa 3 tem alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, com conseqüentes alterações no interior do lote. Pode ser observado que o vento que sopra na edificação é originário da sombra da camada limite da casa 13, localizada na esquina da quadra SE. A casa 13 estará assim sujeita às ocorrências de odores provindos de outras residências.

A casa 4 também tem alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, sofrendo alterações no interior do lote. Também se observa o efeito do corredor lateral e o aumento do tempo de recirculação, causado pelo segundo pavimento da edificação.

Da mesma maneira, a casa 5 possui alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, com conseqüentes alterações no interior do lote. Também se observa nessa casa o efeito do corredor lateral. O aumento do tempo de recirculação causado pela cobertura e a criação de vórtices também podem ser observados.

A casa 6 não apresenta alterações projetuais entre 2000 e 2005, o que também é constatado pela velocidade e direção do fluxo do vento que não sofrem alterações no interior do lote. É importante notar que o projeto desta edificação é um dos mais comuns em bairros de autoconstrução. Sendo localizada contra a direção preferencial do fluxo do vento, ela recebe ventilação pelos fundos, originada das casas que fazem fronteira posterior. O corredor novamente aparece como um captador de vento que, ao chegar à frente da edificação, área aberta, cria uma zona de recirculação dentro do lote. Este fato sugere que na autoconstrução, sendo o corredor praticamente obrigatório, devido ao tamanho mínimo dos lotes e leis vigentes, se as áreas de abertura (portões) forem localizadas do lado oposto, isso auxiliaria a saída do ar da edificação, não criando vórtices internos.

A casa 7 é de esquina, o que dificulta a análise das alterações. O que pode ser constatado é que a construção do terceiro pavimento em zona de baixo gabarito influi muito na

circulação do ar em áreas abertas.

As casas de 1 a 8 referem-se às edificações localizadas do lado predominante do fluxo. Estas edificações estão mais sujeitas aos vórtices gerados pela pequena distância do meio fio entre uma casa e outra.

A casa 8 tem alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, sofrendo alterações no interior do lote. A colocação da cobertura vertical neste caso está vinculada à posição da quadra no lote. A casa com projeto realizado em 2005 está localizada ao lado de um sobrado. Neste sentido, o aumento da construção lateral interfere na circulação do ar da residência. Pela análise dos projetos em 2000 e em 2005 observa-se a alteração do comportamento do fluxo. Isto leva à sugestão de que coberturas verticais são bem vindas, quando a favor do vento predominante e com barreiras verticais no entorno próximo.

A casa 9 apresenta alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, sofrendo alterações no interior do lote. A construção de uma cobertura horizontal na parte frontal do lote é muito parecida com a alteração da casa 8. Porém a malha urbana das duas é desigual. A casa 9 está localizada entre edificações com apenas um pavimento. Nesta configuração urbana, a alteração da cobertura vertical influi negativamente na velocidade do ar no interior do lote padrão. Assim, as coberturas verticais não são interessantes quando o entorno imediato da edificação é constituído de edificações do mesmo padrão.

A casa 12 apresenta alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, sofrendo alterações no interior do lote, juntamente com criação de vórtice na área coberta. Aqui a questão não é tanto a perda da velocidade mas o tempo necessário para que o ar saia da edificação. Neste caso fica comprovado o fator da malha urbana em relação a alterações horizontais.

A casa 13 apresenta alteração projetual, alteração da velocidade e direção do fluxo do vento, sofrendo alterações no interior do lote. É o único exemplo onde a área de abertura da

frente do lote foi ampliada verticalmente, com alterações positivas em relação ao fluxo. A casa 13 sofre influência direta do fluxo predominante, já que a região da esquina é mais sujeita a vórtices.

## 4.6 **Ficha das Edificações**



## 5 Conclusão

A análise da ventilação em casas autoconstruídas pelo uso de simulação computacional no loteamento São José em Campinas/SP ampliou os conhecimentos sobre a ventilação natural em meio urbano alterado por autoconstrutores. A simulação computacional, através da ferramenta metodológica proposta, mostra, pela análise total e parcial das habitações, problemas resultantes deste simulação construtivo que se reflete na ventilação natural da região.

A simulação da malha urbana do loteamento São José, mostrou uma redução da velocidade do vento em aproximadamente 2,0 a 2,5 m/s nas suas ruas locais. Adotando-se esses valores, a segunda simulação foi construída com 26 edificações aleatórias encontradas no loteamento, bem como as alterações sofridas ou não pelas mesmas, num período de cinco anos. Observando a quadra simulada como um todo é possível notar que a inter-relação entre uma casa e outra é fundamental para garantir uma boa ventilação, e que as casas opostas ao vento dominante recebem no seu interior cheiros e odores vindos de outras residências. As baixas velocidades do ar e a tendência do mesmo a seguir seu curso natural, auxiliam a criação de vórtices em praticamente todas as áreas livres no interior dos lotes individuais. Mesmo os corredores laterais, captadores naturais de vento, ao se depararem com áreas mais largas, colaboram para a criação dos vórtices. A velocidade do ar no interior das casas varia entre 0,1 m/s a 1,2m/s sendo as maiores velocidades encontradas em casas de esquina onde a incidência dos ventos é maior.

O aumento das áreas construídas, o não cumprimento das leis e normas existentes aliadas ao tamanho mínimo do lote padrão podem ser vistas como causas da implantação das edificações de um só lado do lote. O desenho de um quadra menos retangular com maior frente de lote aumenta o custo da infraestrutura, porém, com um espaço de implantação diferente do atual, outras alternativas poderiam ser encontradas. A orientação das principal das quadras no

sentido norte/sul, ao invés do sentido leste/oeste, como ocorre com a maioria das quadras deste loteamento, favoreceria a utilização da ventilação na área.

A direção da inclinação dos telhados interfere nas orientações e velocidades dos fluxos de ar; telhados de duas águas inclinadas para a frente das fachadas também auxiliam na recirculação do ar nos lotes. Seria recomendável que, fosse considerada a direção dos ventos antes da construção, as pessoas se preocupassem com a direção dos ventos incidentes; bem como a relação entre o portão ou grade, com os corredores e caída de águas dos telhados. O uso de casas geminadas com telhado de uma água poderia fornecer resultados de ventilação mais interessantes no corredor e provavelmente na parte livre do lote, principalmente se a área livre fosse localizada na frente posterior do lote, com uso de grades e não de muros. Este não foi o enfoque principal desse trabalho, porém, são dados que devem ser levados em consideração.

Os muros são eficazes barreiras de vento. Para a criação da simulação 2, as barreiras utilizadas no *PHOENICS* foram construídas como objetos impermeáveis. Novos estudos também poderiam ser realizados com barreiras mais permeáveis, o que certamente influenciaria no fluxo das vias locais. A colocação de elementos vegetais pode ser um objeto de estudo para novas pesquisas.

Na análise dos resultados da simulação computacional, em muitos pontos do desenho das grades nas casas analisadas, verifica-se a falta de refinamento do cálculo pelo tamanho das células do domínio. É possível que em uma simulação gerada diretamente no *PHOENICS*, fossem obtidos melhores resultados do que o simulação importado em extensão DWG, porém apenas a alteração do simulação não seja suficiente. Outro problema encontrado está relacionado ao número máximo de células permitidas pelo processador do computador utilizado que, no caso desta simulação, usou toda a memória permitida. Para conseguir o refinamento aceitável para as grades, possivelmente a simulação teria que ser dividida em mais uma parte, diminuindo o tamanho das células que compõem a malha, para que tais detalhes pudessem ser bem resolvidos

pelo simulação matemático do *PHOENICS*.

As simulações computacionais foram amplamente estudadas para que o resultado final fosse alcançado com o máximo de exatidão possível. É importante relatar que o *PHOENICS* é um software complexo, e que a inserção dos dados foi realizada com a maior clareza possível.

Das 11 habitações analisadas, 4 delas sofreram alterações horizontais de projeto e em uma a garagem já estava presente. Nestes simulações de habitação foi notada a presença de vórtices nas áreas cobertas, bem como a permanência do ar por muito mais tempo no interior dos lotes. A criação de vórtices leva à recirculação do ar interno, dando a falsa sensação de que estão ocorrendo trocas por ventilação. Este tipo de alteração também não é considerado legal pela Prefeitura de Campinas/SP, sendo que a fiscalização destas áreas poderia ajudar a diminuir o problema. Foi detectada também a construção de edificações de 3 pavimentos, não condizentes com a LUOS local.

Quanto às alterações verticais houve mudanças, nas fachadas de duas edificações. Na casa 13, houve o acréscimo de aberturas verticais, o que aumentou positivamente a circulação no interior do lote. Na casa 3, como as alterações foram mais complexas, com a construção de cômodos e diminuição de área livre, possivelmente a colocação de muros e grades também afetou o fluxo mas não é o único responsável.

De uma forma geral, as edificações apontam para aumento da área coberta e particular de cada casa, não havendo uma preocupação dos moradores com o contexto urbano. Esta atitude altera o sentido da ventilação nas casas, pois a mudança de um projeto interfere nas edificações vizinhas. A conscientização perante a comunidade local através de diretrizes projetuais poderia defender a proposta de fachadas com área máxima de muro, em 50% de área de fachada, já que as legislações não definem uma regra para áreas de ventilação em fachadas.

O aumento da largura das ruas locais e a construção de quadras quadrangulares ao invés de retangulares tornariam a área mais permeável, facilitando a circulação do ar, eliminando

vórtices e redução da velocidade do ar no interior das edificações. O simulação atual de malha urbana auxilia a formação de vórtices e o aumento da recirculação de ar nas áreas externas e públicas do bairro.

Finalmente, este trabalho apresenta um método para o estudo de ventilação natural em casas autoconstruídas, propondo soluções pertinentes baseadas nos resultados encontrados. A importância do trabalho talvez esteja não apenas nas respostas encontradas, mas nas indagações por ele geradas. A utilização do estudo de ventilação natural apresentado aqui certamente servirá para uma série de outros trabalhos, principalmente quanto a soluções pertinentes à ventilação natural em bairros autoconstruídos, sem projetos prévios.

## Referências

1. ALLARD, F. **Natural ventilation in building - A design Handbook**. London: James and James, 1998.
2. ASHRAE. **Ashrae Handbook, Fundamentals. Inch Pound Edition**. Atlanta: América society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2001.
3. ASHRAE. **Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**. Standard 55, 1992.
4. ASHRAE e STATHOPOULOS, T. **Wind environmental conditions around tall buildings with chamfered corners**. Aerodyn: J. Wind Engng Ind., 1985.
5. AWBI, H.B. **Ventilation and Buildings**. University of Reading, Department of Construction Management and Engineering: s/e, 1996.
6. AYSLEY, R. M.; MELBOURNE, W. e VICKER, Y. B. J. **Architectural Aerodynamics**. London: Applied Science, 1977.
7. BITTENCOURT, L. S. **“Ventilation as a cooling resource for warm-humid climates: An investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings.”** Architectural Association Graduate School, AA, Grã-Bretanha: s/e, 1993.
8. BITTENCOURT, L. S. e LOBO, D. G. F. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído em São Pedro, SP: s/e, 2001.

9. BOUTET, T.S. **Controlling Air movement: a manual for architects and builders.** New York: Mac-Graw Hill, 1987.
10. BRASIL. Congresso Nacional. **Constituição da República Federativa do Brasil** de Outubro de 1988. Institui a constituição federative do Brasil de 1988. Brasília: Diário Oficial da União, 5 Out. 1988.
11. BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Lei nº. 10.257** de 10 Julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da constuição federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e da outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 11 Jul. 2001.
12. BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Lei nº. 10.406** de Janeiro de 2002. Institui o Código Civil Brasileiro. Brasília: Diário Oficial da União, 11 Jan. 2003.
13. CAMPINAS. Câmara Municipal. **Lei complementar nº. 004** de 17 de Janeiro de 1996. Institui o plano diretor do Município. Campinas: Diário Oficial do município, 18 Jan. 1996.
14. CAMPINAS. Câmara Municipal. **Lei complementar nº. 009** de 23 de Dezembro de 2003. Dispõe sobre o código de projetos e execuções de obras e edificações do município de campinas. Campinas: Diário Oficial do município, 27 Dez. 2003.
15. CANDIDO, C. **Documento Interno confeccionado para auxiliar na utilização do Software PHOENICS 3.5.** GECA – UFAL, Alagoas: s/e, 2005.
16. CARVALHO, C. V. A.; MARTHA, L. F. e TEIXEIRA, W. **Fluxovento – Um simulador gráfico interativo para o estudo de ventilação em ambientes construídos.** VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído em Maceió, AL: s/e, 2005.

17. CHANDRA, S.; FAIREY, P. e HOUSTON, M. **Cooling with ventilation**. Solar energy research institute golden, CO: s/e, 1989.
18. CHEN, Y.S. e KIM, S. W. **Computation of turbulent flows an extend k- $\epsilon$ , turbulence closure model**. NASA, 1987.
19. CHEQUE JUNIOR. **O desenho urbano das áreas habitacionais sociais: subsídios para a elaboração de projetos Campinas, SP**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP: s/e, 2005.
20. CHVATAL, K. M.; LABAKI, L. C. e KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Casas populares de Campinas: Estudo de sua adequação ao conforto térmico**. III Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído em Gramado, RS: s/e, 1995
21. COOK, J. **Passive Cooling**. Massachusstes institute Techonology in Cambridge, MA: s/e, 1989.
22. COSTA, F. J. M. e ARAUJO, V. M. D. **Ventilação e prescrições urbanísticas – uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis, em Natal / RN**. VI encontro nacional e III encontro Latino Americano de Conforto no ambiente Construído em São Pedro, SP: s/e, 2001.
23. DAVENPORT, A.G. e HUI, H.Y.L. **External and internal wind pressures on cladding of buildings, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory**. The University of Western Ontario in London, Ontario: s/e 1982.

24. DUARTE, R. N. C. **Um modelo para transmissão de doenças em interiores via aerossóis respiratórios.** Tese de Doutorado em Engenharia - especialidade Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis, SC: s/e, 2003.
25. EVANS, B. H. **Natural Air Flow Around Buildings.** Texas Engineering Experiment Station, Research Report 59, March. College Station, TX: Texas A&M Univ., 1957.
26. FERREIRA, C. C. e ASSIS, E. S. **Comparação entre um modelo empírico e teórico para a estimativa da ventilação em ambientes interiores.** IX encontro nacional e V latino Americano de Conforto no ambiente Construído em Ouro preto, MG: s/e, 2007.
27. FOLZ, R. R. **Mobiliário na Habitação Popular.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de São Paulo em São Carlos, SP: s/e, 2002.
28. GIVONI, B. e GOLDMANN, R. F. **Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing.** Journal Applied Physiology. 32: s/e, 1972.
29. GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** London: Applied Science, 1976.
30. GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings.** New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1998.
31. GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** Wiley, USA: s/e, 1998.
32. GROSSO, M.; MARINO, D. e PARISI, E. **A wind pressure distribution calculation program for multizone airflow model. Building Simulation.** Environmental Science and Technology Department Polytechnic University of Turin, Italia: S/e, 1995.

33. HARE, M. e KRONAUER, R. E. **Fence designs to keep wind from being a nuisance.** Architecture Rec., 1969.
34. HOLMES, J. D. **Wind loads on low rise buildings: The structure and environmental effects of wind on building and structures.**, Australia: s/e, 1986.
35. JACKMAN, C. H.; FREDERICK, J. E. e STOLARSKI, R. S. **Production of odd nitrogen in the stratosphere and mesosphere: An intercomparison of source strengths.** Journal Geophys. Res., 85: s/e, 1980.
36. KASPER, F. R, S. **Modelagem computacional de motores à combustão interna por técnicas de fluidodinâmica computacional (CFD).** Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Química Universidade Estadual de Campinas em Campinas, SP: s/e, 2003.
37. KIM K.C. e YOON S. Y. **PIV Measurements of the Flow Turbulente Characteristics of a Round Jet in Crossflow.** Journal of Visualization 3, 157-164. (2000).
38. KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOU, T. G.; MAYHEW, A. e SZOKOLAY, S. U. **Vivendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.** Madri: Paraninfo, 1977.
39. KOWALTOWSKI, D. C. C. K; PINA, A. M. G. P.; RUSCHEL, R. C. e OLIVEIRA, P. V. H. **Uma metodologia de projeto para a casa popular na cidade de campinas-SP.** Projeto de Iniciação científica da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo, UNICAMP em Campinas, SP: s/e, 1995.
40. KOWALTOWSKI, D.C.C.K, LABAKI, L. C.; PINA, S. A. M; BERTOLI, S. R., RUSCHEL, R. C.; FAVERO E.; FRANCISCO, L.; GOMES, V. S.. **“Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos**

**aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida**”, relatório parcial de projeto de pesquisa FINEP, processo 2412/00 programa de Tecnologia de habitação/HABITARE, referente ao período de 19/09/02 a 19/04/03.

41. KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PINA, S. A. M. G. e RUSCHEL, R. C. **Elementos sociais e culturais da casa popular em Campinas**. Relatório Científico, FEC / UNICAMP em Campinas, SP: s/e, 1995.
42. KOWALTOWSKI, D. C. C. K; Coord. **Transferência de inovação tecnológica na autoconstrução de moradias**. Projeto de pesquisa FEC da UNICAMP em Campinas, SP: s/e, 1997
43. KOWALTOWSKI, D.C.C.W; PINA, S. A.M.G, **“Transformações de Casas Populares, uma Avaliação”**, III encontro nacional e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, RS, 1995.
44. KOWALTOWSKI, D. C. C. K; LABAKI, L. C.; PINA, S. A. M.; BERTOLI, S. R.; RUSCHEL, R. C.; FAVERO, E.; FRANCISCO, L. e GOMES, V. S. **Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: Ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida**. Relatório parcial de projeto de pesquisa FINEP do programa de Tecnologia de habitação/HABITARE: s/e, referente ao período de 19/09/02 a 19/04/03.
45. KRÜGER, E. L. **Ventilação Natural em uma casa popular padrão COHAB: Avaliação das taxas de ventilação para diferentes tipos de orientação e abertura**. V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído em Fortaleza, CE: s/e, 1999.

46. LAM K.C. e BREMHORST K.A. **A Modified Form of the  $\kappa$ - $\epsilon$  Model for Predicting Wall Turbulence.** *Journal of Fluids Engineering* **103**. 456-460.
47. LIDDAMENT, M. **Air Infiltration Calculation Techniques.** Applications Guide No. 1. Air Infiltration and Ventilation Centre: s/e, 1983.
48. LOBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. S. B. e CRUZ, J. M. **A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos** Projeto de pesquisa CETEC da Universidade Federal de Alagoas, AL: s/e, 2001.
49. LUDWIG J. C. **PHOENICS 3.6.0 Hard-copy documentation. PHOENICS-VR reference guide.** London: CHAM, 2004.
50. MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional.** Livros Téc. e Cient. Editora, 2004.
51. MASCARÒ, J. L. **Manual de loteamentos e urbanização.** Porto Alegre, RS: Sagra Luzzatto, 1997.
52. MASCARÒ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas.** Porto Alegre, RS: s/e, 2004.
53. MATOS, M.; WESTPHAL, F. S. e LAMBERTS, R. **Análise de área de abertura para a cidade de Florianópolis utilizando o programa COMIS/ENERGYPLUS.** VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído em Maceió, AL: s/e, 2005.
54. MELARAGNO, M. G. **Wind in Architectural and Environmental Design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

55. NEGRÃO, C. O. R. **Conflation of Computational Fluid Dynamics and Building Thermal Simulation.** Tese de doutoramento em Engenharia Mecânica, University of Strathclyde, Escócia: TRATHCLYDE, 1995.
56. OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** Routledge: 2ªEd., 1987.
57. OLGAYAY, V. **Design with climate-Bioclimatic approach to architectural regionalism: some chapters based on cooperative research with Aladar Olgyay.** Princeton University, Princeton, United States: s/e, 1963.
58. OLIVEIRA, M. C. A., LABAKI, L. C., MONTEIRO, E. Z., KOWALTOWSKI, **Ventilation in self-built houses in Brazil: desirable but undervalued thermal comfort element.** Plea: s/e, 2005.
59. OLIVEIRA M. C. A., LABAKI, L. C., MORENO M. M., **Vegetação e ventilação na autoconstrução no bairro de São Luiz da cidade de Campinas /SP.** Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis, SC: s/e, 2006.
60. PATANKAR, S. V. **Numerical heat transfer and fluid flow.** New York: McGraw Hill, 1980.
61. PINHEIRO, Fundação João Pinheiro. **Dados revisados pela Fundação João Pinheiro, baseados no Censo 2000.** Fund. João Pinheiro: s/e, 2005.
62. PULL E OKE, T. R, **Boundary Layer Climates**, 2nd ed., Methuen, Londres, 1987
63. ROBINETTE, G. O. **Plants, People and Environmental Quality: a Study of Plants and their Environmental Functions. Series: Housing and Urban Affairs.** Washington, DC: U.S. Dept. of the Interior, National Park service, and American Society of Landscape Architects Foundation, 1972.

64. SANTAMOURIS, M. **Prediction methods. Natural Ventilation in Buildings: a design handbook.** United Kingdom: James X James, 1998.
65. SANTOS, C. H. **Políticas Federais para Habitação no Brasil: 1964-1998.** Brasília, DF: s/e, 1999.
66. SARAIVA, J. A. G.; SILVA, F. V. M. e SANTOS, P. R. P. **Taxas de renovação de ar em condições de ventilação cruzada em apartamentos de tipologia simples.** V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído em Fortaleza, CE: s/e, 1999.
67. SCHNEIDER, P. S. **Técnicas de avaliação de programas de simulação do comportamento térmico das edificações.** III Encontro nacional e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC em Gramado, RS: s/e, 1995.
68. SOUZA, N. M.; SILVA, D. F. G.; CARDOSO, L. J. R. e SOUZA, H. A. **Estudo da ventilação, natural e cruzada, num ambiente típico por meio de simulação numérica.** IX encontro nacional e V encontro Latino Americano de Conforto no ambiente Construído, ENCAC em Ouro Preto, MG: s/e, 2007.
69. STULL, R.B. **An Introduction into Boundary Layer Meteorology.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands: s/e, 1988.
70. SWAMI, M. V. e CHANDRA, S. **Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow. ASHRAE transactions.** American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, Dallas, USA: Winter meeting, vol. 94, 1988.

71. TRINDADE, D. L. **O desenho Urbano de Palmas. Dissertação de Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído**, USP em São Carlos, SP: s/e, 1999.
72. TORRES, S.; CÂNDIDO, C. M.; BARBIRATO, G. M. e PASSOS, I. C. S. **Avaliação climática de arranjos construtivos urbanos: um estudo de caso em conjunto habitacional vertical em Maceió/AL**. Anais do VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído em Maceió, AL: s/e, 2005.
73. TORRES, S.; CÂNDIDO, C. M.; BARBIRATO, G. M. e PASSOS, I. C. S. **Avaliação computacional do aproveitamento da ventilação natural em ambientes internos: um estudo comparativo a partir de configurações urbanas diferenciadas em Maceió/AL**. Anais do IX encontro nacional e V encontro Latino Americano de Conforto no ambiente Construído, ENCAC, Ouro Preto, MG: s/e, 2007.
74. WATRIN, V. R. **O significado da tradição na autoconstrução de moradias**. Dissertação de mestrado entregue a Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP, Campinas, SP: s/e, 2003
75. TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN**. Natal/RN, 2006.136 f.Orientador: Aldomar Pedrini.Co-orientador: Raimundo Nonato C. Duarte.Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura eUrbanismo
76. WATRIN, V. e KOWALTOWSKI, D. **Arquitetura Autoconstruída e Tradição**. Encontro Nacional do Ambiente Construído, ENCAC em São Carlos, SP: s/e, 2003.

77. WEI, L.; WANG, F. e Bell, S. **Windbreak sheltering effects on outdoor open space.** Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands: s/e, 2003.
78. WILSON, A.G e TAMURA, G.T. **Pressure different for a nine story building as a result of chimney effect and ventilation system operation.** ASHRAE Transactions 72(1): s/e, 1966.

## **Mídia eletrônica**

79. GANZAROLLI, M. M. e ROSA, E. S. “Aulas” Disponível em:  
**[http://www.fem.unicamp.br/~PHOENICS/AULAS/AULA2/aula2\\_arquivos/frame.htm](http://www.fem.unicamp.br/~PHOENICS/AULAS/AULA2/aula2_arquivos/frame.htm)**  
m: Acessado em: Jan. de 2007.
80. MARICATO, E. e FERREIRA, J. S. W. Estatuto da Cidade: essa lei vai pegar?.  
Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. Disponível em:  
**<http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab>**. Acessado em: 06 de Nov. de 2005.
81. WANG et. Al., Modelling Airflow in Urban Open Space. Disponível em:  
**Z:\atalhos\Modelling Airflow in Urban Open Space.mht**. Acessado em: Jan. de 2007.