

## **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA VENTILAÇÃO NOS CONJUNTOS HABITACIONAIS UNIFAMILIARES POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLÚIDOS (CFD), NA CIDADE DE NATAL/RN**

**Natália Queiroz (1); Rayssa Oliveira (2); Angela Lucia Ferreira (3); Aldomar Pedrini (4)**

(1) Bolsista de IC do LabCon/UFRN, natalia\_fq@yahoo.com.br

(2) Graduanda do Curso de Arquitetura e Urbanismo/UFRN, raycris@hotmail.com

(3) Dra. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, angela.ferreira@pq.cnpq.br

(4) Ph.D. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, apedrini@ufrnet.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Laboratório de Conforto Ambiental, Departamento de Arquitetura, Campos Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Tel: 84 32153722.

### **RESUMO**

A ventilação é a principal estratégia para obter conforto térmico em Natal-RN, principalmente em conjuntos habitacionais de baixa renda, pois é eficaz e livre de custos de manutenção. Em Natal, esses projetos foram iniciados no final dos anos 1960 e, devido à falta de diretrizes, muitos deles apresentam desarticulação entre o seu sistema viário e o entorno, sem considerar as estratégias bioclimáticas, em especial a ventilação natural. Diante do quadro, o artigo aborda o comportamento da ventilação natural de uma amostra da morfologia recorrente nos conjuntos habitacionais unifamiliares em Natal-RN, visando a análise do impacto da morfologia urbana na ventilação natural das residências. Os procedimentos adotados na pesquisa consistem no levantamento de dados para caracterização das morfologias urbanas e arquitetônicas locais, seguido de simulações computacionais de fluidos utilizando o software Phoenics 3.5 e cálculos complementares.

Palavras-chave: conjuntos habitacionais; ventilação natural; CFD; Phoenics

### **ABSTRACT**

Ventilation is the main strategy to archive thermal comfort in Natal-RN, mainly in housing communities of lower income class because it is effective and free of maintenance costs. In Natal-RN, these projects were initiated in the late 60's and, due to the lack of guidelines, mostly of them are disarticulated in relation to the road system and its surroundings, and do not consider natural ventilation. The article discusses the behavior of natural ventilation into the housing communities of Natal-RN, in order to understand how the urban morphology influences on natural ventilation inside the homes. The procedures adopted in the research are survey data to model urban and architectural morphology, and simulations using computational fluid dynamics with Phoenics 3.5 software and complementary calculations.

Keywords: housing communities; natural ventilation, CFD; Phoenics

### **1. INTRODUÇÃO**

A ventilação natural é considerada uma das principais estratégias bioclimáticas para a cidade de Natal-RN (latitude de 5° 47' S). Segundo o ano climático de referência possui clima é quente e úmido com temperaturas entre 19 e 33°C e umidades frequentemente acima de 60%. Há ocorrência de vento na maioria das horas do ano, com incidência entre 90 e 180° de azimute. Portanto, o movimento do ar de até 2 m/s é suficiente para promover conforto térmico durante quase todo o ano, se a temperatura operativa for próxima da temperatura do ar registrada nas estações climatológicas.

Devido ao potencial de aplicação da ventilação natural no ambiente construído em Natal, é importante considerá-lo na tomada de decisões de projetos de edificações que não intencionam fazer uso do condicionador de ar, como é o caso das populações de baixa renda.

As edificações para a população de baixa renda são resultados de programas de interesse social para atender a carência de moradia a exemplo dos conjuntos habitacionais de Natal. Muitos desses projetos foram

iniciados no final dos anos 1960 e coordenados pelo Banco Nacional da Habitação (BNH), sob orientação do governo federal. Foram implementados para suprir a insuficiência de moradia causada pelo fluxo migratório e pelo crescimento populacional. Nesta época, não existia plano diretor para orientar o crescimento da cidade e a maioria dos conjuntos habitacionais implantados seguiu a Lei nº 6.766/71. Por isso, muitos desses conjuntos apresentam desarticulação entre o seu sistema viário e as áreas do entorno. Somente com o Plano Diretor de 1984 surgiram diretrizes para ordenamento dos instrumentos de apoio à moradia e a terra, porém nenhum deles refere-se à importância de estratégias passivas de condicionamento ambiental no planejamento urbano, em especial a ventilação natural (SILVA, 200\_ ; GOIS, 2002).

Esse artigo descreve as análises do comportamento da ventilação natural no ambiente construído dos conjuntos habitacionais unifamiliares de Natal por meio de simulações em programas de dinâmica computacional de fluidos e de cálculos complementares, considerando relações entre o traçado urbano, a implantação das casas nos terrenos e a densidade construtiva.

O programa de simulação é o PHOENICS 3.5 (CHAM, 2005), que é um pacote para uso geral em diversas aplicações, que simula desde escoamentos de fluidos, a reações químicas e físicas, além de tensões em sólidos imersos. O software tem sido utilizado pelo LabCon/UFRN desde 1998 para simulação do escoamento do ar no exterior e no interior de edificações (TRINDADE, 2006).

## 2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é analisar o comportamento da ventilação na morfologia urbana recorrente nos conjuntos habitacionais unifamiliares usando o software Phoenix 3.5, verificar o potencial de ventilação de suas casas e localizar as habitações prejudicadas.

## 3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos consistem de três etapas: o levantamento de informações para caracterização das morfologias urbanas e arquitetônicas; a modelagem e as simulações computacionais; o cálculo das diferenças de pressão e das taxas de renovação de ar de 40 casas.

### 3.1. Levantamento de dados e caracterização das morfologias recorrentes

A caracterização das morfologias recorrentes dos conjuntos habitacionais unifamiliares na região metropolitana de Natal foi realizada através de visitas de campo, fotometria aérea e de satélite, visitas a COOPHAB/RN (Cooperativa de Habitação) e plantas baixas dos empreendimentos. Avaliaram-se os partidos arquitetônicos e a implantação das unidades residenciais mais comuns encontrados nesses assentamentos. Baseado na constatação morfológica, modelos representativos de conjuntos habitacionais unifamiliares foram determinados.

#### 3.1.1. Morfologia urbana

A organização do espaço urbano da maioria dos conjuntos habitacionais na região metropolitana de Natal possui distribuição viária em forma de grelha, onde se definem os elementos morfológicos estruturantes do espaço urbano, que correspondem às quadras e às ruas dos conjuntos. Os conjuntos que ainda preservam características originais estão localizados na periferia, afastados da malha urbana adensada (Figura 01).

As dimensões das quadras (geralmente em formato retangular) e o comprimento das ruas variam principalmente devido à configuração do terreno. O dimensionamento do lote e a largura das ruas são comuns com módulos de 10m, e dimensões de lote de 10m x 20m. As vias possuem 7m, com 3m destinados às calçadas. Completando o cenário morfológico urbano, há a obrigatoriedade das áreas livres e permeáveis, normalmente preenchidas por espaços de vegetação somados a equipamentos como quadra poliesportiva, posto policial, centro de saúde, escolas e praças.



Figura 1. Conjunto habitacional Parque Zona Sul, Parnamirim/ RN. Fonte: MORAIS, 2004.

<sup>1</sup> Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.

### 3.1.1..Morfologia arquitetônica

A análise dos 12 agrupamentos demonstrou um padrão na organização espacial das residências caracterizado por um programa de necessidades simplificado, entre um e três quartos, banheiro, sala e cozinha, e uma pequena varanda ou sacada em alguns casos. As soluções arquitetônicas adotadas são conseqüentes da variação dimensional e no grau de complexidade na construção, interferindo no padrão e custos da produção (MORAIS, 2004). As ilustrações 2 e 3 representam as tipologias com ocorrências mais comuns, sendo as escolhas das mesmas definida partir da consideração das características espaciais predominantes, dimensões e quantificação dos ambientes, implantação no lote e relação com os lotes vizinhos. De maneira geral, as casas são isoladas em quadras longitudinais com muro baixo no fechamento e acesso por lote, com área descoberta para garagem. A área total de cada residência pode variar em função do número de dormitórios, entre 37,7m<sup>2</sup> e 73,3m<sup>2</sup>.



Figura 2. Residencial Cidade dos jardins, Parnamirim/ RN.  
Fonte: www.coophab.com.br



Figura 3. Conjunto habitacional Jardim Planalto, Natal/ RN.  
Fonte: MORAIS, 2004.

### 3.2. Modelagem e simulações computacionais

Foram elaborados dois modelos genéricos (Modelo 1 e Modelo 2), representando um conjunto habitacional de aproximadamente 120 casas. A diferença entre os dois modelos é a localização da área não edificada. A área de lazer encontra-se no centro da configuração urbana no Modelo 1 (Figura 4) , enquanto no Modelo 2 está localizada na periferia (Figura 5). As principais características comuns são:

- configuração viária em forma de grelha, com quadras longitudinais e orientações distribuídas ora em paralelo e ora em perpendicular;
- vias de circulação com 7 m de largura e calçadas de 1,5 m;
- 116 lotes com dimensão de 10 x 20 m<sup>2</sup> e área construída de 51 m<sup>2</sup>;
- área de lazer com 20 x 40 m<sup>2</sup>;

Optou-se pelo uso do equipamento urbano, de uma quadra poliesportiva inserido no conjunto, pois foi observada uma ocorrência freqüente desses espaços. Em ambos os modelos foram analisadas 40 residências localizadas em lotes distribuídos uniformemente pela malha urbana. Elas foram numeradas nas ilustrações 4 e 5 para identificação posterior nos gráficos, tabelas e análises dos resultados.



Figura 4. Modelo 1..



Figura 5. Modelo 2.

Além dos modelos da configuração urbana, foi definido um modelo arquitetônico simplificado baseado nas morfologias encontradas em constatações anteriores. A simplificação visa destacar apenas as principais variáveis geométricas que influenciam no cálculo do potencial de ventilação. O partido arquitetônico apresenta cobertura de duas águas e volume de base retangular, com dimensões de 6,80 X 7,5 m<sup>2</sup>, numa área construída de 51 m<sup>2</sup>. As aberturas de entrada e saída de ar são localizadas em faces opostas, cada uma com dimensões 1,20 m x 1,00 m, área de 1,2 m<sup>2</sup>, e peitoril de 1,00 m. Os recuos adotados obedecem ao Plano Diretor da cidade de Natal que adota um mínimo lateral de 1,5 m<sup>2</sup>. No recuo frontal, foi adotada a dimensão mínima para a colocação de um carro, de 5 m.

As condições de contorno para simulações de CFD buscaram reproduzir situações representativas de velocidade média do vento e orientações predominantes para a região metropolitana de Natal, RN. Optou pelas determinadas por Trindade (2006), com base nos dados do Aeroporto Internacional Augusto Severo,

entre os dias 12/08/2002 e 12/08/2005, num total de 36 meses contínuos. Consideraram-se as incidências de maior predominância e calculou-se sua média ponderada, resultando em 6,6 m/s. Como as medições correspondem a uma altura de 10 m, em terreno com pouca influência do entorno, foi necessário corrigir as velocidades para as condições de configuração urbana encontradas em subúrbios. Utilizando a equação de correção para o perfil vertical de velocidade da ASHRAE (Eq. 1; Eq. 2), obteve-se a velocidade média de 2,33 m/s.

$$U_e = C_T U_m \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C_T = A_o \left( \frac{H_e}{H_m} \right)^a \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo

onde

U<sub>e</sub>: velocidade na altura da abertura

U<sub>m</sub>: velocidade medida na estação meteorológica

C<sub>T</sub>: Tipo de entorno

A<sub>o</sub>: constante que depende do tipo do terreno.

a: expoente do perfil de velocidade.

Z<sub>o</sub>: altura da rugosidade típica, equivalente a 3% da altura do maior elemento de rugosidade.

H<sub>e</sub>: altura em que se quer conhecer a velocidade

H<sub>m</sub>: altura de medição da estação

classe	A <sub>o</sub>	a	descrição
1	1	0,15	aeroporto, Z <sub>o</sub> = 3 cm
2	0,6	0,28	subúrbio, Z <sub>o</sub> = 30 cm
3	0,35	0,4	centro, Z <sub>o</sub> = 300 cm

Quadro 1 - Modelo de correção da velocidade ASHRAE com destaque para os coeficientes de terreno usados nas simulações.

Como os elementos urbanos influenciam a direção do vento em relação ao da estação climatológica sem que seja possível corrigi-la e como os conjuntos habitacionais possuem azimutes diversos, optou-se por simular três direções de vento para cada caso modelado: fluxo ortogonal longitudinal, ortogonal com incidência transversal e um fluxo com incidência oblíqua à malha urbana.

O domínio adotado considerou a capacidade de processamento do programa e do microcomputador e o tamanho do conjunto habitacional (140 m x 210 m x 3 m). Foi adotado um domínio de 200 m de largura, 330 m de comprimento e 30 m de altura, com entradas do fluxo do ar (inlets) e as saídas (outlets) de acordo com cada caso. Como o programa apresenta limitações no refinamento de malha, esta foi simplificada gradativamente até viabilizar a simulação, resultando em células com dimensões de 60 cm dentro do conjunto e dimensões 1,5 m nas bordas do domínio. Optou-se pelo uso de um algoritmo bastante difundido para simulações de escoamento turbulento, o variante do modelo Kε, o RNG. O modelo Kε inclui duas equações para representar as propriedades do fluxo. Elas descreveriam efeitos como convecção e dispersão da energia turbulenta. A primeira variável é K - energia cinética turbulenta. A segunda variável é ε - dissipação da turbulência. Sua variante, o RNG- Kε, se difere do modelo padrão porque considera os efeitos das pequenas escalas em fenômenos distribuídos em grandes escalas (CHAM, 2005).

Uma simulação tende a ser aceita quando converge. O Phoenix 3.5 utiliza métodos de controle da convergência, como os números de relaxação que diminuem a quantidade de correções durante a simulação e são predefinidos pelo usuário. Utiliza métodos para verificação da convergência através do gráfico de valores e de resíduos do ponto de referencia (*probe*) e através da análise do arquivo Result. Uma simulação convergida deve apresentar o gráfico de valores do ponto de referencia com tendência ao paralelismo indicando que não está mais variando e deve apresentar o gráfico de resíduos com tendência a queda. O arquivo *result* disponibiliza o somatório de todos os resíduos da simulação (*res sum*) e o somatório de massa que entra (*pos. sum*). Para calcular o percentual de erro da simulação para cada variável deve-se dividir o *res sum* e o *pos sum*. Segundo Cham (2004), um percentual em torno de 0,9% é considerado aceitável para convergência para arquitetura. As tabelas e imagens a seguir apresentam as configurações usadas, as saídas gráficas e o *result* de uma simulação representativa.

**Tabela 01. Configurações gerais das simulações.**

Modelo de turbulência	RNG - Kε
Número de interações	6000
Números de relaxação	P1= -1,00; U1= 0,70; V1=0,50; W1=0,30; Ke , Ep = -0,50
Resfac	0,010
Posição do Probe	X= 255; Y= 155; Z=0,35



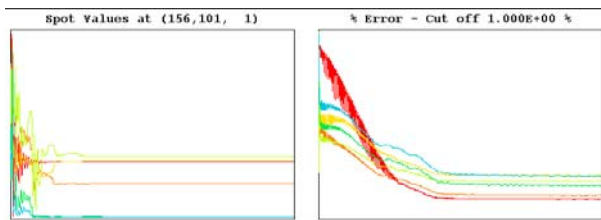


Figura 6. Gráfico de valores e de resíduos no probe de uma simulação. Fonte: Phoenics 3.5

Tabela 02. Percentual de erro de uma simulação.

Variável	Pos. sum	Res sum	% de erro
U1	4.92E+01	3.49E-01	0.7092%
V1	4.26E+04	5.70E+00	0.0134%
W1	2.59E+02	1.12E+00	0.4346%
R1	1.83E+04	5.31E+00	0.0290%
KE	2.48E+02	1.56E-01	0.0629%
EP	2.84E+02	2.83E-02	0.0100%

Fonte: Arquivo Result, Phoenics 3.5

Ao final, foram seis simulações de aproximadamente oito horas, somando um total de 48 horas de simulações convergidas para análise. As seis simulações apresentam a modelagem dos dois modelos adotados sob três incidências de fluxo cada (duas ortogonais e uma oblíqua) conforme a seguinte divisão:

- Fluxo com incidência transversal a malha urbana (conjunto 01)
- Fluxo com incidência longitudinal a malha urbana (conjunto 01)
- Fluxo com incidência oblíqua a malha urbana (conjunto 01)
- Fluxo com incidência transversal a malha urbana (conjunto 02)
- Fluxo com incidência longitudinal a malha urbana (conjunto 02)
- Fluxo com incidência oblíqua a malha urbana (conjunto 02).

### 3.3. Cálculo das diferenças de pressão e taxas de renovação de ar interno

As diferenças entre coeficientes de pressão ( $c_p$ ) nas fachadas analisadas são calculadas por meio da equação 3 (BITTENCOURT, 2005), cujos valores são obtidos por meio de simulação no Phoenics e corresponde a oitenta pontos nas fachadas frontais e posteriores das unidades habitacionais. As taxas de renovação de ar são calculadas por meio da equação 4 (BITTENCOURT, 2005) e empregou 480 pontos organizados em uma planilha eletrônica.

$$Cp = \frac{2 \cdot q_{real}}{v^2 \cdot \rho} \quad \text{eq.03}$$

$$Q = \frac{(Cp_1 - Cp_{n+1})V_z^2}{\frac{1}{Cd_1^2 A_1^2} + \frac{1}{Cd_2^2 A_2^2} + \dots + \frac{1}{Cd_n^2 A_n^2}} \quad \text{eq.04}$$

Onde:

$q$  = pressão dinâmica (Pa);

$q_{real}$  = Pressão dinâmica real (Pa);

$c_p$  = Coeficiente de pressão

$\rho$  = densidade do ar ( $\text{Kg/m}^3$ );

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

Onde:

$Q$  = Taxa do fluxo de ar ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$Cp_1$  = coeficiente de pressão na abertura de entrada.

$Cp_{n+1}$  = coeficiente de pressão na abertura de saída.

$V_z$  = velocidade de referência do vento ao nível da abertura (m/s).

$Cd_1$  = coeficiente de descarga na entrada.

$A_1$  = área de entrada da abertura ( $\text{m}^2$ ) multiplicada pelo cosseno do ângulo de incidência do vento.

$Cd_2$  = coeficiente de descarga para aberturas internas.

$A_2$  = área de abertura interna ( $\text{m}^2$ ).

$Cd_n$  = coeficiente de descarga na saída.

$A_n$  = área de saída ( $\text{m}^2$ ).

Fonte: BITTENCOURT, 2005

Fonte: BITTENCOURT, 2005

As demais variáveis relacionadas à obtenção do valor final das diferenças dos coeficientes de pressão e número de renovações de ar, foram:

- densidade do ar de  $1,18 \text{ kg/m}^3$ ;
- azimutes de incidência de  $0^\circ$  para casas voltadas a incidência do vento,  $90^\circ$  para casas perpendiculares às anteriores e  $45^\circ$  para as casas oblíquas à direção do vento
- média das velocidades climáticas adotadas de  $6,6 \text{ m/s}$ ;
- altura de análise de  $1,5 \text{ m}$ ;
- caracterização do entorno do tipo subúrbio;
- correção da velocidade para a altura de análise e característica do entorno para  $2,33 \text{ m/s}$ ;
- volume interno das casas analisadas de  $143 \text{ m}^3$ ;
- áreas das aberturas de entrada e de saída de  $1,2$  e  $2,5 \text{ m}^2$  ;
- coeficiente de descarga de  $0,6$ .

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Fluxo com incidência transversal a malha urbana (modelo 01).

Observa-se que o desempenho de diversas casas localizadas no interior do conjunto apresentam baixas taxas de renovação de ar, inferiores a 35 trocas/h (gráfico 1) ainda que apresentem diferenças dos coeficientes de pressão favoráveis, de até 132%. As baixas taxas de renovações são atribuídas às pequenas áreas de aberturas de entrada e saída de ar dos modelos arquitetônicos.

O aumento das áreas de abertura de entrada e saída de ar para 2,5 m<sup>2</sup> proporcionam a duplicação das taxas de renovação, atingindo valores de até 70 trocas/h (gráfico 2).

Observou-se uma alta amplitude nos resultados das casas com potencial de ventilação. A média aritmética de todos os resultados foi de 14 trocas/h e o desvio padrão foi 11,57.

A análise das casas com menores diferenças de coeficientes de pressão apresentam aberturas paralelas ao fluxo de ar. As taxas de renovação permanecem baixas mesmo com aumento das áreas das aberturas para 2,5 m<sup>2</sup>. A área livre composta pela quadra poliesportiva provocou um processo de retomada de pressão nas fachadas das casas imediatamente posteriores (Figura 7 e 8), e contribuiu para reduzir a esteira de ventos na área.

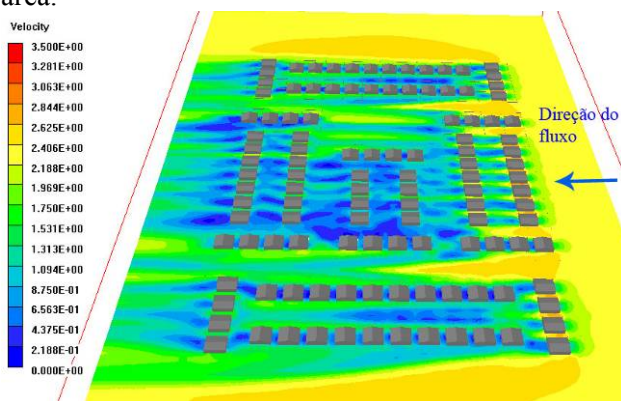


Figura 7. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

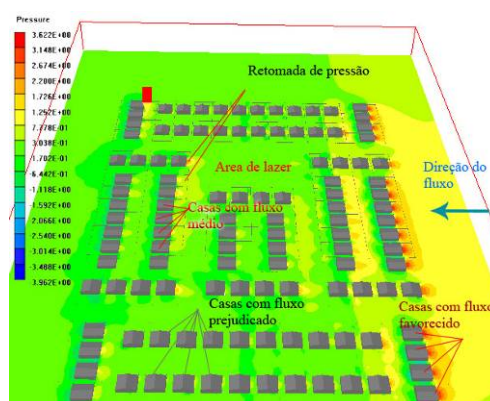


Figura 8. Campos de pressão na altura do centro das janelas.

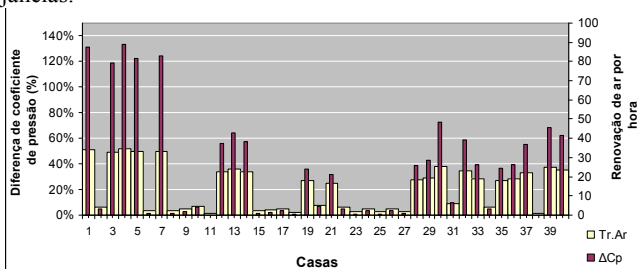


Gráfico 1. Potencial das 40 casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m<sup>2</sup>.

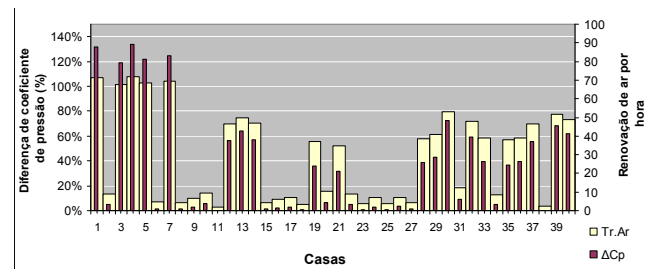


Gráfico 2. Potencial das 40 casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 2,5 m<sup>2</sup>.

### 4.2. Fluxo com incidência longitudinal a malha urbana (modelo 01).

Este caso apresentou o pior desempenho dentro das análises. As renovações horárias de ar são baixas como no caso anterior, inferiores a 33 (gráfico 3) devido às pequenas áreas de abertura, embora a diferença máxima dos coeficientes de pressão nas fachadas frontal e posterior tenha atingido até 123%. Com o aumento das áreas de aberturas de entrada e saída de ar para 2,5 m<sup>2</sup>, os fluxos de ar internos atingiram valores de até 69 trocas/h (gráfico 4). Neste caso também há grande amplitudes entre os resultados, sendo que as casas com resultados desfavoráveis na simulação com fluxo na transversal obtiveram os melhores resultados. Como no caso anterior, há casas com potencial de ventilação e outras que a diferença de coeficiente de pressão atinge um mínimo de 0%, A média aritmética dos resultados foi de 12 trocas/h e o desvio padrão foi de 21,57.

As casas desfavorecidas pela ventilação também são aquelas com aberturas paralelas à direção principal do fluxo. A área composta pela quadra poliesportiva provocou um processo de retomada de pressão nas fachadas das casas adjacentes, aumentando a diferença de pressão nas fachadas nessas casas (Figuras 9 e 10).

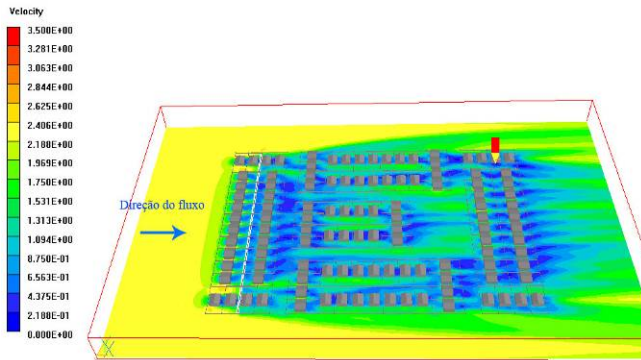


Figura 9. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

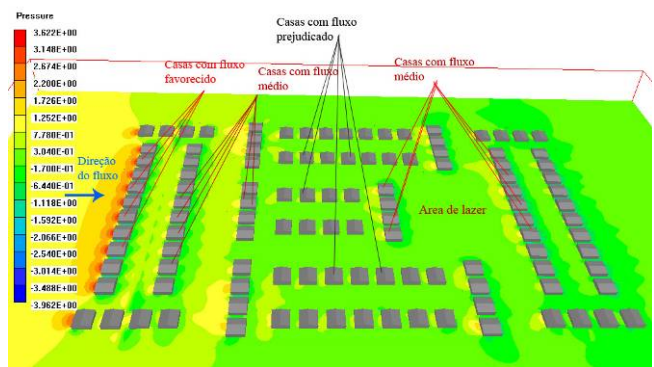


Figura 10. Campos de pressão na altura do centro das janelas.

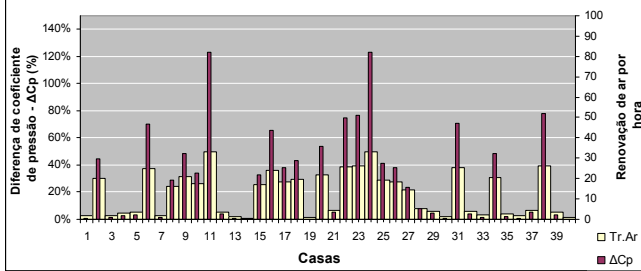


Gráfico 3. Potencial das 40 casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m².

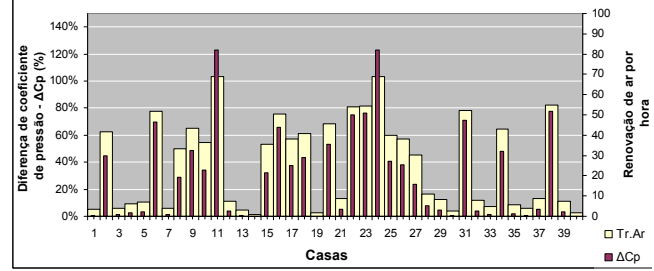


Gráfico 4. Potencial das 40 casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 2,5 m².

### 4.3. Fluxo com incidência oblíqua a malha urbana (modelo 01).

As renovações horárias de ar das casas analisadas são baixas, e apresentam desvio padrão e amplitude também pequenos, indicando desempenhos mais uniformes. O valor máximo de renovações foi de 22 trocas/h (gráfico 4) e a diferença dos coeficientes de pressão atingiu um valor máximo de 82%. O mínimo de renovações foi de 4,5 trocas/h. Com aumento das áreas de entrada e saída de ar para 2,5 m², os fluxos de ar internos aumentaram em todas as casas e atingiram um valor máximo de 46 trocas/h, e mínimo de 9 trocas/h (gráfico 5).

Os piores resultados foram encontrados nas casas nas esquinas das quadras opostas a direção do vento, onde na Figura 10 estão as sombras de vento (zonas mais escuras). A média aritmética dos resultados foi de 13 trocas/h e o desvio padrão foi 5,08. A área livre composta pela quadra poliesportiva não provocou diferença significativa de pressão nas fachadas das casas adjacentes (ilustrações 11 e 12).

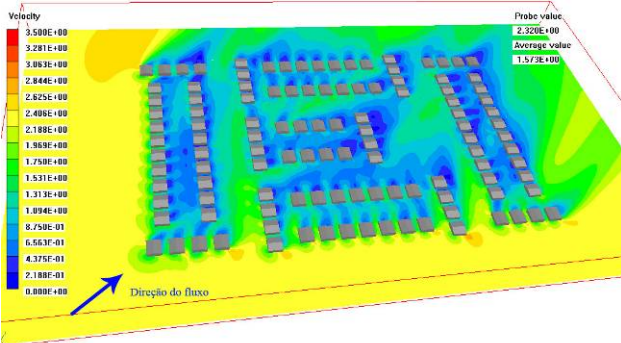


Figura 11. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

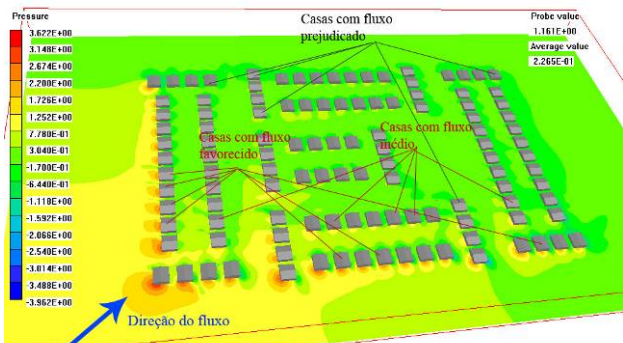


Figura 12. Campos de pressão na altura do centro das janelas.

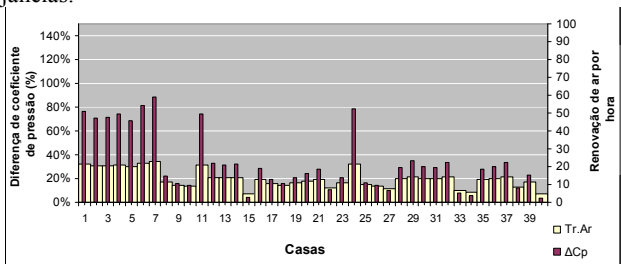


Gráfico 5. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m².

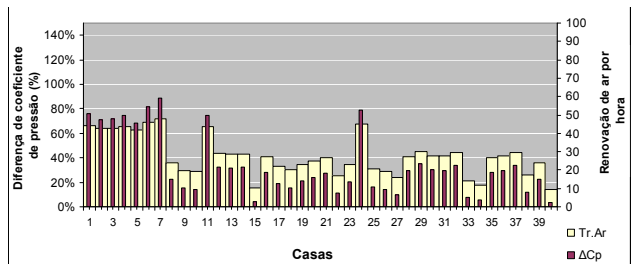


Gráfico 6. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 2,5 m².



#### 4.4. Fluxo com incidência transversal a malha urbana (modelo 02).

O desempenho de casas localizadas no interior do Modelo 2 possuem taxas de renovação de ar baixas, atingindo um valor máximo próximo de 35 trocas/h, e média aritmética de 12 trocas/h (gráfico 6). Todavia, a diferença dos coeficientes de pressão é favorável, atingindo valores na ordem de 130%. Quando se aumenta as áreas de abertura de entrada e saída para 2,5 m<sup>2</sup>, os fluxos de ar internos dobram, atingindo valores máximos acima de 70 trocas/h (gráfico 7).

Verifica-se novamente grande amplitude dos resultados das 40 residências: há casas com bom potencial de ventilação e valores altos na diferença de coeficientes de pressão, e outras com potencial insatisfatório e praticamente sem diferença de coeficiente de pressão. A área livre composta pela quadra poliesportiva e localizada na periferia da grelha não exerceu influência significativa, onde as fachadas das casas imediatamente posteriores possuem diferença de pressão menor do que àquelas que recebem ventilação na periferia (ilustrações 13 e 14).

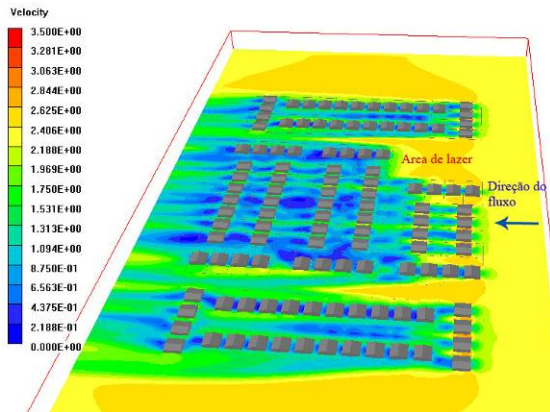


Figura 13. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

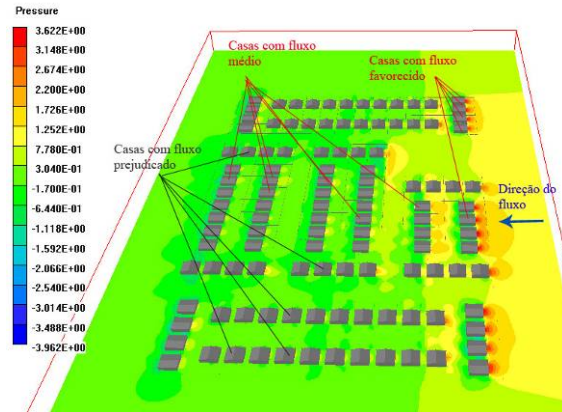


Figura 14. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

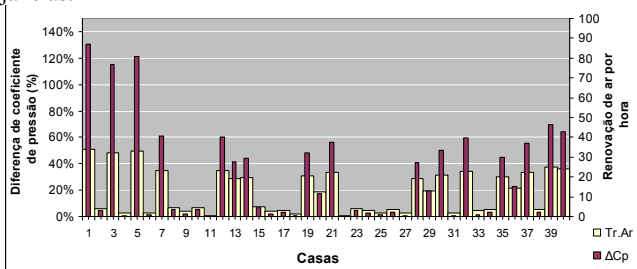


Gráfico 7. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m<sup>2</sup>.

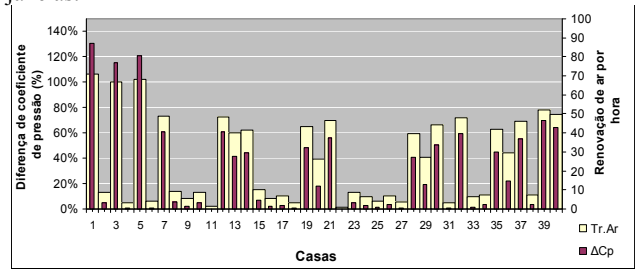


Gráfico 8. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m<sup>2</sup>.

#### 4.5. Fluxo com incidência longitudinal a malha urbana (modelo 02).

Os resultados da taxa de renovação de ar das casas escolhidas do modelo são baixos, inferiores a 32 trocas/h, e a diferença dos coeficientes de pressão atingiu um valor máximo de 116% (gráfico 9). O aumento das áreas para 2,5 m<sup>2</sup> favoreceram os fluxos de ar internos e dobraram a taxa de renovação, que passou a apresentar valores máximos superiores à 66 trocas/h (gráfico 10).

A grande amplitude dos resultados de taxa de renovação segue a mesma lógica dos casos anteriores. Algumas casas possuem um bom potencial de ventilação, outras apresentam potencial insatisfatório, chegando a atingir valores nulos de diferença dos coeficientes de pressão e, conseqüentemente, taxa de renovação inferior a 1 troca/hora. A média aritmética dos resultados foi de 13 trocas/h e o desvio padrão foi 10,13. As casas desfavorecidas apresentam janelas paralelas à direção principal do fluxo, semelhante aos casos apresentados com fluxo ortogonal. A área livre composta pela quadra poliesportiva e localizada na periferia da grelha proporcionou a retomada de pressão nas fachadas das casas imediatamente posteriores (ilustrações 15 e 16).



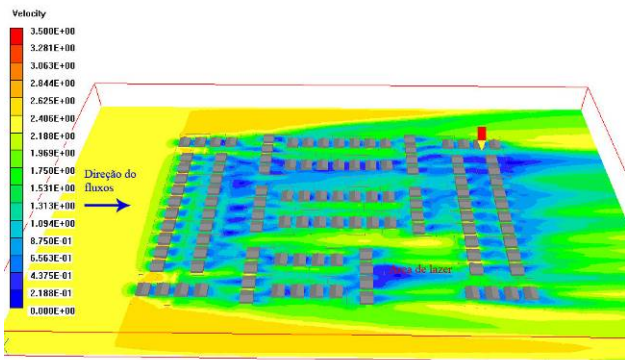


Figura 15. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

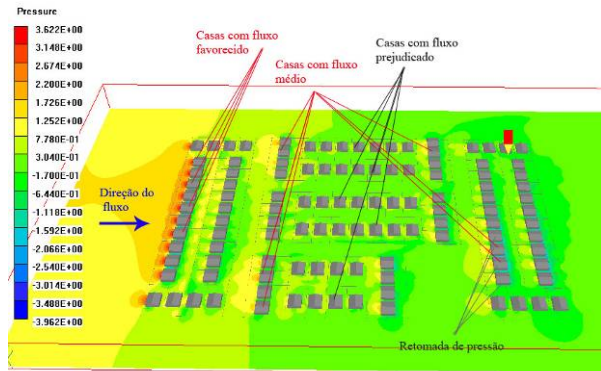


Figura 16. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

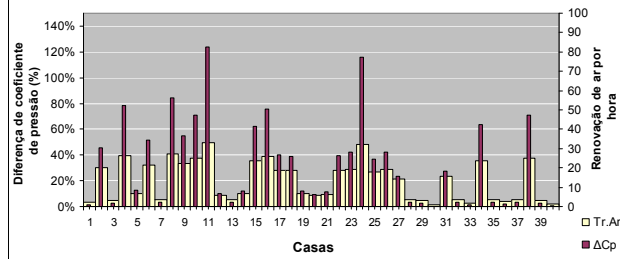


Gráfico 9. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m<sup>2</sup>.

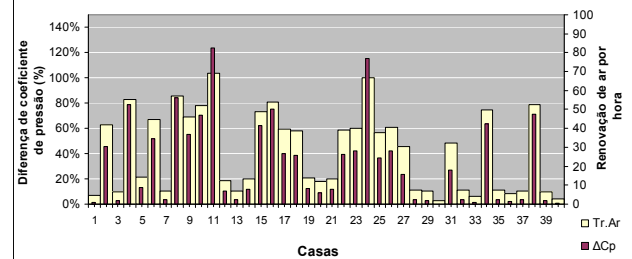


Gráfico 10. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de 1,2 m<sup>2</sup>.

#### 4.6. Fluxo com incidência oblíqua a malha urbana (modelo 02).

Os resultados de renovação de ar horário das casas analisadas são baixos, porém possuem um desvio padrão e amplitude menores dos que nos casos de incidência de fluxo ortogonal, apresentando valores mais uniformes. O resultado máximo de trocas/h foi em torno de 24 renovações e mínimo de 7 renovações (gráfico 11), a diferença dos coeficientes de pressão atingiu um valor máximo de 102% e mínimo inferior a 1%. Com aumento das áreas de entrada e saída de ar para 2,5 m<sup>2</sup>, a taxa de renovação variou entre 14 e 51 trocas/h (gráfico 12).

Verificou-se maior uniformidade nos resultados encontrados, sendo os piores referentes às casas localizadas nas esquinas opostas a direção do vento (Figuras 17 e 18). A média aritmética dos resultados foi de 15 trocas/h, sendo esta a maior média obtidas dentre os casos simulados, e o desvio padrão foi baixo, atingindo 4,36. Observa-se que a área livre composta pela quadra poliesportiva provocou diferença significativa de pressão nas fachadas das casas adjacentes.

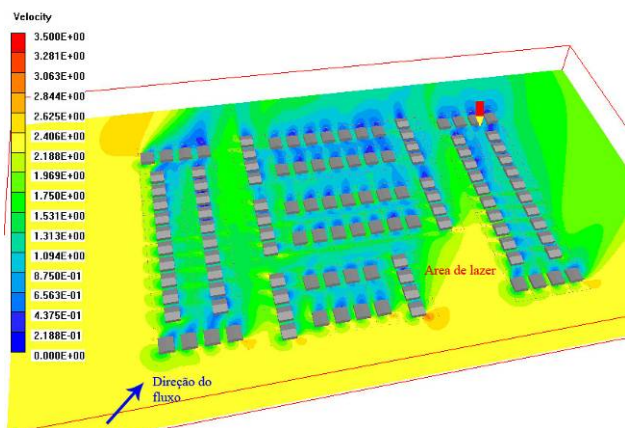


Figura 17. Distribuição do fluxo de ar na altura do centro das janelas.

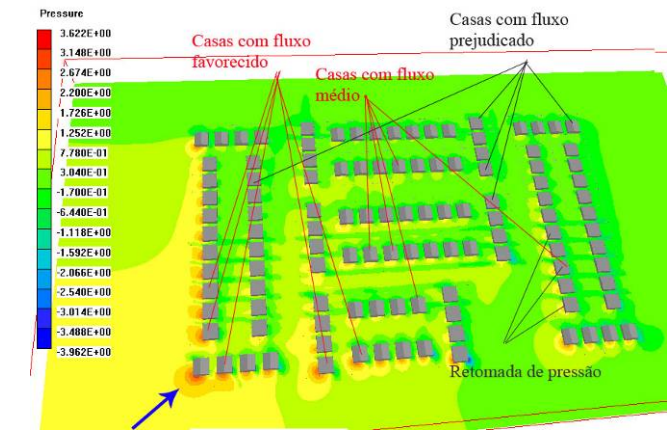


Figura 18. Campos de pressão na altura do centro das janelas..

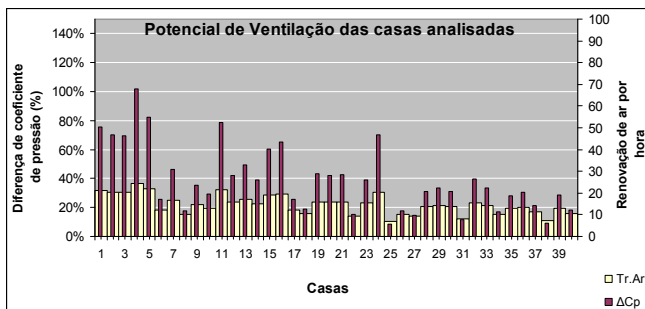


Gráfico 11. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de  $1,2 \text{ m}^2$ .

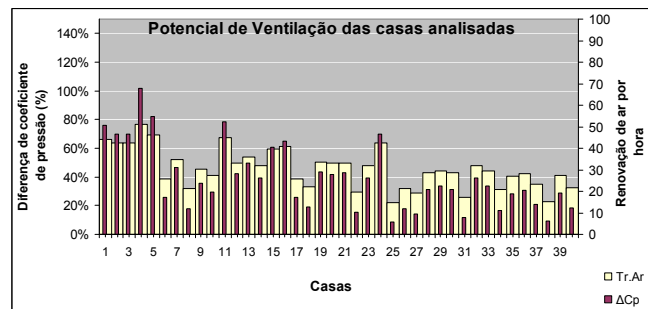


Gráfico 12. Potencial das quarenta casas analisadas com área de aberturas de entrada e saída de ar de  $1,2 \text{ m}^2$ .

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados das simulações mostraram que cada solução de desenho urbano apresenta especificidades, e que as estratégias para implantação da malha urbana devem considerar a incidência de ventos dominantes locais.

Segundo os resultados, os recuos frontais e posteriores adotados nos conjuntos habitacionais possibilitam o fluxo de ar na malha urbana, porém há zonas de estagnação de pressão. Os recuos laterais (1,5 m) se mostraram pequenos e insuficientes para o desenvolvimento do regime de ventos. Em muitos casos onde a fachada principal estava paralela a direção dos ventos, a inserção de aberturas nas laterais das casas não contribuiu para os índices de ventilação.

As simulações do vento incidindo ortogonalmente às quadras do conjunto e perpendicularmente às aberturas apresentaram índices elevados de ventilação. Porém, as casas que possuem fachada paralela a direção do fluxo (fluxo na direção da rua) apresentaram os piores índices de taxa de renovação de ar.

Nos casos com incidência oblíqua em relação à malha urbana, as simulações mostraram diferenças de pressão inferiores aos encontrados em incidências ortogonais. Estes casos apresentaram resultados mais uniformes e valores médios superiores aos casos ortogonais. Observou-se que com incidência oblíqua, as piores taxas de renovação do vento estão nas casas adjacentes às esquinas opostas a direção do vento.

Vale salientar, que esses resultados são conseqüências do partido urbano adotado nos conjuntos, com quadras distribuídas ora perpendicular, ora paralela entre si. Por isso, em etapas futuras pretende-se simular variações na distribuição das quadras.

## 6. REFERÊNCIAS

- American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **Fundamentals Handbook**. New York: ASHRAE, 2001. (pg. 04)
- BITTENCOURT, Leonardo. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2005. (pg.05)
- CHAM. **PHOENICS Frequently-Asked Questions; a selection**. 2004. (Pg. 02; 04)
- CHAM. **Phoenics 3.5**. London, 2005. (pg. 02)
- Gestão do uso do solo e disfunções do crescimento urbano: instrumentos de planejamento e gestão urbana: Belém, Natal e Recife / IPEA, USP, UFPA, UFPE**. Brasília: IPEA, 2001.(Pg. 01; 02)
- GOIS, Fabio Ricardo Silva; FERREIRA, Angela Lucia de Araujo; SOUZA, Rosa de Fátima Soares. Áreas públicas nos conjuntos habitacionais de Natal: quando o interesse (não) constrói o espaço. In: FERNADES, Edésio; RUGANI, Jurema Marteleto (org.). **Cidade, memória e legislação: a preservação do patrimônio na perspectiva do direito urbanístico**. Belo Horizonte: IAB/ MG, 2002. (Pg 01; 02)
- MORAIS, Maria Cristina de. **Cooperativa habitacional autofinanciável**. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004. (pg. 02; 03)
- PREFEITURA DE NATAL, **Plano Diretor da Cidade de Natal-RN**, 2004 (Pg. 02)
- SILVA, Anelino Francisco da. **Migração e crescimento urbano: uma reflexão sobre a cidade de Natal, Brasil**. Disponível em <<http://www.ub.es/geocrit/sn-94-74.htm>>. Acesso em 20 de mar. 2008. (Pg. 01; 02)
- TRINDADE, Sileno Cirne. **Simulação computacional para avaliação da ventilação natural e do desempenho térmico de galpões pré-moldados em clima tropical**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. (pg. 02; 03)