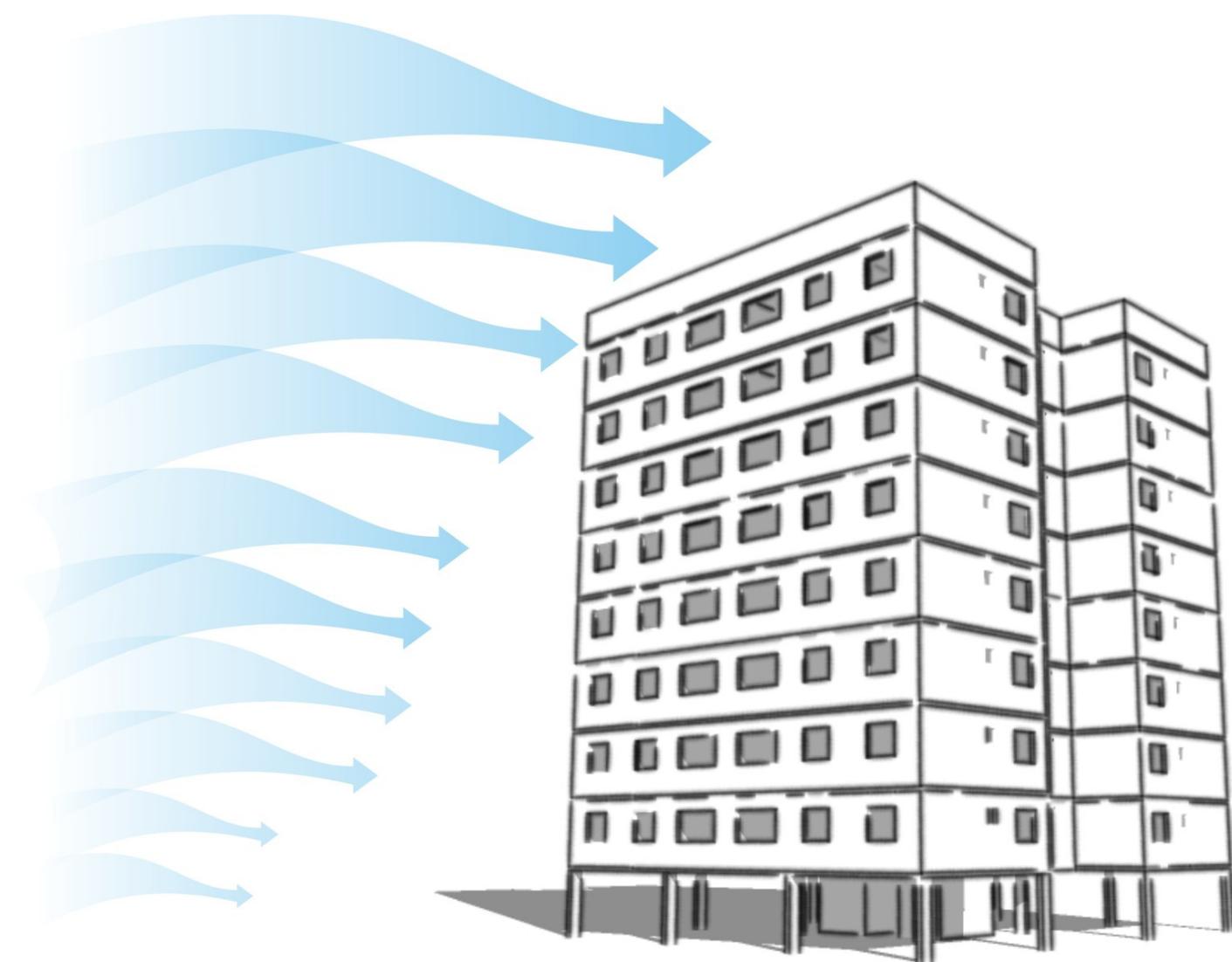


# A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-Al.

Mestrando: Alexandre Sacramento  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Bittencourt



MACEIÓ  
2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO  
DEHA**

**A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-Al.**

Alexandre da Silva Sacramento

MACEIÓ  
2012

**ALEXANDRE DA SILVA SACRAMENTO**

**A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-Al.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo sob a orientação do Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt.

MACEIÓ  
2012

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

**Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos**

S123i Sacramento, Alexandre da Silva.  
A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió/AL / Alexandre da Silva Sacramento. – 2012.  
166 f. : il., color.

Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 158-166.

1. Edificações residenciais multifamiliares. 2. Ventilação natural – Ambientes internos. 3. Potencial de ventilação. 4. Conforto térmico. 5. Dinâmica dos fluidos computadorizada. I. Título.

CDU: 728.2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**Alexandre da Silva Sacramento**

**A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-Al.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Fau/Ufal, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

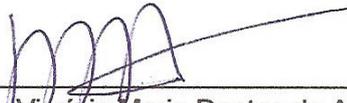
APROVADA em 29/07/2012.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Leonardo Bittencourt  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



---

Profa. Dra. Virgínia Maria Dantas de Araújo  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN



---

Profa. Dra. Gianna Melo Barbirato  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



---

Prof. Dr. Augusto de Aragão de Albuquerque  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

Dedico à Déborah, minha esposa, pelo amor,  
apoio e incentivo.

E aos meus pais, Edmar e Telma, pelo apoio  
e exemplo de perseverança.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, amparo espiritual nos momentos difíceis e força de fé para continuar as atividades.

Aos **meus pais**, pelo apoio em todos os momentos, e pelo exemplo de vida e dedicação a tudo que fazem.

Às **minhas irmãs**, que mesmo não interferindo diretamente no trabalho, dividiram comigo as tensões, preocupações e correrias decorrentes dele.

À **Déborah**, minha mulher, pessoa sem igual, que me ajudou do começo ao fim deste trabalho, dividindo e participando as alegrias e as preocupações.

Aos meus **avós (in memorian) e à família**, pelo amor, pela criação, e pelas sábias palavras que ainda fazem parte da minha vida.

Ao meu orientador, **Leonardo Bittencourt**, grande parceiro nos trabalhos desde a iniciação científica, e grande incentivador, mesmo quando nada parecia dar certo.

Ao **Grupo de Estudos em Conforto Ambiental (GECA) e ao LABConf**, espaço de troca de informações, casa postíça por muito tempo, onde cresci como pessoa e como profissional, fazendo também muitas amizades. Agradeço aos amigos destes longos anos de grupo e, em especial à Ana Márcia Viana, Isabela Passos, Christhina Cândido, Sammea Ribeiro, Camila Antunes, Fernando Cavalcanti, Kamila Mendonça, Aline Nogueira e Wevila Fontes por terem me ajudado de alguma forma.

Aos professores do **DEHA**, participantes direta ou indiretamente deste processo de construção e aprendizagem.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL)** pela bolsa de estudos concedida. E a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

“Tudo é possível ao que crê” (Mc 9,23).

## RESUMO

O projeto de edificações residenciais deve ter como critério importante a adoção de princípios bioclimáticos, levando em consideração o clima da região, de forma a potencializar as características desejáveis desse clima como meio de preencher os requisitos de conforto humano. No clima quente e úmido, como é o caso do clima de Maceió-AL, a ventilação natural como estratégia de projeto, é importante para a renovação de ar do ambiente, para o resfriamento da edificação, para minimizar custos com energia elétrica e para proporcionar níveis satisfatórios de conforto térmico humano. O desempenho da ventilação natural está fortemente ligado às características das aberturas das edificações, que influenciam no potencial de ventilação dos ambientes internos. Para que ocorra o movimento de ar dentro de uma edificação, é necessário que existam aberturas de entrada e de saída. Poucos estudos abordam o potencial de ventilação proporcionado pelas aberturas de saída. Esta pesquisa pretendeu estimar o potencial de ventilação de edificações residenciais multifamiliares em Maceió – AL, variando o tamanho das aberturas de saída do ar da cozinha/serviço para dois tipos de rugosidade urbana. Para tanto, foi definida uma tipologia de edificação multifamiliar predominante para Maceió-AL, a partir da qual foram variados os tamanhos das aberturas de saída na porcentagem de 10%, 15% e 25% em função da área do piso e da seção média do ambiente. Os resultados encontrados mostram que o potencial de ventilação para a qualidade do ar foi satisfatório em todos os casos. Em relação à restituição do conforto pela ventilação natural, os resultados para as aberturas baseadas na área do piso foram semelhantes aos resultados para as aberturas baseadas na seção média. Apesar da proximidade de resultados, as aberturas baseadas na seção média tiveram melhor desempenho no cômputo geral.

**Palavras-chave:** Edificações residenciais multifamiliares, Ventilação natural, Potencial de ventilação, Conforto térmico, Dinâmica dos fluidos computadorizada.

## ABSTRACT

The design of residential buildings should have as an important criteria, the adoption of bioclimatic principles, taking into consideration the local climate in order to potentize the desirable characteristics of this climate as a means to meet the requirements for human comfort. In hot and humid climate, such Maceió-AL climate, natural ventilation as design strategy, it is important to the renewal of the air environment, for cooling the building envelop, to minimize energy costs, and to provide satisfactory levels of human thermal comfort. The performance of natural ventilation is strongly linked to the characteristics of the opening in buildings, which influence the potential of ventilation indoors. To make the air movement inside the building happen, it is necessary inlet and outlet openings. Few studies have addressed the potential provided by the ventilation outlet openings. This study sought to estimate the natural ventilation potential of multifamily residential building in Maceió-AL, varying the size of outlet openings of the kitchen/service for two types of urban roughness. To that end, was defined a Maceió-AL typical multifamily building, form which were varied the outlet openings size in the percentage of 10%, 15% and 25% based on the floor area and the middle section area of the environment. The results show that the natural ventilation potential for air quality was satisfactory in all cases. In relation to the recovery of comfort by natural ventilation, the results based on the floor area were close to those based on the middle section of the environment. Despite of the proximity of results, the outlet openings based on the middle section of the environment had a better performance.

**Keywords:** Multifamily building, Natural Ventilation, Natural ventilation potential, Thermal comfort, Computer fluid dynamics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Abrigo em climas frios (a), em climas temperados (b), em climas quente e úmidos (c) e em climas quente-secos (d)	19
Figura 2: Ventilação Natural em clima quente-seco, captadores de vento (a) e quente-úmido, grandes aberturas e pilotis (b)	20
Figura 3: Circulação do vento na Terra e a força de Coriolis	24
Figura 4: Esquema do movimento do ar pelo efeito chaminé.	25
Figura 5: Ventilação unilateral.	26
Figura 6: Ventilação cruzada direta 6a e 6c, ventilação cruzada indireta 6b.	27
Figura 7: Carta bioclimática para climas quentes.	32
Figura 8: Carta bioclimática de GIVONI com estratégias para Maceió.	32
Figura 9: Gráfico do PMV e PPD.	35
Figura 10: Aumento na Temperatura de Conforto em função da velocidade do ar.	38
Figura 11: Gradiente de velocidade do vento.	42
Figura 12: Camadas limite urbanas.	45
Figura 13: Zonas geradas por um fluxo de vento padrão Normal à edificação (a) e Distribuição da velocidade do vento para uma barreira de densidade média (b).	45
Figura 14: Zonas de turbulência do vento na edificação.	46
Figura 15: Coeficientes de pressão para edificações em altura com variação de incidência do vento.	49
Figura 16: Coeficientes de pressão para edificações baixas com variação de incidência do vento.	49
Figura 17: Coeficientes de pressão para edificações baixas (a) e altas (b).	51
Figura 18: Coeficientes de pressão segundo LIDDAMENT (1996).	52
Figura 19: Exemplo de geometria de edificações para estudo no CpCalc+.	52
Figura 20: Geometria de edificações para estudo no CpCalc+.	53
Figura 21: Edificações da base de dados da Universidade Politécnica de Tóquio.	53
Figura 22: Coeficientes de pressão para forma retangular (esquerda) e para forma em concha (direita).	54
Figura 23: Aberturas em paredes opostas com vento perpendicular (a) e a 45° (b), e aberturas em paredes adjacentes com vento perpendicular (c) e a 45° (d).	55

Figura 24: Tamanho das aberturas e velocidade do vento para incidência 90° e 45°.	56
Figura 25: Coeficiente de velocidade do vento em função da forma da abertura.	57
Figura 26: Fluxo do vento e prolongamentos horizontais.	59
Figura 27: Uso dos saques verticais para o fluxo do vento ótimo, bom e ruim.	59
Figura 28: Coeficientes de descarga para aberturas de saída.	61
Figura 29: Ventilação por ação do vento para ambiente com muitas aberturas.	63
Figura 30: Esquema de funcionamento de um modelo de rede.	64
Figura 31: Padrão do fluxo do vento em um modelo de zona com configuração padrão (a) e com função de correção do fluxo (b).	65
Figura 32: Zoneamento bioclimático brasileiro.	68
Figura 33: Rosa dos ventos para Maceió-AL.	68
Figura 34: Perspectiva e planta-baixa de edificações residenciais multifamiliares definidas para o estudo.	71
Figura 35: Tipologia predominante de edificações multifamiliares em Maceió.	72
Figura 36: Método do paralelogramo (a) e aplicação do seno do ângulo de 45° (b).	78
Figura 37: Modelo de estudo com as suas dimensões.	80
Figura 38: Domínio do modelo segundo o fabricante do CFD.	81
Figura 39: Camada limite segundo OKE (1987).	81
Figura 40: Domínio com eixo Z segundo OKE (1987), (a) Vento a 90° e (b) Vento a 45°.	82
Figura 41: Domínio com eixo Z segundo Freixanet (2002), (a) Vento a 90° e (b) Vento a 45°.	82
Figura 42: Domínio escolhido para o estudo com eixo Z segundo Freixanet (2002).	83
Figura 43: Módulos que compõem o PHOENICS.	84
Figura 44: Velocidade média para os pavimentos investigados.	85
Figura 45: Apartamentos escolhidos para o estudo.	85
Figura 46: Malha de pontos para determinação das velocidades médias e CVs dos ambientes.	86
Figura 47: Dados climáticos para Maceió.	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Porcentagem de conforto e de desconforto para Meceió – AL.	33
Quadro 2: Estimativa do potencial de ventilação natural para restaurar o conforto térmico.	40
Quadro 3: Valores típicos da rugosidade para terrenos urbanizados	42
Quadro 4: Coeficientes de terreno para a equação do perfil do vento	44
Quadro 5: Coeficientes de terreno e rugosidade	44
Quadro 6: Coeficientes de descarga para aberturas de entrada e para aberturas intermediárias	61
Quadro 7: Aberturas para ventilação.	73
Quadro 8: Relação entre a área de piso do ambiente, a área ideal para grandes aberturas e a área de parede disponível.	73
Quadro 9: Matriz de aberturas para o estudo.	75
Quadro 10: Velocidade média do vento mensal e anual para Maceió em m/s	77
Quadro 11: Gradiente do vento para Área Suburbana (90°)	78
Quadro 12: Gradiente do vento para Centro de Cidade (90°)	78
Quadro 13: Gradiente do vento para Área Suburbana (45°)	79
Quadro 14: Gradiente do vento para Centro de Cidade (45°)	79
Quadro 15: Número mínimo de trocas de ar por ambiente.	86
Quadro 16: Velocidade requerida para restituir o conforto	87
Quadro 17: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	92
Quadro 18: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°	93
Quadro 19: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	98
Quadro 20: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°	99
Quadro 21: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	103
Quadro 22: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°	104

Quadro 23: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	108
Quadro 24: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°	109
Quadro 25: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	113
Quadro 26: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°	114
Quadro 27: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	118
Quadro 28: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°	119
Quadro 29: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	123
Quadro 30: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°	124
Quadro 31: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	128
Quadro 32: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°	129
Quadro 33: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	133
Quadro 34: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°	134
Quadro 35: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	138
Quadro 36: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°	139
Quadro 37: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	143
Quadro 38: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°	144
Quadro 39: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°	148
Quadro 40: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°	149

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Renovação do ar em função do volume do ambiente para três taxas de ventilação. 30

Gráfico 2: Temperatura Neutra para as Zonas de Conforto de Araújo, V. (1996) e Araújo, M. (2008). 37

Gráfico 3: Temperatura Neutra para Zonas de Conforto de Araújo (1996) e Araújo (2008) 39

Gráfico 4: Tipologia predominante de edificações multifamiliares em Maceió depois do levantamento. 69

Gráfico 5: Edificações residenciais multifamiliares por número de apartamentos por pavimento. 70

Gráfico 6: Edificações residenciais multifamiliares por número de quartos por pavimento. 70

## SUMÁRIO

Introdução	19
Objetivo Geral	22
Objetivos específicos	22
Estrutura da Dissertação	24
1 Referencial teórico	24
1.1 Ventilação Natural	24
1.1.1 Ventilação Natural por diferença de temperatura	24
1.1.2 Ventilação Natural por ação do vento	26
1.1.2.1 Ventilação Unilateral	26
1.1.2.2 Ventilação Cruzada	27
1.2 Qualidade do ar dos ambientes internos	27
1.2.1 Taxa de renovação	28
1.3 Conforto Térmico	30
1.3.1 Carta bioclimática	31
1.3.2 PMV - PPD	34
1.3.3 Modelos Adaptativos	35
1.3.4 Zona de conforto de Macfarlane	39
1.4 Rugosidade Urbana	41
1.5 Gradiente do Vento	42
1.6 Ventilação ao redor da edificação	44
1.7 Coeficiente de pressão	47
1.8 Característica das aberturas para ventilação	54
1.8.1 Orientação, Localização e tamanho das aberturas	54
1.8.2 Forma e tipo da abertura	56
1.8.3 Componentes arquitetônicos próximos à abertura	58
1.9 Coeficiente de descarga	59
1.10 Estimativa da ventilação natural	61
1.10.1 Modelos analíticos e empíricos	62
1.10.2 Modelos de rede	64
1.10.3 Modelos de zonas	65
1.10.4 Modelos CFDs	66
2 Metodologia	67
2.1 Simulação computacional	67
2.1.1 Caracterização climática de Maceió	67
2.1.2 Tipologia de edificação residencial multifamiliar adotada	69
2.1.3 Definição das aberturas investigadas	72

2.1.4	Definição da rugosidade e do gradiente de vento	76
2.1.5	Definição do domínio para o modelo estudado	80
2.1.5.1	Cálculo segundo o fabricante do CFD	80
2.1.5.2	Cálculo segundo OKE	81
2.1.5.3	Cálculo segundo Freixanet (2002)	81
2.1.6	O <i>software</i> utilizado	83
2.2	Análise das simulações	84
2.2.1	Pavimentos e apartamentos investigados	84
2.2.2	Determinação da velocidade média nos ambientes	85
2.2.3	Aplicação do método de Macfarlane	86
3	Resultados e Discussão	87
3.1	Modelos com rugosidade 1 e abertura de saída variando em relação à área do piso	87
3.1.1	<i>Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 90°</i>	87
3.1.2	<i>Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 45°</i>	89
3.1.3	<i>Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 90°</i>	94
3.1.4	<i>Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 45°</i>	95
3.1.5	<i>Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 90°</i>	100
3.1.6	<i>Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 45°</i>	101
3.2	Modelos com rugosidade 1 e abertura de saída variando em relação à seção média do ambiente	105
3.2.1	<i>Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 90°</i>	105
3.2.2	<i>Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 45°</i>	106
3.2.3	<i>Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 90°</i>	110
3.2.4	<i>Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 45°</i>	111
3.2.5	<i>Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 90°</i>	115
3.2.6	<i>Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 45°</i>	116
3.3	Modelos com rugosidade 2 e abertura de saída variando em relação à área do piso	120
3.3.1	<i>Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 90°</i>	120
3.3.2	<i>Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 45°</i>	121
3.3.3	<i>Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 90°</i>	125
3.3.4	<i>Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 45°</i>	126
3.3.5	<i>Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 90°</i>	130
3.3.6	<i>Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 45°</i>	131
3.4	Modelos com rugosidade 2 e abertura de saída variando em relação à seção média do ambiente	135
3.4.1	<i>Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 90°</i>	136

3.4.2	<i>Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 45°</i>	136
3.4.3	<i>Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 90°</i>	140
3.4.4	<i>Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 45°</i>	141
3.4.5	<i>Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 90°</i>	145
3.4.6	<i>Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 45°</i>	146
3.5	Síntese dos resultados	150
3.5.1	Área da abertura igual a 10% da área do piso	150
3.5.2	Área da abertura igual a 15% da área do piso	150
3.5.3	Área da abertura igual a 25% da área do piso	151
3.5.4	Área da abertura igual a 10% da seção média	152
3.5.5	Área da abertura igual a 15% da seção média	153
3.5.6	Área da abertura igual a 25% da seção média	154
4	Conclusão	155
5	Referências bibliográficas	158

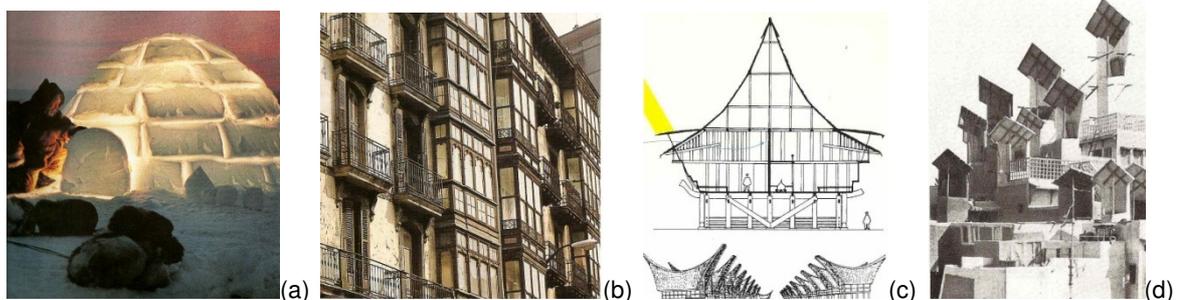
## INTRODUÇÃO

O abrigo tem sido o principal instrumento para preencher os requisitos de conforto humano. Ele modifica o ambiente natural para proporcionar ótimas condições de habitabilidade (OLGYAY, V.; 1973). Em outras palavras, é através do abrigo que o homem se protege das condições adversas do clima, ao mitigar as características indesejáveis, como o calor ou o frio excessivo, e ao tirar proveito das características desejáveis, como a luz natural e a ventilação, por exemplo.

A escolha de quais características do clima serão minimizadas ou potencializadas no abrigo, depende do tipo de clima da região. Para Szokolay (2004), o clima pode ser definido como a integração das condições meteorológicas no tempo, que são típicas de uma dada localização geográfica.

Os antigos reconheceram que a adaptação à região era um princípio essencial da arquitetura (OLGYAY, V.; 1973), pois, o clima, em particular, produz efeitos visíveis nas formas arquitetônicas (FATHY, H.; 1986). Esses efeitos podem ser vistos na Figura 1, que mostra diferentes abrigos adaptados aos seus climas respectivos. É importante dizer que o acúmulo desse conhecimento, e a sua aplicação na contemporaneidade, é solução importante para produzir edificações ambientalmente adaptadas e, também, um desafio para os projetistas.

**Figura 1: Abrigo em climas frios (a), em climas temperados (b), em climas quente e úmidos (c) e em climas quente-secos (d)**



Fonte: BEHLING, Sophia; BEHLING, Stefan; 1996

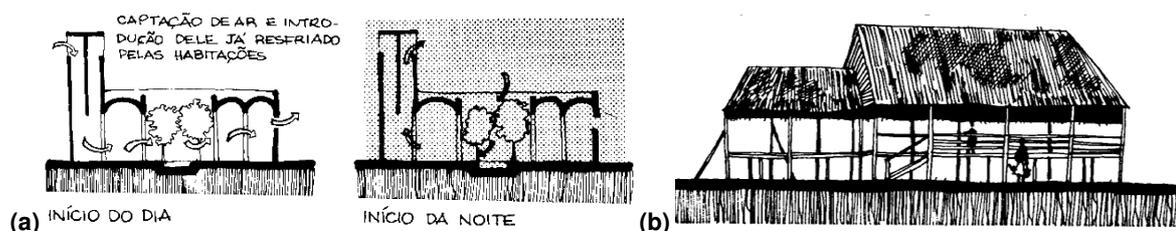
No caso do nordeste do Brasil, o clima possui características das regiões quentes e úmidas. Nessas regiões, as edificações deveriam evitar o ganho de calor externo, enquanto dissipam aqueles produzidos no seu interior (KOENIGSBERGER et al, 1974). Portanto, um projeto bioclimático<sup>1</sup> para essa região deve proporcionar boa proteção solar, para evitar esses ganhos de calor, e boa ventilação natural, de modo a dissipar o calor produzido em seu interior.

<sup>1</sup> Na década de 1960, Victor Olgay e Aladar Olgay estenderam a aplicação da Bioclimatologia (Climatologia aplicada à Arquitetura) às condições de conforto térmico humano e criaram a expressão "Projeto Bioclimático". (BOGO, A.; 1994)

A arquitetura é considerada bioclimática quando está baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos e das tecnologias construtivas, em relação às características do clima, visando otimizar o conforto dos ocupantes e o consumo de menos energia (MARAGNO, 2002).

A ventilação natural como estratégia bioclimática, quando bem empregada, pode contribuir para alcançar níveis de conforto térmico adequados aos usuários, bem como proporcionar certo grau de poupança de energia na edificação. Romero (2000) apresenta uma breve revisão sobre abrigos em climas quentes e secos e quentes e úmidos, mostrando que a boa ventilação é indispensável e que o projeto deve tirar partido dela. Infere-se da revisão que algumas estratégias para os climas quente-secos, como o uso dos captadores de vento, podem ser empregadas nos climas quentes e úmidos com as devidas adaptações, como na Figura 2a.

**Figura 2: Ventilação Natural em clima quente-seco, captadores de vento (a) e quente-úmido, grandes aberturas e pilotis (b)**



Fonte: ROMERO (2000)

Estudos sobre a ventilação natural para as regiões de clima quente e úmido, realizados com o uso de programas computacionais que utilizam *CFDs*<sup>2</sup>, mostram que um ambiente projetado adequadamente e que tira partido desse recurso pode melhorar sua ventilação interna, principalmente se fizer uso de componentes arquitetônicos adequados, como: captadores de vento, que são dutos verticais com aberturas acima do nível da cobertura que podem funcionar como entrada de ar (coletores) ou saída (extratores) (CÂNDIDO, BITTENCOURT, BATISTA, 2003), peitoris ventilados, que são dispositivos com formato de **L** invertido, dispostos na altura do peitoril de janelas e apresentam uma abertura embaixo, que têm a finalidade de complementar o movimento de ar do ambiente (LEAL et al, 2005; SACRAMENTO et al., 2007) e também a tipologia das aberturas, que tem influência no direcionamento e no padrão de distribuição do fluxo do ar no ambiente (CÂNDIDO et al, 2007). O uso desses componentes pode aumentar em mais de 30% a ventilação natural de ambientes internos. Em certos casos o aumento chega até 100% (LOBO, BITTENCOURT, 2001).

<sup>2</sup> *CFD* – *Computational Fluid Dynamics*, sigla em inglês para Dinâmica dos Fluidos Computadorizada, é a simulação numérica dos processos físicos e/ou físico-químicos que ocorrem no escoamento de um fluido.

Esses estudos sugerem que se uma edificação apresenta técnicas passivas de resfriamento e alcança um incremento na ventilação, pelo uso delas, esse aumento pode contribuir para melhorar as condições de conforto do ambiente.

Apesar dos muitos estudos sobre a ventilação natural, alguns autores ainda apontam barreiras críticas para a sua aplicação nas edificações. Wieringa (1996) questiona a existência de informações representativas sobre o vento e afirma que é possível generalizar boas observações sobre ele, de modo que elas possam ser aplicáveis para múltiplo uso. E ainda, que bons dados meteorológicos são aqueles coletados com equipamentos adequados, em situações adequadas, mesmo que por curtos espaços de tempo.

Maldonado (2002) comenta sobre as barreiras existentes durante o projeto das edificações, como: a dificuldade de implementar regulamentos, de estabelecer padrões de uso e a falta (ou desconhecimento) de ferramentas que auxiliem na incorporação da ventilação natural. Além de citar as barreiras operacionais, como: segurança, barulho, poluição do ar e do desconhecimento dos ocupantes sobre o correto uso das estratégias, que deveriam ser adotadas para melhor tirar vantagem da ventilação natural.

Nesse sentido, o projeto de edificações com boa ventilação natural é desafiador, pois, além das barreiras apontadas, o entorno tem um impacto significativo no padrão de circulação dos ventos e na velocidade interna do ar (AYATA e YILDIZ, 2006).

Assim, é importante avaliar o potencial de ventilação natural com certa precisão desde as fases iniciais de projeto. Esse potencial deve considerar não apenas as condições climatológicas locais (temperatura e umidade externa, velocidade e direção do vento), mas também as características do entorno (qualidade do ar, barulho, o ambiente externo, a estrutura urbana, rugosidade), o tipo de edificação (posição e tamanho das aberturas de ventilação, orientação da edificação), o perfil de ventilação e de ocupação da edificação (YANG et al., 2005; YAO et al., 2009).

Para Roulet et al (2002) o potencial de ventilação é definido como sendo a possibilidade de assegurar a qualidade do ar interno aceitável<sup>3</sup>, apenas, pela ventilação natural. Haase e Amato (2009) definem a ventilação natural como uma estratégia de resfriamento passivo, que aumenta o conforto térmico, devido o aumento no movimento do ar.

No nordeste do Brasil, como é o caso de Maceió – AL, a ventilação natural por ação da força do vento é utilizada como estratégia de resfriamento passivo nas edificações,

---

<sup>3</sup> Qualidade do ar interna aceitável pode ser definida como o ar que está livre de poluentes que causam irritação, desconforto ou doenças à saúde dos ocupantes. (LIDDAMENT, M. W.; 1996)

como as multifamiliares, por exemplo. Assim, este trabalho define que o potencial de ventilação é a possibilidade de assegurar qualidade do ar interna aceitável, proporcionando o conforto térmico dos usuários pelo movimento de ar.

O desempenho da ventilação natural depende das características das aberturas das edificações (LIN e CHUAH, 2011). Embora portas e janelas possam facilmente prover ventilação natural para o conforto térmico, elas geralmente não são consideradas neste contexto pelos projetistas (AYATA e YILDIZ, 2006). Contudo, não se pode generalizar esta afirmação, uma vez que, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para entender a relação entre as aberturas e o movimento do ar para o conforto térmico.

Alguns desses estudos foram revisados por Limb (1995), dos quais destacou a relação entre as taxas de ventilação obtidas com diferentes combinações de posições de portas e janelas (ZAINAL e CROOME, 1990 *apud* LIMB, 1995), a orientação das janelas para alguns tipos de edificações, como residências, por exemplo (ROBERTSON, 1990 *apud* LIMB, 1995), a relação entre a largura e a altura da abertura na ventilação para janelas de abrir (JONG e BOT, 1992 *apud* LIMB, 1995), as diferenças de pressão em janelas com venezianas para diferentes ângulos (PITTS e GEORGIADIS, 1994 *apud* LIMB, 1995) e, inclusive, fatores sociológicos que influenciam no comportamento dos usuários em relação às aberturas (FLEURY e NICOLAS, 1992 *apud* LIMB, 1995).

Muitos desses estudos têm como abordagem principal as aberturas de entrada do vento na edificação. No entanto, sabe-se que para ocorrer o movimento de ar em um ambiente é necessário que haja, preferencialmente, aberturas de entrada e de saída do vento. Pode-se dizer que pouco se sabe sobre a influência das aberturas de saída do ar no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos, quando comparado aos estudos sobre as aberturas de entrada de ar. Com isso, este trabalho estabelece os seguintes objetivos:

#### **Objetivo Geral:**

Estimar o potencial de ventilação de edificações residenciais multifamiliares em Maceió – Al, variando o tamanho das aberturas de saída do ar da cozinha/serviço para dois tipos de rugosidade urbana.

#### **Objetivos específicos:**

Verificar a influência do tamanho das aberturas de saída do vento no potencial de ventilação dos ambientes internos para atendimento à qualidade do ar.

Verificar se o potencial de ventilação estimado é adequado para proporcionar conforto térmico nos ambientes internos.

Comparar os resultados do potencial de ventilação para dois tipos de rugosidade urbana.

### **Estrutura da Dissertação**

A dissertação está dividida em cinco seções. A primeira seção compreende a introdução do trabalho, a exposição dos objetivos e a descrição da estrutura da dissertação.

A segunda seção é o referencial teórico, que reúne o aporte teórico aplicado ao desenvolvimento da dissertação. O referencial abordou a ventilação natural nas edificações, os tipos de ventilação que podem ocorrer. Tratou também da qualidade do ar dos ambientes internos e do conforto térmico humano. Abordou parâmetros que podem influenciar no potencial de ventilação como a rugosidade urbana e o gradiente do vento, por exemplo. Também foram comentadas as características das aberturas para ventilação e modelos que ajudam a estimar a ventilação natural.

A terceira seção foi dedicada à metodologia do trabalho, onde foi definida a tipologia de edificação para estudo, bem como as características das aberturas que foram testadas. Além disso, foram explicados os parâmetros de análise dos resultados obtidos.

A quarta seção diz respeito aos resultados e discussão dos mesmos. Os resultados apresentados foram divididos agrupados pela área de abertura de saída para facilitar o entendimento, de onde foram comentados aspectos sobre a qualidade do ar representada pelo número de trocas de ar por hora, assim como sobre o alcance ou não da velocidade do ar necessária para restaurar o conforto térmico dentro do ambiente.

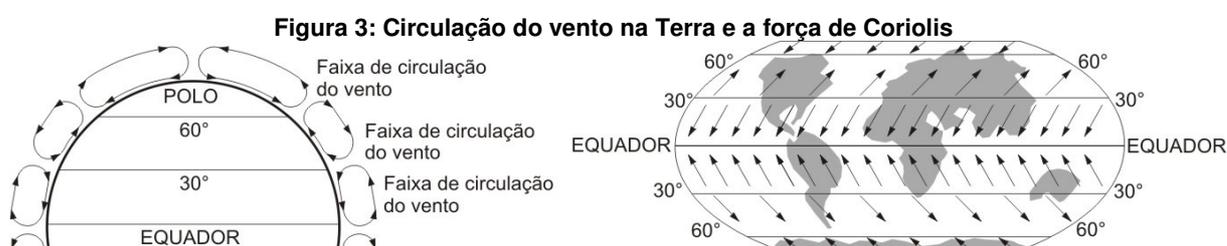
A quinta seção corresponde às conclusões do trabalho e aos desdobramentos que podem ocorrer.

## 1 Referencial teórico

### 1.1 Ventilação Natural

O vento é gerado pelas diferenças de pressão e temperaturas atmosféricas, causadas pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre (CHAVÉZ e FREIXANET, 1995), a qual é composta por porções distintas de massas de terra e de água (BEHLING, 1996). Essas diferenças provocam o movimento de ar conhecido como circulação geral, onde o ar aquecido no equador terrestre produz uma corrente ascendente em direção aos trópicos e, ao ser resfriado nos trópicos, volta em direção ao equador (BOUTET, 1987).

Porém, devido à desigualdade no aquecimento das massas de terra e de água, três faixas globais de circulação vertical do vento se formam em cada hemisfério da Terra. Na primeira, mais próxima ao equador terrestre, o vento circula de uma zona de latitude 30° com pressão positiva em direção ao equador, que tem pressão negativa, criando um ciclo. Na segunda faixa, com ciclo oposto ao da primeira, o vento parte da zona de latitude 30° com pressão positiva, em direção à zona de latitude 60° com pressão negativa. A última faixa corresponde àquela próxima aos pólos e apresenta ciclo semelhante ao da primeira. Vale ressaltar que a rotação da terra cria uma força horizontal, conhecida como força de Coriolis, que provoca uma deflexão no movimento vertical dos ciclos em cada faixa (BOUTET, 1987; SZOKOLAY, 2004), como se vê na figura 3.



Fonte: Adaptado de BOUTET, 1987

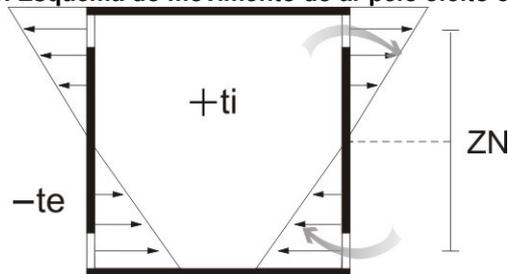
A ventilação natural pode ocorrer de duas maneiras: por diferença de temperatura ou por ação do vento. Essas duas formas de ventilação natural são comentadas a seguir.

#### 1.1.1 Ventilação Natural por diferença de temperatura

A ventilação natural por diferença de temperatura é conhecida como efeito chaminé. Segundo Frota e Shiffer (2001), em um ambiente com aberturas em alturas diferentes, dispostas em paredes opostas ou não, os ganhos de calor a que uma edificação está submetida ocasionam a elevação da temperatura do ar contido no seu interior, que se torna menos denso que o ar externo e, por isso, tende a ascender. Dessa forma, o ar externo mais frio e mais denso, encontrará condições para entrar no ambiente pelas aberturas mais baixas, fazendo com que o ar quente suba e provoque uma corrente de ar

ascendente, como mostra a figura 4. As diferenças de pressão geradas pela diferença de temperatura e de altura das aberturas criam uma linha entre o meio interno e externo cuja pressão é nula conhecida como zona neutra – ZN. Pequenas aberturas nesta posição não provocam fluxo do ar.

**Figura 4: Esquema do movimento do ar pelo efeito chaminé.**



**Fonte: Adaptado de Frota e Schiffer (2001).**

Toledo (1999) apresenta diferentes equações de vazão do fluxo de ar expressas em  $m^3/s$ , de acordo com situações específicas. A equação 1, a seguir, expressa o fluxo de ar por efeito chaminé, que é válida para edificações de usos mais gerais como as habitações, e para pequenas diferenças de temperatura (FROTA e SCHIFFER, 2001).

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{H \cdot (T_i - T_e)} \quad (m^3/s) \quad [Eq.1]$$

Onde:

Q, é a vazão do ar;

C, é a resistência da abertura ao fluxo de ar;

A, é a área da menor abertura (de entrada ou de saída em  $m^2$ );

H, é a altura medida a partir do centro geométrico da abertura de entrada do ar até o centro geométrico da abertura de saída do ar (m);

T<sub>i</sub>, é a temperatura interna (°C);

T<sub>e</sub>, é a temperatura externa (°C);

De acordo com Cavalcanti (2010), quando não há vento, como nos períodos de calmaria, o efeito chaminé torna-se o único responsável pela renovação do ar nas edificações e representa a situação mais simples da ventilação natural. Além disso, pode funcionar em edifícios com torres de ventilação ou com pé direito alto e aberturas localizadas na cobertura (NEVES, 2006). No entanto, em regiões de clima quente e úmido cuja amplitude térmica é pequena, esta estratégia é pouco eficaz no incremento do conforto térmico, pois a velocidade da corrente de ar gerada é baixa com pouca influência nas trocas

de calor por convecção e a evaporação da umidade sobre a pele (CUNHA, 2010). O efeito de resfriamento da ventilação é melhor percebido pela força de ação dinâmica do vento.

### 1.1.2 Ventilação Natural por ação do vento

A ventilação por ação dinâmica do vento ocorre quando este incide na edificação provocando zonas com diferenças de pressão em suas faces. Isto é, o vento incide diretamente em determinadas faces da edificação provocando uma sobrepressão nas mesmas, e são chamadas de zonas com pressão positiva (+). Em seguida, o vento se desloca contornando a edificação e gera pressões menores que a pressão atmosférica em suas laterais e fachadas a sotavento. Com isso, as faces opostas àquelas em que o vento incidiu formam-se zonas de subpressão que exerce uma força de sucção conhecida como zona de pressão negativa (-).

A zona da edificação na qual o vento incide é conhecida como barlavento, e apresenta pressão positiva. A região oposta, de pressão negativa, é denominada sotavento. O posicionamento das aberturas dessa edificação deverá atender às diferenças de pressão geradas pelo vento, de forma a garantir uma ventilação eficaz (PERÉN, 2006). Significa dizer que as aberturas devem ficar dispostas em faces com pressões diferentes, para que o vento possa se deslocar da zona de maior pressão em direção à zona de menor pressão (SZOKOLAY, 2004).

#### 1.1.2.1 Ventilação Unilateral

Quando as aberturas estão localizadas em uma mesma parede, a ventilação é chamada de unilateral, como mostra a figura 5. Edifícios com aberturas nessa disposição costumam apresentar ventilação deficiente; mesmo que o vento incida diretamente nas mesmas. Se for este o caso, é desejável a colocação de aberturas espaçadas, como forma de melhorar o escoamento (GONÇALVES e GRAÇA, 2004).



Fonte: Adaptado de BROWN e DEKAY, 2004.

O espaçamento das aberturas permite que o fluxo do ar seja melhor distribuído dentro do ambiente, fazendo com que a velocidade média do ar também seja aumentada. Por exemplo, para uma abertura equivalente a dois terços da largura da parede, como na figura 5a, a velocidade média no interior do ambiente pode variar de 13 a 17%, de acordo

com o ângulo de incidência do vento. Para duas aberturas na mesma parede, como na figura 5b e 5c, a velocidade média interna aumenta, podendo chegar a 22%, pois uma das aberturas funcionará como abertura de entrada do ar e a outra como abertura de saída do ar (GIVONI (1976); MELARAGNO (1982) *apud* BROWN E DEKAY (2004)). A situação ideal é aquela com aberturas em paredes diferentes, pois permite a ventilação cruzada.

### 1.1.2.2 Ventilação Cruzada

Quando as aberturas estão localizadas em paredes opostas ou adjacentes, a ventilação é chamada de ventilação cruzada, que pode ocorrer de maneira direta ou indireta, como se vê na figura 6. Nas figuras 6a e 6c, o ambiente interno recebe o vento diretamente do exterior, sem interferência de ambientes intermediários, essa é a ventilação cruzada direta. Na figura 6b, alguns ambientes recebem o ar proveniente de outro ambiente, neste caso a ventilação é cruzada indireta.



**Fonte: BROWN e DEKAY, 2004.**

Quando as aberturas estão localizadas em paredes diferentes, a velocidade do ar no interior do ambiente é maior do que as constatadas com a ventilação unilateral, e podem variar de 35 a 65% da velocidade do vento externo, segundo estudos realizados por Givoni (1976) e Melaragno (1982) *apud* Brown e Dekay (2004).

Para Brown e Dekay (2004), a edificação ideal para a ventilação cruzada é aquela que tem apenas um estreito recinto em sua largura e é alongada ao máximo para otimizar a exposição aos ventos predominantes. No entanto, os autores afirmam que, na prática, isso é raramente possível devido à grande compartimentação dos espaços internos que alguns edifícios requerem.

## 1.2 Qualidade do ar dos ambientes internos

Segundo alguns autores a ventilação natural é importante para a renovação do ar interno, pois, dissipa o calor e melhora a qualidade do ar. Proporciona, quando bem aplicada, níveis de conforto térmico adequados aos usuários, além de contribuir para reduzir o consumo de energia e o uso de aparelhos de ar condicionado (BOUTET, 1987; FROTA e SCHIFFER, 2001; ALLARD, 2002; MATEZUKI e CHENG, 2009).

Segundo a ECA<sup>4</sup> (2003), um dos aspectos críticos de um ambiente saudável é uma qualidade do ar apropriada, pois as pessoas passam em média 90% de sua vida em ambientes internos e 10% em ambientes externos. Logo, é importante que o ambiente tenha sempre o ar renovado, com ventilação suficiente para que os usuários mantenham sua saúde.

A quantidade de poluição do ar presente no ambiente interno sofre influência de várias fontes como: particulados advindos do ambiente externo, níveis elevados de umidade, que com o calor podem criar condições favoráveis para o desenvolvimento de mofo, emissão de gases devido às atividades dos usuários como a cocção ou da emissão pelo próprio corpo humano.

Manter o nível da qualidade do ar no ambiente interno adequado é importante, pois evita males como: alergias, doenças respiratórias como a pneumonia e irritação das mucosas, por exemplo. Wong, N. e Huang, B. (2004) fizeram um estudo comparativo entre edificações com os quartos naturalmente ventilados e com aparelhos de ar condicionado. Eles constataram que a qualidade do ar desses ambientes é melhor nos quartos com ventilação natural, pois os níveis de CO<sub>2</sub> são mais baixos. O estudo também mostra que, apesar dos níveis de partículas em suspensão no ar serem maiores nos quartos com ventilação natural, esses níveis não são tão danosos à saúde, visto que, quase 50% dos usuários dos quartos com a ventilação natural reportaram não sentir sintomas como: rinite, asma, garganta e pele secas. Enquanto que, um pouco mais de 80% sentiram tais sintomas nos quartos com ar condicionado.

### **1.2.1 Taxa de renovação**

Não obstante, a ventilação natural parece responder a muitas reclamações dos usuários a respeito da ventilação mecânica, que parece ser barulhenta, criar problemas de saúde (como os já apresentados), requer rotina de manutenção, além de consumir energia (MALDONADO, 2002).

Os projetistas deveriam evitar baixas taxas de ventilação a não ser que medições alternativas efetivas, como um controle da fonte ou ar limpo, sejam empregadas para limitar os níveis de poluição interna (SUNDELL et al., 2011). Por outro lado, baixas taxas de ventilação como 2,5 l/s (0,0025 m<sup>3</sup>/s ou 5 cfm) são suficientes para dispersar os gases produzidos no ambiente, isto é, ventilação higiênica. Além disso, a ventilação também pode ser usada para o resfriamento, que é uma forma de controlar a temperatura do ambiente com taxas de ventilação maiores que removem o calor do ambiente para fora

---

<sup>4</sup> European Collaborative Action on: Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. É uma ação da Comissão Europeia do Joint Research Centre – Institute for Health & Consumer Protection Physical & Chemical Exposure Unit

(ECA, 2003). Nesse sentido, a ASHRAE 62 (2001b), estabelece que uma taxa de renovação mínima do ar igual a 0,35 trocas por hora é adequada para manter um nível aceitável de qualidade do ar interno, mas indica também que essa taxa, se possível, não seja inferior a 7,5 l/s (0,0075 m<sup>3</sup>/s 15 cfm) por pessoa.

De acordo com a ASHRAE *Fundamentals* (2009), a taxa de renovação de ar é definida como a taxa volumétrica na qual o ar ingressa, e ou sai, de um espaço, dividido pelo volume desse mesmo espaço em um determinado período de tempo, como mostra a equação 2.

$$T_r = 3600 Q/Vol \quad [Eq. 2]$$

Onde:

$T_r$ , é o número de renovações do ar por hora;

$Q$ , é a infiltração ou taxa de ventilação (m<sup>3</sup>/s);

$Vol$ , é o volume do ambiente (m<sup>3</sup>)

O fluxo, ou taxa de ventilação, pode ser calculado segundo a equação 3, de acordo com a ASHRAE (2001a).

$$Q = Cd.A.V \quad [Eq. 3]$$

Onde:

$Cd$ , é o coeficiente de descarga da abertura;

$A$ , é a área da abertura (m<sup>2</sup>);

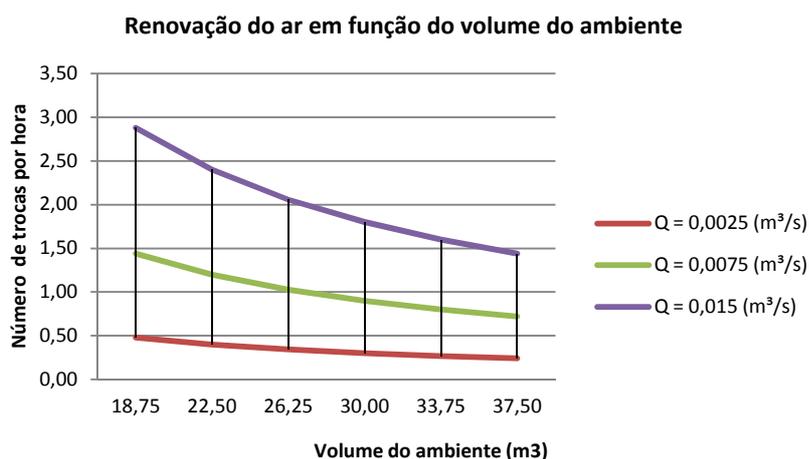
$V$ , é a velocidade do vento (m<sup>3</sup>)

Para um ambiente com dimensões 3m por 3m, com pé direito mínimo igual a 2,50m, como indica o código de obras de Maceió, o volume correspondente ao ambiente será 22,5 m<sup>3</sup>. Se a taxa de ventilação  $Q = 0,0025$  m<sup>3</sup>/s for aplicada na equação 2 para o referido ambiente, o resultado será igual a 0,4 trocas por hora. Significa que tal ambiente atende aos requisitos mínimos que possibilitam a qualidade do ar interna. Aplicando, na mesma fórmula e para o mesmo ambiente, a taxa de ventilação igual a  $Q = 0,0075$  m<sup>3</sup>/s, o resultado aponta 1,2 trocas por hora, para uma pessoa. Se o ambiente for compartilhado por duas pessoas, a taxa deve ser multiplicada por dois, ou seja,  $Q = 0,015$  m<sup>3</sup>/s, que resultará em 2,4 trocas, ou renovações de ar por hora.

O gráfico 1 mostra os números de renovação de ar para as três taxas de ventilação apresentadas, variando o volume do ambiente. Nota-se que, quanto maior o volume do ambiente menor é o número de renovações que ele proporciona. Percebe-se

também que, para um mesmo ambiente com volume 22,50 m<sup>3</sup>, por exemplo, o número de renovações difere em função da taxa de ventilação, ou vazão. Essa constatação é importante, pois, na prática, o volume dos ambientes normalmente não se modifica, fazendo com que a renovação do ar tenha forte relação com as aberturas do ambiente, que são os componentes que determinam a sua vazão.

**Gráfico 1: Renovação do ar em função do volume do ambiente para três taxas de ventilação.**



**Fonte: Autor desta dissertação, 2012.**

Garde et al. (2001) fizeram um estudo que incluiu as taxas de renovação de ar por hora em regiões de clima quente e úmido. O estudo relacionou o número de renovações com três funções da ventilação: a) Taxa fraca, que corresponde a 1 ou 2 trocas por hora, que preserva as condições de higiene do ambiente; b) Taxa moderada, cerca de 40 trocas por hora, que dissipa os ganhos internos de calor e resfria a envoltória da edificação e c) Taxa alta, de mais de 100 trocas por hora, que melhora o conforto dos usuários pelo aumento da transferência de calor entre o corpo e o ar.

Conhecer esta equação e aplicá-la ao projeto pode ser uma ferramenta importante para o projetista que, de forma relativamente simples, pode determinar a ventilação adequada para o ambiente. Por outro lado, o número de renovações que determina a qualidade do ar pode não ser suficiente para suprir a condição de conforto dos usuários, pois esta exige um maior número de trocas, como aponta Garde et al (2001), e, por conseguinte, depende também da velocidade do ar que entra.

### 1.3 Conforto Térmico

São muitas e variadas as definições do que seria o conforto térmico (FANGER, 1972; ASHRAE, 1993; FROTA e SCHIFFER, 2001). De modo geral, o conforto térmico pode ser definido como a situação de satisfação psicofisiológica com as condições térmicas de

um ambiente onde a manutenção da homeostase<sup>5</sup> humana é obtida (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, cujo mecanismo, complexo, pode ser, grosso modo, comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo a sua atividade (FROTA e SCHIFFER, 2001). Quando o corpo humano perde ou ganha calor seus mecanismos termorreguladores agem para tentar manter a temperatura interna constante, em torno dos 37°C, evitando a perda de calor quando estiver frio ou ajudando o corpo a perder calor quando estiver quente, estabelecendo assim um equilíbrio térmico.

O conforto e o equilíbrio térmico do corpo estão relacionados porque a sensação de bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para manter tal equilíbrio (FIGUEIREDO, 2007).

Alcançar conforto térmico do ambiente interno é mais difícil em climas tropicais úmidos, devido aos efeitos combinados das altas temperaturas e da umidade, porém, o efeito refrescante do fluxo do ar dentro dos ambientes, a partir dos ventos predominantes, é a principal técnica utilizada (AYNSLEY, 1999). Para o mesmo autor o conforto térmico interno em edificações naturalmente ventiladas, depende da variação diurna na temperatura do ar, da umidade, da velocidade e da direção do vento.

Alguns estudos envolvendo o conforto térmico na tentativa de computar seus efeitos na sensação térmica do homem e no ambiente construído são comentados a seguir.

### **1.3.1 Carta bioclimática**

Um dos primeiros estudos voltados para o conforto térmico e que relacionam o clima e o homem foi o realizado pelos irmãos Olgay na década de 1950, no qual propuseram um diagrama que apresenta as condições de temperatura e umidade para o conforto do homem em um determinado clima (SILVA e KINSEL, 2006). O diagrama foi desenvolvido com base em uma carta psicrométrica e mostra uma zona de conforto<sup>6</sup> gerada a partir da relação entre: a temperatura de bulbo seco, a umidade relativa, a radiação solar e a velocidade do vento.

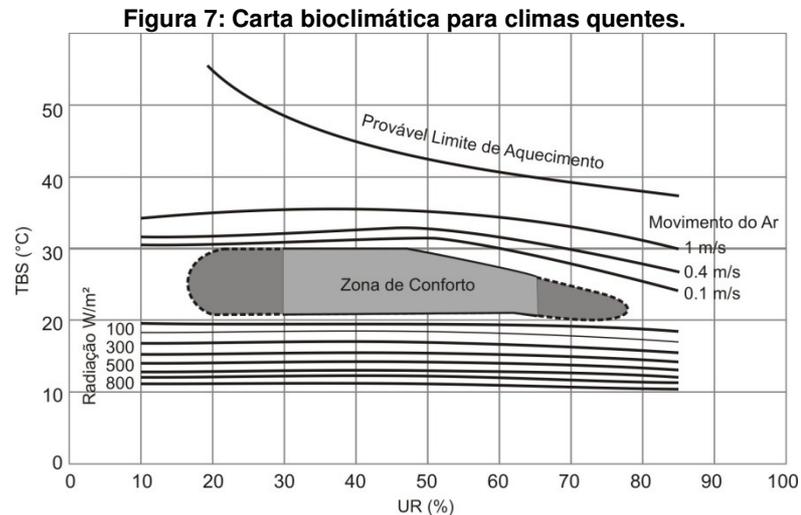
Tal diagrama ficou conhecido como carta bioclimática e foi desenvolvido para climas temperados. Conforme Frota e Schiffer (2001) e Lamberts, Dutra e Pereiral (2004), ela é mais indicada para as condições externas à edificação. Estudos posteriores feitos por

---

<sup>5</sup> Estado de equilíbrio do organismo vivo em relação às suas várias funções e à composição química de seus fluidos e tecidos (FERREIRA, 1975).

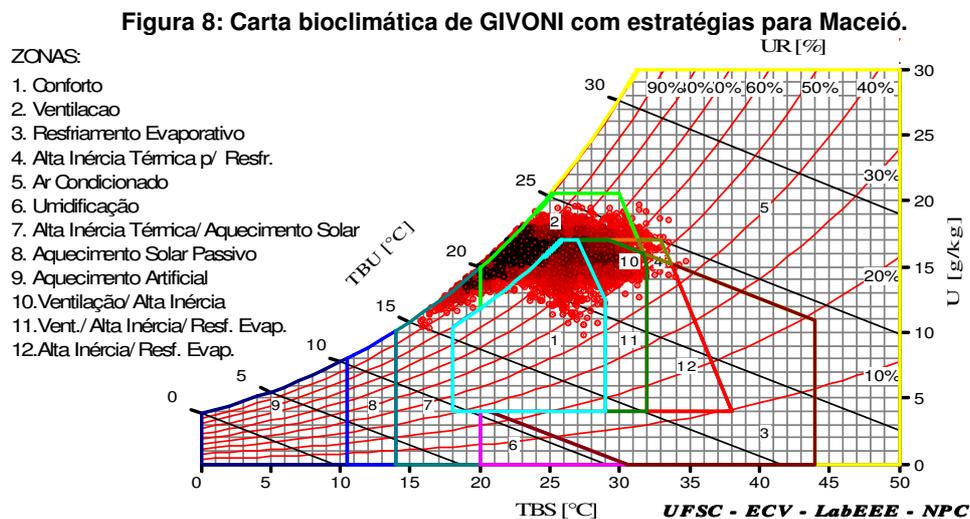
<sup>6</sup> Série de condições climáticas na qual a maioria das pessoas não sente desconforto térmico, nem por calor nem por frio (GIVONI, 1992).

Koenigsberger et al (1977) forneceram uma adaptação da carta bioclimática de Olgay para climas quentes (BOGO et al, 1994). Com base nessa carta, Szokolay (2004) salienta que as curvas acima da zona de conforto mostram como o movimento do ar pode estender o seu limite superior, como se vê na figura 7.



Fonte: Adaptado de SZOKOLAY (2004).

Na década de 1960, Givoni (1976) apresenta melhoramentos para a carta de Olgay. Ela é adaptada para países em desenvolvimento, e leva em consideração as edificações condicionadas naturalmente, por tal característica foi denominada *Building Bioclimatic Chart*, ou carta bioclimática do edifício. Apesar disso, é mais conhecida como carta biocimática de Givoni. Segundo Loureiro, Carlo e Lamberts (2002), a carta bioclimática de Givoni é construída sobre o diagrama psicrométrico e divide-se em 12 zonas que associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático local e as estratégias de projeto indicadas, como a estratégia 2 – Ventilação, por exemplo, como mostra a figura 8.



Fonte: Analysis Bio.

A carta apresentada na figura 7 mostra as estratégias adequadas para a cidade de Maceió – AL que, de acordo com o software AnalysisBio<sup>7</sup>, apresenta 83% das horas do ano de desconforto, sendo que 77,5% desse valor é de desconforto causado por calor. O *software* indica que a ventilação é a estratégia mais relevante para reduzi-lo, sendo necessária em 76,4% do período de desconforto, como se pode ver na quadro 1.

**Quadro 1: Porcentagem de conforto e de desconforto para Maceió – AL.**

Conforto	17%		Estratégias bioclimáticas		
Desconforto	83%	Calor	77,5%	Ventilação	76,4%
				Alta Inércia para resfriamento	14,6%
				Resfriamento evaporativo	8,6%
				Ar condicionado	0,4%
		Frio	5,45%	Alta inércia térmica / Aquecimento solar	100%
Total			100%		

Fonte: Analysis Bio V. 2.2 (2010).

Estudos, como os realizados por Givoni (1992) e Nicol (2004), demonstram a forte influência da ventilação natural para melhorar a sensação de conforto, que é conseguida devido à capacidade de resfriamento do vento (ROULET et al, 2002; GHIAUS e ALLARD, 2006), e que varia de acordo com sua velocidade e temperatura.

A velocidade do ar requerida para atingir o conforto aumenta com a temperatura do ar, pois o mesmo efeito de resfriamento deve ser obtido através de uma pequena diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente (GIVONI, 1976). Segundo Auliciems e Szokolay (1997), em climas quentes, velocidades internas de 1 m/s são consideradas agradáveis, e podem chegar a 1,5 m/s. Os autores salientam que velocidades acima desses valores podem causar incômodo por razões indiretas como o levantamento de papéis, por exemplo.

Bittencourt e Cândido (2005) fizeram uma revisão e constataram que a velocidade máxima considerada como aceitável pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s. Em regiões

<sup>7</sup> *Software* desenvolvido por LAMBERTS, GOULART, DUTRA e MENDES (2010) através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, que auxilia no processo de adequação de edificações ao clima local, a partir da indicação das estratégias bioclimáticas.

quente e úmidas, velocidades maiores que 2 m/s são aceitáveis e, sempre que possível, os ventos predominantes deveriam ser usados para alcançar este movimento de ar (GIVONI, 1976). Por isso, Aynsley (1999) afirma que os habitantes do trópico quente e úmido freqüentemente operam ventiladores de teto com velocidades que variam de 2 a 4 m/s para melhorar o seu conforto térmico interno, quando não o alcançam com a ventilação natural.

A influência da ventilação natural na sensação de conforto foi discutida por diversos autores, demonstrando que os modelos e índices de conforto térmico, inclusive normas, têm sido revisados em função da correta combinação da velocidade do ar com temperatura e umidade, principalmente para condições de climas quentes (TRINDADE, 2006; p. 29).

### 1.3.2 PMV - PPD

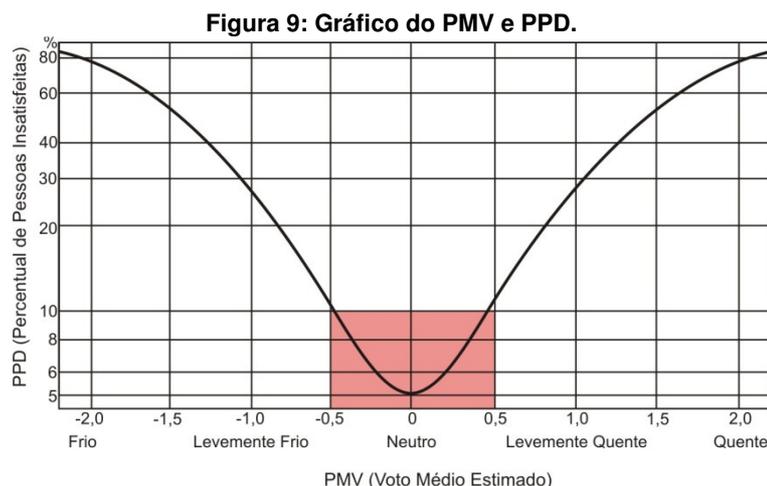
Nicol (2004) faz uma revisão sobre os índices de conforto e constata que o modelo de Fanger (1972), que é utilizado pela ISO 7730, não é adequado para as regiões de clima quente e úmido, pois, segundo o autor, a ISO 7730 superestima a resposta dos usuários à escala da ASHRAE-55 - 2004 para altas temperaturas e a subestima para baixas temperaturas.

O índice criado por Fanger – PMV e PPD<sup>8</sup> – baseia-se nas reações fisiológicas com origem nas condicionantes ambientais, isto é, é baseado no balanço térmico do corpo, que consiste em adotar o corpo humano como um elemento que troca calor com o meio circundante, onde a sensação de conforto é o resultado dessas trocas (CUNHA, 2010).

Esse índice teve origem em experiências de laboratório com humanos, com a finalidade de estimar a sensação térmica média das pessoas, baseado nas variáveis ambientais e pessoais, estabelecendo assim uma escala de sensações térmicas, como mostra a figura 8. Assim, ele tentou identificar a quantidade de pessoas insatisfeitas com o ambiente, seja por frio ou por calor. A ISO 7730 estabeleceu que, para um ambiente estar termicamente moderado para a ocupação humana, ele deve apresentar uma faixa de PMV de - 0,5 a + 0,5, ou seja, o PMV deve ser menor que 10%, figura 9.

---

<sup>8</sup> PMV – *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Estimado), PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Percentual de Pessoas Insatisfeitas)



**Fonte: Adaptado de FIGUEIREDO (2007).**

Apesar de o PMV e o PPD serem bastante utilizados, vale ressaltar que eles foram criados a partir de estudos com pessoas em regiões de climas frios e temperados, logo, para regiões de climas tropicais o emprego desses índices pode gerar controvérsias (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005), pois a abordagem do balanço térmico do corpo dá uma visão errônea da sensação térmica, e, por conseguinte, do conforto; particularmente sob as condições variáveis que são encontradas em edificações naturalmente ventiladas nos trópicos (NICOL, 2004), onde os usuários possuem o controle da abertura das janelas e da velocidade interna do ar (FIGUEIREDO, 2007). Nesse sentido, um novo modelo passou a ser estudado e é conhecido como modelo adaptativo.

### 1.3.3 Modelos Adaptativos

Os modelos adaptativos parecem ser os mais indicados para as regiões de clima quente e úmido, onde as edificações podem tirar partido da ventilação natural para alcançar o conforto. A abordagem adaptativa é baseada em estudos de campo sobre o conforto térmico e demonstra que as pessoas são mais tolerantes às mudanças de temperatura (DARBY e WHITE, 2005). Esses estudos relacionam a sensação térmica com a temperatura média mensal e foram realizados com pessoas em situações reais, em ambientes reais, onde elas, consciente ou inconscientemente, modificavam tais ambientes de modo a torná-los mais agradáveis.

Se as pessoas estão desconfortáveis elas irão agir de modo a mudar a sua roupa ou atividade, ou, onde for possível manusear equipamentos, abrir as janelas, fechar persianas ou ligar o ventilador, e, assim, modificar o ambiente para agradar a si mesmos (NICOL, 2004; p. 629).

O princípio apresentado anteriormente é conhecido como princípio adaptativo e, cada vez mais, vem sendo estudado e traduzido na forma de equações que determinam uma temperatura neutra, ou de conforto e, por conseguinte, uma zona de conforto correspondente.

Auliciems e Szokolay (1997) fizeram uma vasta revisão sobre os estudos em torno da temperatura neutra e suas equações. Segundo os autores, Humphreys (1975) *apud* Auliciems e Szokolay (1997), estudou durante um mês a dependência estatística da temperatura neutra com mínimas variações de temperaturas para usuários em ambientes internos e externos, e constatou uma variação de temperatura neutra de 17°C a 30°C. Mais tarde, Humphreys (1978) aperfeiçoou essa relação para ambientes internos naturalmente ventilados, que resultou na equação 4:

$$T_n = 11,9 + 0,534.T_m \quad [\text{Eq. 4}]$$

Onde:

$T_n$ , é a temperatura neutra no interior dos ambientes;

$T_m$ , é a temperatura média do exterior para o mês considerado

Outros dois estudos podem ser destacados da revisão feita pelos autores. Auliciems (1981) *apud* Szokolay (2004) usou uma extensa base de dados, que incluía edificações naturalmente ventiladas e condicionadas artificialmente, que foi expressa pela equação 5. De Dear et al (1997) *apud* Brager e de Dear, (2001), também analisaram uma grande base de dados referentes a estudos de campo feitos em 160 edificações naturalmente ventiladas e condicionadas artificialmente, distribuídas em quatro continentes. Essas análises deram origem à equação 6. No entanto, Szokolay (2004) argumenta que a equação 5 é muito semelhante à equação 6, isto é, seus resultados são muito próximos entre si e, por isso, o autor recomenda o uso da equação 5.

$$T_n = 17,6 + 0,31.T_m \quad [\text{Eq. 5}]$$

$$T_n = 17,8 + 0,31.T_m \quad [\text{Eq. 6}]$$

Vale ressaltar que a revisão feita por Auliciems e Szokolay (1997) envolveu um número maior de estudos, dos quais, apenas os que pareceram mais adequados a atender aos objetivos desta pesquisa foram comentados, ou seja, aqueles que levam em consideração edificações naturalmente ventiladas.

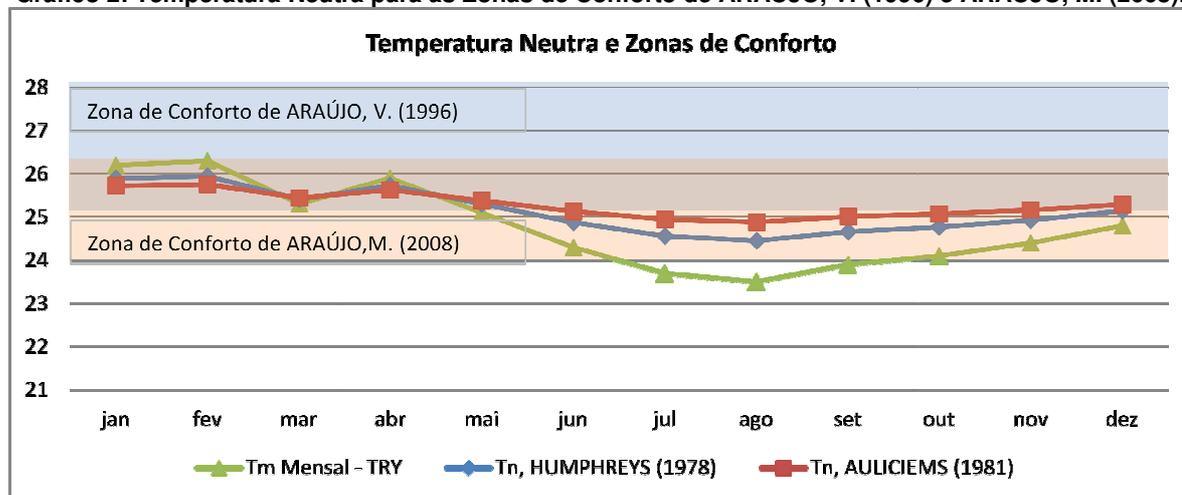
Semelhante revisão foi feita por Oliveira (2006), com o intuito de identificar a equação da temperatura neutra mais adequada para o clima quente e úmido; mais especificamente para a cidade de Natal – RN, de modo a ser utilizada como parâmetro de análise do conforto em residências unifamiliares. O autor constatou que o modelo de Humphreys (1978), expresso pela equação 4, seria o mais adequado. No entanto, Bittencourt e Cândido (2005), referem-se à equação 5, como também adequada ao clima quente e úmido.

Oliveira (2006) tomou como critério de escolha a zona de conforto descrita por Araújo, V. M. D. (1996), na qual a autora determina, através de estudos em escolas naturalmente ventiladas em Natal - RN, uma zona de conforto com temperatura de bulbo seco entre 25,1 °C e 28,1 °C, com velocidade do ar entre 0,12 m/s e 0,83 m/s e com umidade relativa de 69% a 92%.

Adotou-se o mesmo critério, porém, acrescentando o estudo realizado por Araújo, M. R. O. (2008), para escolas naturalmente ventiladas em Maceió – Al, cuja zona de conforto varia com temperatura de bulbo seco de 24 °C a 26,34 °C, com velocidade do ar entre 0,0 m/s e 1,57 m/s e com umidade relativa de 55,16% a 72,21%.

Aplicando a temperatura média do arquivo climático de referência TRY de Maceió nas equações 4 (HUMPHREYS, 1978) e 5 (AULICIEMS, (1981) *apud* SZOKOLAY, (2004)), foi possível observar a distribuição das temperaturas neutras de cada mês. Verificou-se que os dois modelos apresentam temperaturas neutras abaixo do limite estabelecido pela zona proposta por Araújo, V. M. D. (1996), no período de junho a novembro. Porém, encontram-se dentro da zona proposta por Araújo, M. R. O. (2008), como mostra o gráfico 2.

**Gráfico 2: Temperatura Neutra para as Zonas de Conforto de ARAÚJO, V. (1996) e ARAÚJO, M. (2008).**



**Fonte: Gerado a partir do TRY de Maceió - Al.**

Optou-se pela equação 4 para representar a temperatura neutra para Maceió-AL, tendo em vista que o modelo de Humphreys (1978) é aplicável somente para ambientes internos naturalmente ventilados, como o objeto de estudo deste trabalho, e está adequado aos limites estabelecidos pelas duas zonas de conforto indicadas como critério de escolha para este estudo.

Szokolay (2004) afirma que a zona de conforto baseada na temperatura neutra varia de - 2,5°C a + 2,5°C, para 90% dos usuários, enquanto que Brager e de Dear (2001) afirmam que ela pode ser estendida de - 3°C a + 3°C, para 80% dos usuários. Nesse

sentido, Nicol (2004) sugere que, em análise teórica, onde a velocidade do ar está acima de 0,1 m/s, é possível aumentar a temperatura de conforto em função da velocidade do vento, segundo a equação 7, ou através da figura 10.

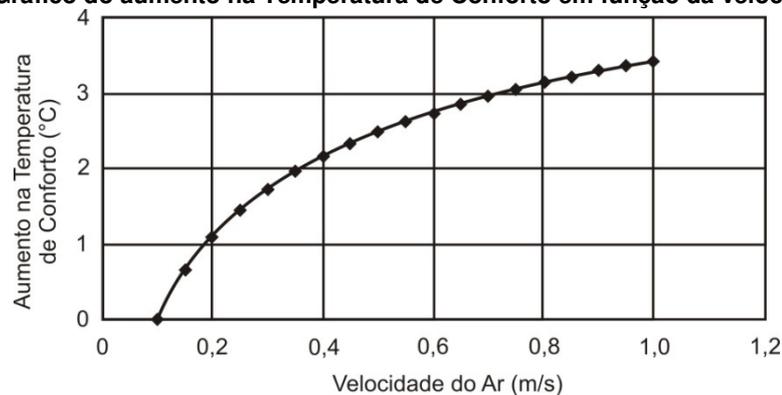
$$T_{\text{acres.}} = 7 - \frac{50}{4 + 10 \cdot v^{0,5}} \text{ } ^\circ\text{C} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Onde:

$T_{\text{acres.}}$ , é o acréscimo na temperatura de conforto,

$V$ , é a velocidade do ar ao nível dos usuários

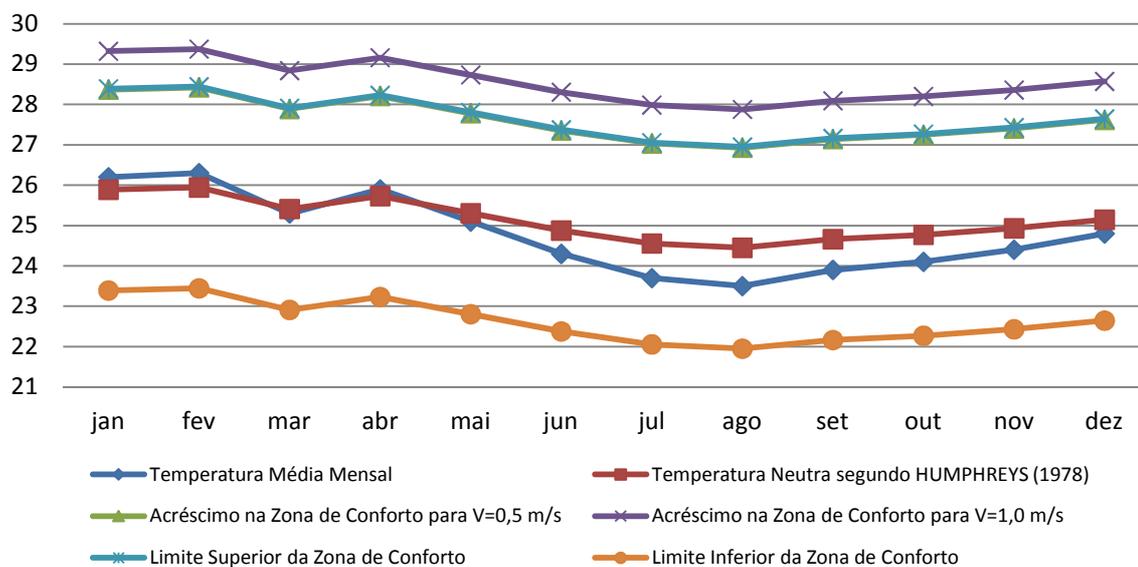
**Figura 10: Gráfico do aumento na Temperatura de Conforto em função da velocidade do ar.**



**Fonte: Adaptado de NICOL (2004).**

O gráfico 3 a seguir mostra a temperatura neutra baseada na equação 4, com a variação de  $\pm 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . No mesmo gráfico foi utilizada a equação 7 para calcular o acréscimo na zona de conforto para as velocidades de 0,5 m/s e 1,0 m/s. Percebe-se que o acréscimo na zona de conforto para a velocidade de 0,5 m/s é de 2,48  $^\circ\text{C}$  e praticamente coincide com a linha do limite superior da zona, que corresponde a + 2,5  $^\circ\text{C}$ . Quando a velocidade de 1,0 m/s é aplicada, o limite superior aumenta aproximadamente 3,43  $^\circ\text{C}$ . Esse pequeno teste mostra que a velocidade do ar tem um peso significativo para o conforto térmico, capaz de aumentar os limites da zona de conforto quando as condições do vento externo forem favoráveis, ou seja, quando houver disponibilidade de vento.

### Variação da Temperatura de conforto em função da Velocidade do Ar



Fonte: Gerado a partir do TRY de Maceió – AL.

#### 1.3.4 Zona de conforto de Macfarlane

De acordo com Aynsley (1999), muitos dos índices de conforto térmico desenvolvidos para edificações que não usam ar condicionado são baseados na temperatura de bulbo seco do ar para definir a zona de conforto térmico, com pequena possibilidade de acomodar influências do fluxo do ar ou da umidade. Uma exceção é o método desenvolvido por Macfarlane.

Macfarlane (1958) *apud* Aynsley (1999) desenvolveu um método que identifica zonas de conforto para lugares com latitudes maiores que 30° e menores que 30°. Para latitudes menores que 30°, como é o caso de Maceió, ele estabeleceu uma zona de conforto baseada na temperatura de bulbo seco de 27°C, que funciona como temperatura neutra, e que pode variar de 24°C a 30°C, isto é, mais ou menos 3°C.

No entanto, essa zona é ajustada com base em dados de umidade relativa, do calor radiante das temperaturas superficiais internas do ambiente quando maiores que 38°C, o que dificilmente ocorre em ambientes residenciais em Maceió, e computa a influência benéfica do fluxo do ar aumentando a zona de conforto. Logo, podem ser necessários ajustes para essa zona de conforto que são feitos de acordo com as seguintes regras:

- É ajustada para baixo para umidade relativa maior que 60%, na ordem de 0,8°C para cada 10% maior que 60%;
- E com calor radiante das temperaturas superficiais maiores que 38°C, na ordem de 0,55°C para cada 2,8°C maiores que 38°C;

- c) É ajustada para cima  $0,55^{\circ}\text{C}$  para cada  $0,15\text{ m/s}$ , desde que a temperatura de bulbo seco não exceda  $37^{\circ}\text{C}$ .

Aynsley (1999) aplicou o método da zona de conforto de Macfarlane para estimar o potencial de ventilação natural necessário para restaurar o conforto térmico em alguns ambientes de uma edificação residencial em Townsview, na Austrália, baseado em dados aferidos em túnel de vento e calculados de acordo com dados meteorológicos de janeiro de 1980 para mesma cidade, como mostra o exemplo da quadro 2.

**Quadro 2: Estimativa do potencial de ventilação natural para restaurar o conforto térmico.**

Janeiro de 1980 às 3h (Data)	TBS ( $^{\circ}\text{C}$ )	UR (%)	TBS ( $^{\circ}\text{C}$ ) Ajustada	UR ( $^{\circ}\text{C}$ ) Ajustada	Ventilação requerida (m/s)	Vel. Aeroporto 10m	Direção do vento	Coefficiente de velocidade do vento $C_v$	Ventilação da sala de estar (m/s)
1	28,2	61,1	1,2	0,088	0,351273	5,6	NE	0,96	4,78464
2	29,3	61	2,3	0,8	0,649091	5,1	NNE	1,1	4,9929
3	29,7	67,3	2,7	0,584	0,895636	7,7	NE	0,96	6,57888
4	26,9	79,2	-0,1	1,536	0,391636	5,1	NE	0,96	4,35744
5	24,8	95,3	-2,2	2,824	0,170182	5,6	NE	0,96	4,78464
6	27,3	87,3	0,3	2,184	0,677455	4,1	N	0,92	3,35708
7	29,7	59,6	2,7	-0,032	0,727636	4,1	SW	0,35	1,27715
8	31,1	58,5	4,1	-0,12	1,085455	2,1	NE	0,96	1,79424
9	29	74,5	2	1,16	0,861818	2,6	NW	0,44	1,01816
10	31	70,5	4	0,84	1,32	2,1	NNW	0,54	1,00926

Fonte: Adaptado de Aynsley (1999).

Segundo a quadro 2, o autor constatou que o potencial de ventilação de 0,96, representado pelo coeficiente de velocidade<sup>9</sup>, para o dia primeiro de janeiro foi suficiente para restaurar o conforto térmico da sala de estar, pois proporcionou uma ventilação de  $4,78464\text{ m/s}$  dentro do ambiente, valor superior ao da ventilação requerida de  $0,351273\text{ m/s}$ . Em contrapartida, no dia dez do mesmo mês, o coeficiente de velocidade de 0,54 não foi suficiente para restaurar o conforto do mesmo ambiente, pois a velocidade média do interior do ambiente foi de  $1,00926\text{ m/s}$ , enquanto que a requerida era de  $1,32\text{ m/s}$ , para as condições climáticas do dia.

Se o coeficiente de velocidade do dia dez, 0,54, fosse aplicado às condições climáticas do dia primeiro, a velocidade média do interior do ambiente seria  $2,69136\text{ m/s}$ , ou

<sup>9</sup> É a razão entre a velocidade média do ar no interior do ambiente pela velocidade média do ar externa em um ponto de referência na mesma altura.

seja, seria suficiente para restaurar as condições de conforto do ambiente no mesmo dia, diferente do ocorrido para o dia dez. Com este exemplo, percebe-se que o potencial de ventilação não pode ser analisado isoladamente, pois a capacidade de restaurar o conforto no ambiente é determinada fortemente pela disposição de vento do dia ou da hora do dia, 4,984 m/s no dia primeiro e 1,869 m/s no dia dez; assim como, da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa que influenciam na necessidade de maior ou menor velocidade do ar no ambiente.

#### 1.4 Rugosidade Urbana

A rugosidade é um parâmetro que expressa a morfologia geométrica da superfície (BARBIRATO *et al*, 2007) e está relacionada à altura dos elementos, como também, à forma e distribuição da densidade destes (OKE, 1996), ou seja, é o efeito conjunto da superfície do terreno e seus elementos rugosos que levam a um retardo do vento no nível do chão (PETERSEN *et al*, 1997), que pode ser expressa pela equação 8, a seguir:

$$Z_g = 0,5h \left( \frac{A^*}{A'} \right) \quad [\text{Eq.8}]$$

Onde:

$h$ , é a altura média do elemento de rugosidade (m)

$A^*$ , é a área de silhueta, ou área da face do elemento na direção perpendicular ao vento (m<sup>2</sup>)

$A'$ , é a área ocupada pelo elemento (m<sup>2</sup>)

Os valores típicos da rugosidade para terrenos urbanizados podem ser vistos na quadro 3, assim, quanto mais rugosa a área da superfície, maior é a sua resistência à passagem do vento, e menor será a velocidade dele. Pode-se dizer, então, que o decréscimo da velocidade do vento afeta seriamente o potencial de ventilação natural das edificações no ambiente urbano (ECTP, 1998), pois, os efeitos da urbanização, que cria grandes densidades construtivas com superfícies com alto grau de rugosidade, diminui os efeitos da ação do vento, com cerca de 20% de redução da sua velocidade, cujo efeito é maior quando ventos fracos ocorrem (EMMANUEL, 2005). Além disso, a variação na redução da velocidade pode ser de 10% a 30% em alguns cânions urbanos<sup>10</sup> (ECTP, 1998).

#### Quadro 3: Valores típicos da rugosidade para terrenos urbanizados

<sup>10</sup> É o espaço tridimensional limitado pela rua e pelas edificações que a definem (EMMANUEL, 2005).

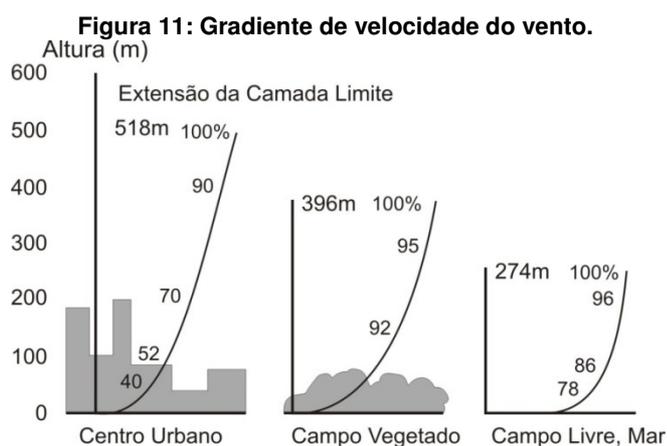
TERRENO	Z <sub>g</sub> (m)
Povoados esparsos (fazendas, vilas, árvores, sebes)	0,2 – 0,6
Suburbano, baixa densidade, residências e jardins	0,4 – 1,2
Suburbano, alta densidade	0,8 – 1,8
Urbano, alta densidade, fileira de edificações e blocos com < 5 pavimentos	1,5 – 2,5
Urbano, alta densidade urbana, blocos de multiandares	2,5 – 10

Fonte: BARBIRATO *et al*, 2007 apud OKE (1996)

Koenigsberger *et al.* (1974) concorda com o exposto acima, ao afirmar que o tecido urbano pode reduzir drasticamente a velocidade do vento devido à alta rugosidade da estrutura urbana e das deflexões causadas por estruturas localizadas próximas ao local que se quer estudar, modificando o perfil ou gradiente do vento, que é comentado a seguir.

### 1.5 Gradiente do Vento

A redução da velocidade do vento na cidade ocorre devido à sua fricção com a superfície, que transforma o seu fluxo laminar em turbulento no nível do solo. A fricção entre o ar e a cobertura da Terra produz uma gradação de velocidades do ar das baixas até grandes altitudes (BOUTET, 1987), onde, o incremento da velocidade ao longo de um eixo vertical varia de zero, na superfície terrestre, até uma velocidade igual à do fluxo livre de obstruções, gerando o gradiente de velocidade do vento (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005), como mostra a figura 11.



Fonte: Adaptado de SZOKOLAY (2004).

A altura do gradiente do vento é formada em função da rugosidade do entorno, isto é, em áreas planas e pouco adensadas, o fluxo do ar é praticamente livre e a velocidade do vento é constante ao nível do solo variando apenas verticalmente. Sabendo que o adensamento urbano, assim como a topografia e a vegetação influenciam na rugosidade do terreno e afetam diretamente o gradiente do vento, alterando a sua velocidade ao nível do

solo num eixo vertical, qualquer estudo que trate da ventilação considerando o meio urbano, precisa fazer a correção da velocidade, de acordo com as características do entorno.

Além disso, a velocidade do vento é normalmente medida em local aberto a partir de uma estação meteorológica a uma altura de 10m, logo, a correção deve ocorrer de maneira adequada à diferença de altura da edificação e de qualquer diferença nas condições do terreno quando traduzidas para o local da edificação (YANG et al, 2005). As equações 10 ou 11 podem ser usadas para fazer essa correção.

$$V/V_m = k z^a \quad [\text{Eq. 10}]$$

Onde:

V, é a velocidade média do vento na altura das aberturas de entrada do ar em (m/s);

V<sub>m</sub>, é a velocidade média do vento na estação meteorológica em (m/s);

Z, é a altura no centro geométrico da abertura (m);

k, a, são os coeficientes de rugosidade do terreno;

$$V(z) = V_{\text{ref}} * \frac{\ln \frac{Z}{Z_0}}{\ln \frac{Z_{\text{ref}}}{Z_0}} \quad [\text{Eq.11}]$$

Onde:

V(z), é a velocidade média do vento na altura das aberturas de entrada do ar em (m/s);

V<sub>ref</sub>, é a velocidade média do vento na estação meteorológica em (m/s);

Z, é a altura no centro geométrico da abertura (m);

Z<sub>ref</sub>, é a altura da estação meteorológica, geralmente 10m;

Z<sub>0</sub>, é a rugosidade para o entorno estudado

A correção feita a partir da equação 10, permite construir o perfil do gradiente de vento em função da altura das aberturas da edificação, da velocidade média do vento na estação meteorológica e das condições de rugosidade do terreno representadas pelos coeficientes **k** e **a**, que são dados frutos de estudos parametrizados em túnel de vento. A quadro 4 mostra os coeficientes de terreno para a equação 9 segundo o BRE (1978) *apud* Bittencourt (1993).

**Quadro 4: Coeficientes de terreno para a equação do perfil do vento**

TERRENO	k	a
Campo livre e plano	0,68	0,17
Campo com barreiras escalonadas	0,52	0,20
Área urbana (subúrbio)	0,35	0,25
Centro da cidade	0,21	0,33

Fonte: Adaptado de JACKMAN (1980) *apud* BITTENCOURT (1993).

A correção feita a partir da equação 10 utiliza o valor da rugosidade encontrado com a equação 8, quando for possível calculá-lo. Quando esse valor não puder ser calculado, mas é conhecido o tipo de terreno, pode-se recorrer aos dados quadrodos, como os da quadro 5.

**Quadro 5: Coeficientes de terreno e rugosidade**

TERRENO	K	a	Z <sub>0</sub>
Campo livre e plano	0,68	0,17	0,03
Campo com barreiras escalonadas	0,52	0,20	0,1
Rural			0,5
Urbano	0,35	0,25	1,0
Cidade	0,21	0,33	> 2,0

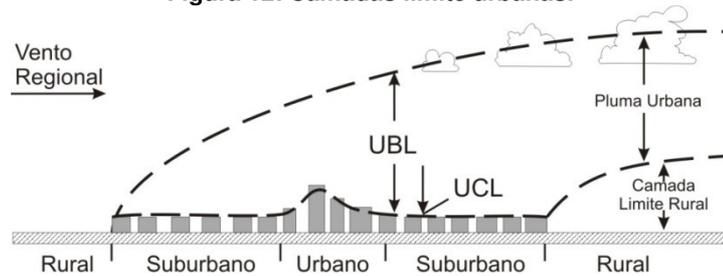
Fonte: Adaptado de SANTAMOURIS, 2002.

## 1.6 Ventilação ao redor da edificação

À medida que a superfície se modifica, o vento é afetado por ela e um fluxo turbulento é formado perto do solo, criando uma camada limite (SZOKOLAY, 2004), devido à rugosidade. Segundo Romero (2000), a camada limite aumenta com o aumento da rugosidade do solo e as velocidades do ar aumentam com a altitude, até a camada limite, a partir da qual permanecem mais ou menos constantes.

Essa camada limite é conhecida como UCL – *Urban Canopy Layer*, que é a camada urbana no nível da cobertura das edificações (OKE, 1987), a qual é formada devido à ação do vento que incide diretamente sobre essas coberturas. Acima dessa camada, está uma camada de subrugosidade (OKE, 1987) que recebe parte do efeito de turbulência provocado pela rugosidade urbana. A camada de subrugosidade junto com a UCL formam a UBL – *Urban Boundary Layer*, que é a camada limite que engloba os efeitos do vento sobre o tecido urbano e funciona como fronteira entre esta e o fluxo livre do vento, como mostra a figura 12.

**Figura 12: Camadas limite urbanas.**

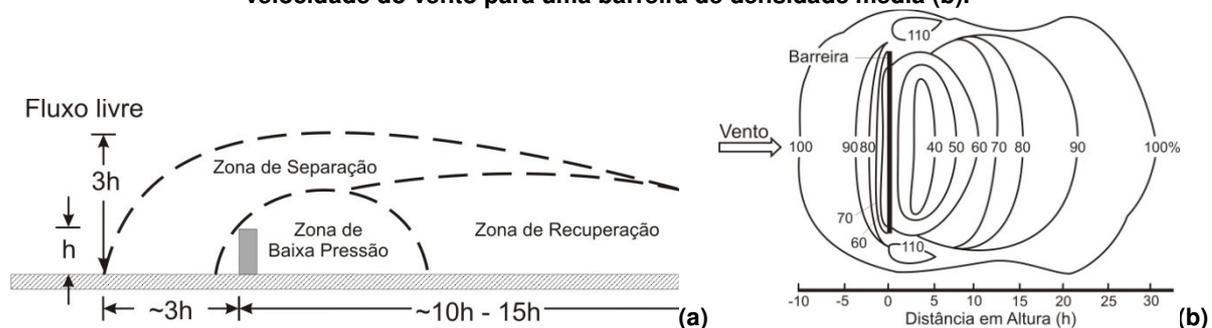


**Fonte: Adaptado de OKE (1987).**

Segundo Oke (1987), mesmo antes de o vento alcançar uma edificação ele começa a reagir, pois uma pressão é criada à frente dela, formando uma zona de separação. Em consequência, pressões diferentes se formam ao redor da edificação, como visto no item 1.1. A distribuição do fluxo de ar decorrente dessas diferentes pressões é complexa, e varia com a forma e dimensão da edificação, e da direção e velocidade do vento (BOUTET, 1987). Para Freixanet (2002), se a edificação tem a forma de um paralelepípedo regular com incidência de vento perpendicular, os padrões do fluxo podem ser estimados com certa facilidade.

Para Oke (1987), os fluxos podem ser expressos baseados na altura ( $h$ ) da edificação. E considera que uma zona de separação do vento com dimensão igual à  $3h$ , a partir do solo e, também,  $3h$  na frente da edificação é geralmente formada. A zona de baixa pressão da parte posterior da edificação pode variar de  $10h$  a  $15h$ , a partir da fachada frontal, até que o vento recupere seu fluxo, como na figura 13a. Essa amplitude, que pode chegar a  $30h$ , englobando a zona de recuperação, e varia em função da densidade da edificação, ou da barreira, isto é, em função da razão das áreas livres da barreira pela sua área vertical total, expressa em porcentagem, como mostra a figura 13b.

**Figura 13: Zonas geradas por um fluxo de vento padrão Normal à edificação (a) e Distribuição da velocidade do vento para uma barreira de densidade média (b).**



**Fonte: Adaptado de OKE (1987).**

Para Freixanet (2002), o padrão do fluxo do vento se baseia nas dimensões da edificação, onde a altura  $H$  e a largura  $W$  obedecem a relação da equação 11:

$$R = B_S^{0,65} * B_L^{0,33} \quad [\text{Eq.11}]$$

Onde:

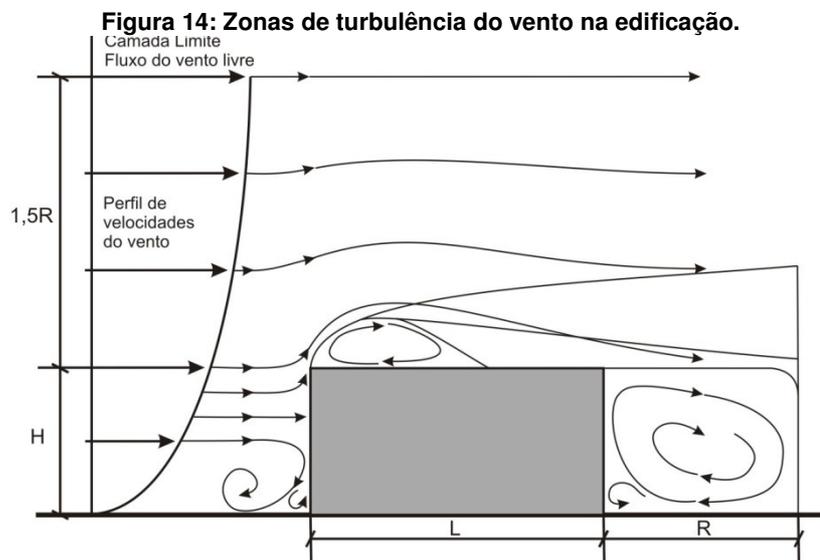
$R$ , é a escala de distância;

$B_S$ , é a menor dimensão entre  $H$  e  $W$ ;

$B_L$ , é a maior dimensão entre  $H$  e  $W$ ;

Quando  $B_L > 8B_S$ ,  $B_L = 8B_S$

Usando essa equação é possível determinar a extensão das zonas de diferentes pressões ao redor da edificação. Destaca-se, então, a camada limite onde o vento não é afetado pela edificação, que corresponde a aproximadamente  $1,5R$  a partir do telhado. Outro destaque vai para a zona de recirculação, que se forma atrás da edificação e tem aproximadamente a mesma medida de  $R$ , como mostra a figura 14.



Fonte: Adaptado de FREIXANET (2002).

Essas relações são importantes, pois, se os efeitos apontados acima forem aplicados a um arranjo ou conjunto urbano, será possível perceber como o adensamento urbano e, por conseguinte, a rugosidade urbana afeta o perfil de velocidade do vento. Muitos trabalhos aprofundaram o estudo da relação entre o vento e a edificação, como: relação entre a largura da barreira e a esteira de vento (EVANS, (1973) *apud* BITTENCOURT, CÂNDIDO, (2005)), a tipologia e forma da edificação (BOUTET, 1987), os tipos de arranjos construtivos (OLGYAY, 1973) e a relação das distâncias entre as edificações (LEE, HUSSAIN, SOLIMON (1979) *apud* BAUMAN, F.; ERNEST; ARENS, E (1988)) para melhor captar o vento.

Além desses aspectos, outro ponto relevante é que o cálculo dessas zonas pode auxiliar na configuração de modelos para estudo em CFD, que geralmente necessitam de

dados como: a dimensão da esteira de vento ou da camada limite superior para definir os seus domínios<sup>11</sup>.

### 1.7 Coeficiente de pressão

Como visto no item 1.1.3, a forma da edificação, a direção do vento, o perfil da velocidade na camada limite, a influência das edificações próximas, a vegetação e as características do terreno podem mudar o regime de escoamento do vento, alterando, também, o coeficiente de pressão (WALKER, 1992; ASHRAE, 2001; SEIFERT, LI, AXLEY, RÖSLER, 2006).

O coeficiente de pressão,  $C_p$ , é um parâmetro adimensional obtido empiricamente, baseado em resultados de estudos em túnel de vento. Ele independe da velocidade do vento, mas varia de acordo com a sua direção e posição espacial na superfície do edifício (LIDDAMENT, 1996). Isto é, cada ponto da fachada de uma edificação pode apresentar um coeficiente de pressão diferente. Por isso, só é possível obter valores de  $C_p$ s precisos com modelos de testes em túneis de vento, pois os  $C_p$ s não dependem do tamanho do corpo que recebe a pressão e sim das proporções entre as dimensões de suas faces (VERSAGE, 2009).

Apesar da afirmação anterior, Moeseke et al (2005) dizem que é difícil encontrar valores de  $C_p$ s adequados para alguns edifícios e ambientes externos, e explicam que esses valores podem ser obtidos de quatro maneiras diferentes: a) medições em escala real que, para os autores, é o meio mais preciso, porém seus resultados são válidos apenas para a situação estudada; b) testes em túnel de vento, que apresentam resultados mais relevantes pois podem ser testadas diferentes hipóteses, porém, são muito caros; c) Dinâmica dos fluidos computadorizada – CFD, com simulações que têm a mesma vantagem dos túneis de vento, com limitações apenas devido à capacidade de processamento do computador, e d) os modelos paramétricos, que levam em consideração características do edifício como as suas dimensões e parâmetros do vento como o ângulo de incidência. Eles são modelos simplificados e baseados em experimentos em túnel de vento e, apesar de os resultados serem menos precisos que os obtidos em túnel de vento, eles são bastante difundidos entre os arquitetos, por serem mais baratos, fáceis de trabalhar e gastarem menos tempo.

Uma boa predição dos coeficientes de pressão nas fachadas e cobertas é vital para os cálculos de ventilação natural, pois a precisão desses cálculos pode depender fortemente desses parâmetros, quando o vento é a força dominante (KNOLL, PHAFF, GIDS

---

<sup>11</sup> O domínio em um CFD corresponde ao espaço virtual onde o modelo de estudo será criado, que pode ser comparado a um túnel de vento convencional.

1996). Segundo a ASHRAE (2001a) e Grosso, Marino, Parisi (1995), as pressões médias do vento em uma superfície  $P_S$  são proporcionais às pressões exercidas pelo vento  $P_V$ , de acordo com a equação de Bernoulli, como mostra a equação 12.

$$P_V = \frac{\rho_a U_H^2}{2} \quad [\text{Eq.12}]$$

Onde:

$P_V$ , é a pressão média do vento na superfície (Pa);

$\rho_a$ , é a densidade do ar ( $\text{kg/m}^3$ );

$U_H^2$ , é a velocidade do vento na altura H (m/s)

Assim, a diferença entre a pressão da superfície  $P_S$  e a pressão atmosférica local no mesmo nível de um vento livre chegando na edificação é:

$$P_S = C_P P_V \quad [\text{Eq.13}]$$

Onde:

$C_P$ , é o coeficiente de pressão local na superfície da edificação.

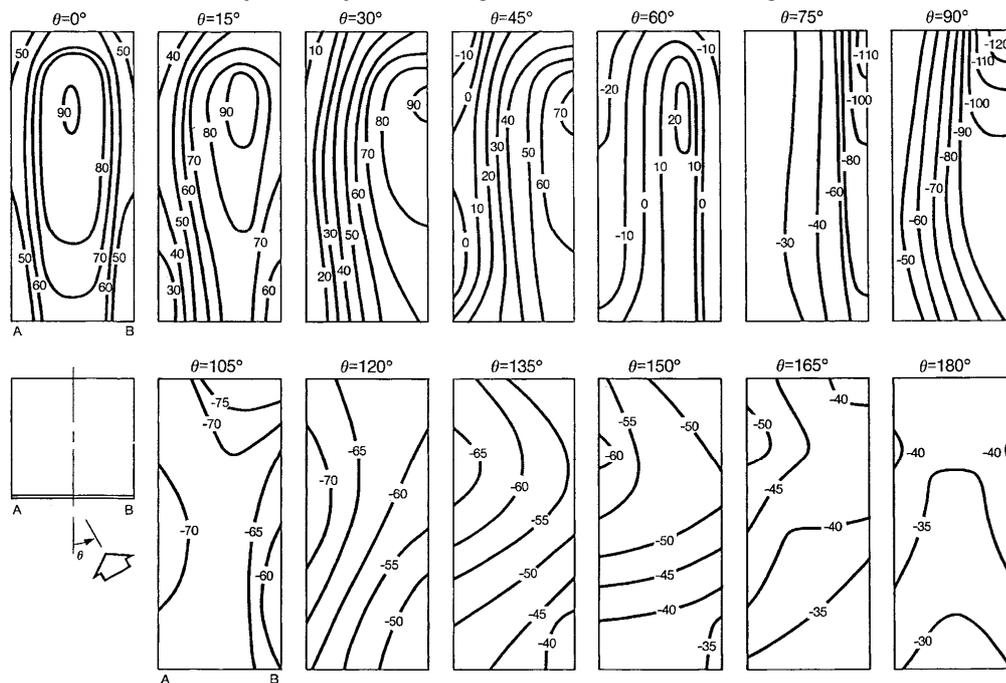
Segundo Bittencourt e Cândido (2005), pode ser representada pela equação 14:

$$P_S = C_P \frac{\rho_a U_H^2}{2} \quad [\text{Eq.14}]$$

Alguns estudos realizados com o intuito de quantificar e de mapear o comportamento das pressões exercidas pelo vento na superfície das edificações são apresentados pela ASHRAE (2001a). No estudo feito por Davenport e Hui (1982) *apud* ASHRAE (2001a), para edificações retangulares e em altura, isto é, com altura maior que três vezes a largura, e em condições de terreno urbano, os autores constataram que os coeficientes de pressão geralmente crescem com a altura da edificação, a qual reflete a rapidez com que a pressão aumenta no fluxo do vento que chega, assim como a velocidade do vento aumenta com a altura.

Os autores mapearam a pressão exercida pelo vento para ângulos de incidência que variaram de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , mostrado na figura 15, e perceberam que para incidências de vento de  $0^\circ$  a quase  $60^\circ$ , as pressões na fachada são predominantemente positivas, apesar de ocorrerem pequenas pressões negativas, zonas de sucção, entre os ângulos de  $45^\circ$  e  $60^\circ$ . As pressões tornam-se totalmente negativas na faixa entre  $60^\circ$  e  $180^\circ$ , com pico máximo de pressão negativa para o ângulo de  $90^\circ$  em relação à normal da fachada principal.

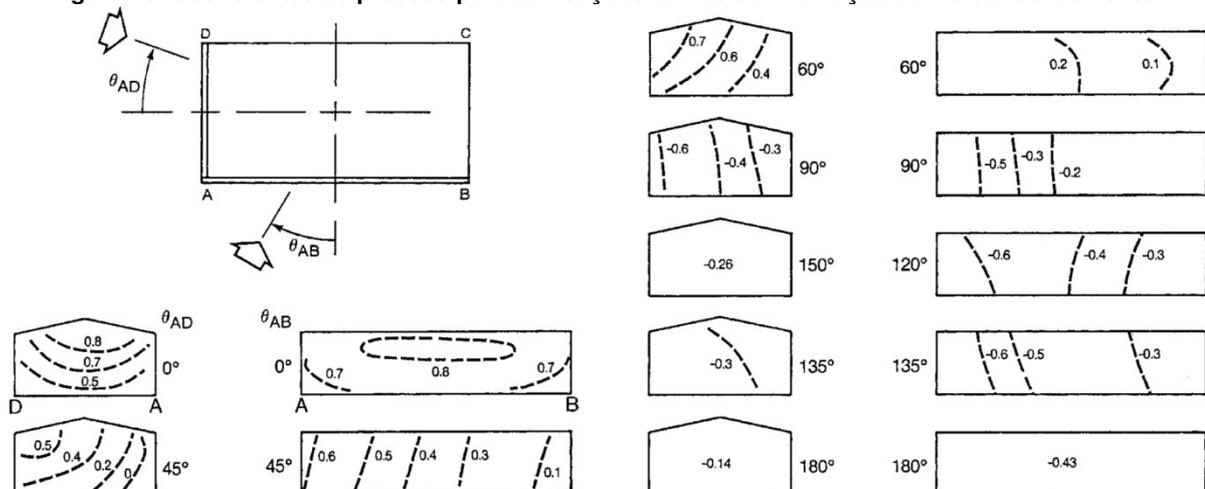
**Figura 15: Coeficientes de pressão para edificações em altura com variação de incidência do vento.**



**Fonte: Davenport e Hui (1982) apud ASHRAE (2001a)**

A norma também apresenta um estudo similar feito por Holmes (1986) *apud* ASHRAE (2001a), que foi realizado para edificações baixas, isto é, com altura menor que três vezes a largura. Os resultados foram semelhantes aos encontrados por Davenport e Hui, com pressões predominantemente positivas até 60° e apenas pressões negativas partir de 60° até 180°, como mostra a figura 16. Vale ressaltar que, para os dois casos, os melhores desempenhos dos coeficientes de pressão ocorreram para as incidências de vento perto à normal das fachadas, entre 0° e 45°. Os piores desempenhos foram notados na faixa entre 90° e 180°, pois apresentaram coeficientes de pressão reduzidos.

**Figura 16: Coeficientes de pressão para edificações baixas com variação de incidência do vento.**



**Fonte: Holmes (1986) apud ASHRAE (2001a)**

Swami e Chandra (1987), também estudaram edificações altas e edificações baixas ao desenvolver duas equações, uma para cada caso, nas quais procuraram estimar

o coeficiente de pressão para uma fachada, mas considerando o efeito das outras fachadas da edificação. Para as edificações baixas foram analisadas oito diferentes pesquisas baseadas no coeficiente de pressão médio da superfície, encontrando uma função não linear em relação ao ângulo de incidência (SORGATO, 2009). Segundo os autores o coeficiente de pressão encontrado com a equação 15 corresponde ao coeficiente de pressão normalizado  $NC_P$ , que é fruto do teste de diferentes parâmetros da edificação como: relação entre as faces, ângulos de incidência do vento e ângulo da cobertura, por exemplo. Esse coeficiente precisa ser corrigido de modo que se encontre o coeficiente de pressão real que, segundo Swami e Chandra (1987), corresponde ao valor do coeficiente normalizado multiplicado pelo coeficiente de pressão para o ângulo de incidência de  $0^\circ$ , cujo valor é 0,6.

$$NC_P = \text{Ln} \left[ C_0 + C_1 * \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) + C_2 * \text{sen}^2(\alpha) + C_3 * \text{sen}^3(2\alpha G) + C_4 * \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) + C_5 * G^2 * \text{sen}^2 \left( \frac{\alpha}{2} \right) + C_6 * \cos^2 \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right] \quad [\text{Eq.15}]$$

Onde:

$NC_P$ , é o coeficiente de pressão normalizado;

$\text{Ln}$ , é o logaritmo natural;

$\alpha$ , é o ângulo de incidência do vento ( $^\circ$ );

$G$ , é o logaritmo natural da razão  $S$ , que é a razão da dimensão da fachada principal pela dimensão de cada fachada adjacente;

Os coeficientes da equação são:

$$C_0 = 1,248 \qquad C_1 = -0,703$$

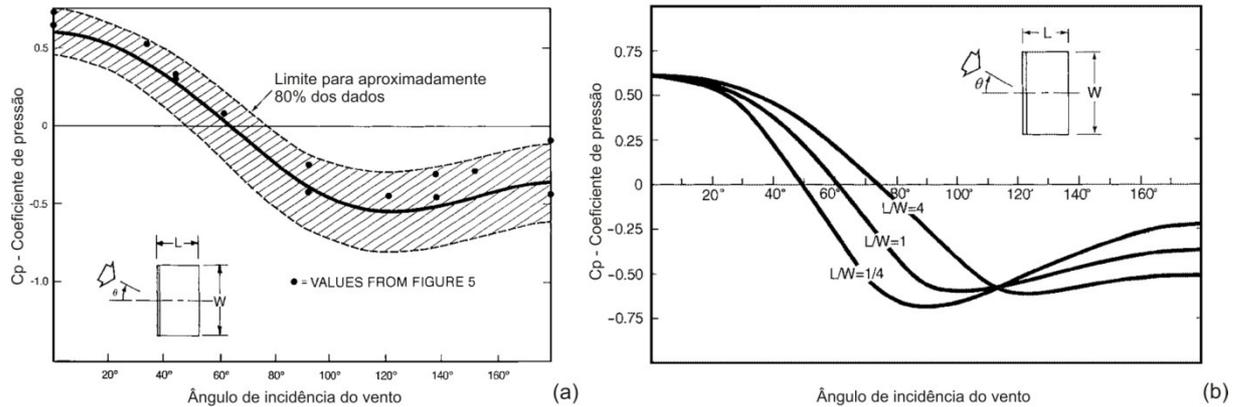
$$C_2 = -1,175 \qquad C_3 = 0,131$$

$$C_4 = 0,769 \qquad C_5 = 0,071$$

$$C_6 = 0,717$$

A figura 17a mostra o gráfico com os valores dos coeficientes de pressão calculados a partir da equação de Swami e Chandra (1987) *apud* ASHRAE (2001a) para edificações baixas. Resultados semelhantes foram obtidos por Akins (1979) *apud* ASHRAE (2001a) para edificações altas, que podem ser vistos na figura 17b. Nos dois casos os coeficientes de pressão tornam-se negativos mais ou menos a partir dos  $50^\circ$ , para 80% dos dados analisados. Percebe-se então, que as incidências de vento de  $0^\circ$  a  $45^\circ$  são as que proporcionam coeficientes de pressão mais altos para as edificações retangulares e em altura.

**Figura 17: Coeficientes de pressão para edificações baixas (a) e altas (b).**



Fonte: SWAMI e CHANDRA (1987) *apud* ASHRAE (2001a) e AKINS (1979) *apud* ASHRAE (2001a)

Além dos estudos em túnel de vento e das equações para calcular os coeficientes de pressão, existem os dados quadrosos, que reúnem informações sobre modelos simplificados que, assim como os outros, baseiam-se nas proporções da edificação e no ângulo de incidência do vento. No entanto, geralmente são aplicáveis para edificações retangulares com até três pavimentos.

Allen (1984) *apud* Versage (2009) apresenta vários códigos de boas práticas contendo quadros de coeficientes de pressão para diferentes formatos de edificações. No entanto, Versage (2009) ressalta que esses códigos foram elaborados a partir de estudos de pressão de vento para cálculos estruturais, cujos valores ajustados são considerados razoavelmente aplicáveis.

Quadros semelhantes foram elaboradas por Liddament (1996), as quais apresentam coeficientes de pressão para ângulos de 0° a 315°, definidos a cada 45°, cujos valores variam de acordo com a posição da fachada, da inclinação do telhado, da condição do entorno no qual a edificação está contida e da relação entre a sua largura, comprimento e altura. Os coeficientes de pressão apresentados por Liddament (1996) podem ser vistos na figura 18.

Figura 18: Coeficientes de pressão segundo LIDDAMENT (1996).

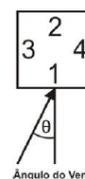
**Tabela A2.1 Dados de Coeficiente de Pressão do Vento**

Edifícios com até três pavimentos

Relação de comprimento: 1:1

Condição da cobertura: Exposta

Nível de referência da velocidade do vento: Altura do Edifício

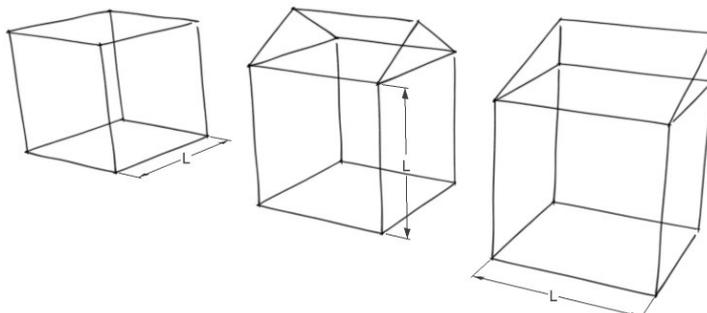


Localização	Ângulo do Vento								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
Fachada 1	0,7	0,35	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	
Fachada 2	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	0,7	0,35	-0,5	-0,4	
Fachada 3	-0,5	0,35	0,7	0,35	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	
Fachada 4	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	0,7	0,35	
Coberta < 10°	Frente	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7
	Fundo	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5
Média	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	
Coberta 11°-30°	Frente	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5
	Fundo	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5
Média	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	
Coberta > 30°	Frente	0,3	-0,4	-0,6	-0,4	-0,5	-0,4	-0,6	-0,4
	Fundo	-0,5	-0,4	-0,6	-0,4	0,3	-0,4	-0,6	-0,4
Média	-0,1	-0,4	-0,6	-0,4	-0,1	-0,4	-0,6	-0,4	

**Fonte: Adaptado de LIDDAMENT (1996)**

Outro meio de se obter coeficientes de pressão é através do uso de *softwares*. O CpCalc+, desenvolvido por Grosso, Marino, Parisi (1995), foi criado para se obter a distribuição dos coeficientes de pressão na envoltória da edificação, baseado em um modelo numérico desenvolvido a partir da análise paramétrica de resultados de estudos em túnel de vento desenvolvidos no Lawrence Berkeley Laboratory da Universidade da Califórnia.

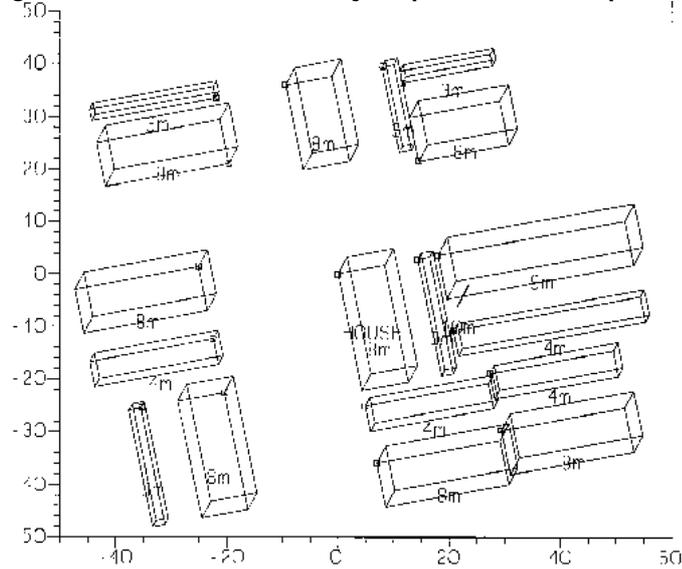
O CpCalc+ calcula o coeficiente de pressão em qualquer ponto da superfície de edificações com geometria retangular e que apresentam cobertura plana ou inclinada, como se vê na figura 19, levando em consideração a rugosidade do terreno, a densidade das edificações do entorno, a razão entre as dimensões da edificação, que implicam na sua forma, e a direção do vento.

**Figura 19: Exemplo de geometria de edificações para estudo no CpCalc+.****Fonte: Adaptado de Grosso, Marino, Parisi (1995)**

Outro *software* semelhante é o *TNO Cp Generator*, que foi desenvolvido por Knoll, Phaff, Gids (1996), cuja primeira versão só permitia estudos de coeficientes de pressão para edificações de geometria retangular e telhado plano. Atualmente, assim como o CpCalc+, o *TNO Cp Generator* prediz coeficientes de pressão nas fachadas de edificações com geometria simples com telhado plano ou inclinado (*TNO Building Research*, 2005). Ele

também computa os efeitos da rugosidade do entorno bem como dos obstáculos próximos à edificação, quando for o caso, como mostra a figura 20.

**Figura 20: Geometria de edificações para estudo no CpCalc+.**

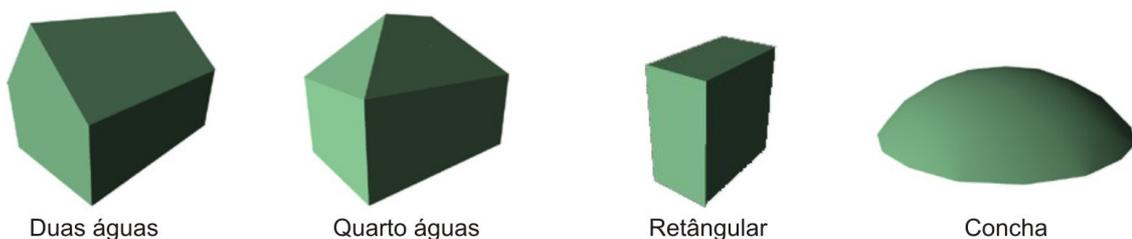


Fonte: Knoll, Phaff, Gids (1996)

O *TNO Cp Generator* está disponível na Internet e não requer instalação. Sua entrada de dados é feita baseada em um arquivo de texto que deve conter informações, como: o nome do modelo, as coordenadas de localização para cada elemento (x, y), a dimensão de cada elemento, isto é, sua largura, altura e comprimento; sendo que os elementos que fizerem parte do entorno da edificação estudada devem distar desta, no máximo, cinco vezes a altura da edificação, segundo o *TNO Building Research* (2005).

Uma alternativa com relação ao coeficiente de pressão é o site da Universidade Politécnica de Tóquio, no Japão, que apresenta diferentes bases de dados sobre o vento como, por exemplo: base de dados sobre ventilação cruzada, poluição do ar interna e externa, dados meteorológicos na forma de mapas de vento e uma base de dados para coeficientes de pressão de edificações com formatos específicos, isto é, edificação com telhado de duas águas e de quatro águas, edificação retangular com telhado plano e edificação com formato em concha, como mostra a figura 21.

**Figura 21: Edificações da base de dados da Universidade Politécnica de Tóquio.**



Duas águas

Quarto águas

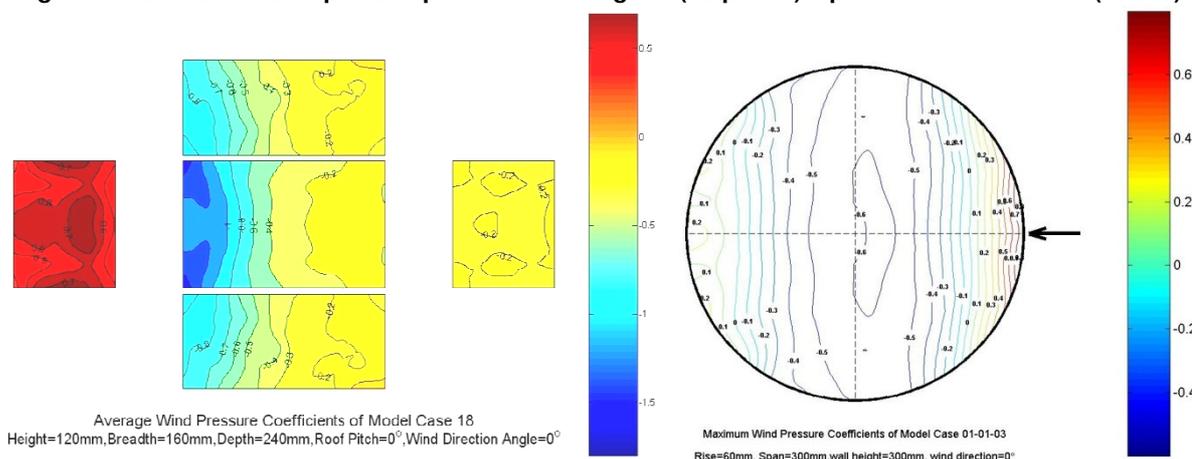
Retangular

Concha

Fonte: Tokyo Polytechnic University (2011)

O resultado dos coeficientes de pressão distribuídos nas fachadas de cada formato de edificação disponível na base de dados, é apresentado na forma de imagens que trazem gráficos esquemáticos das fachadas com linhas e cores que identificam o valor atribuído a cada coeficiente de pressão, como mostra a figura 22.

**Figura 22: Coeficientes de pressão para forma retangular (esquerda) e para forma em concha (direita).**



Fonte: *Tokyo Polytechnic University (2011)*

## 1.8 Característica das aberturas para ventilação

De modo geral, o movimento do ar dentro das edificações é afetado pela orientação, localização, tamanho, forma, pelo tipo das aberturas e pela proximidade de componentes arquitetônicos que podem modificar as diferenças de pressão e as características do fluxo do ar (NAVFAC, 1986; BOUTET, 1987; BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005; CÂNDIDO; 2006). As aberturas podem guiar o ar dentro de padrões específicos, além de regular a sua velocidade (BOUTET, 1987). Alguns desses itens são comentados a seguir.

### 1.8.1 Orientação, Localização e tamanho das aberturas

Como visto no item 1.1, em relação à edificação as aberturas devem ficar localizadas nas faces com pressões diferentes para que o fluxo de ar ocorra no sentido da zona com pressão positiva, onde deve ficar a abertura de entrada, para a zona com pressão negativa, onde deve ficar a abertura de saída.

A orientação das aberturas, em especial as janelas, tende a obedecer à orientação da edificação e, quando possível, devem ser voltadas aos ventos predominantes do local para melhor aproveitá-los. Do ponto de vista da otimização geométrica, ambos o tamanho e a posição das janelas são parâmetros importantes para se obter uma distribuição uniforme de velocidade do ar interna (AYATA e YILDIZ, 2006).

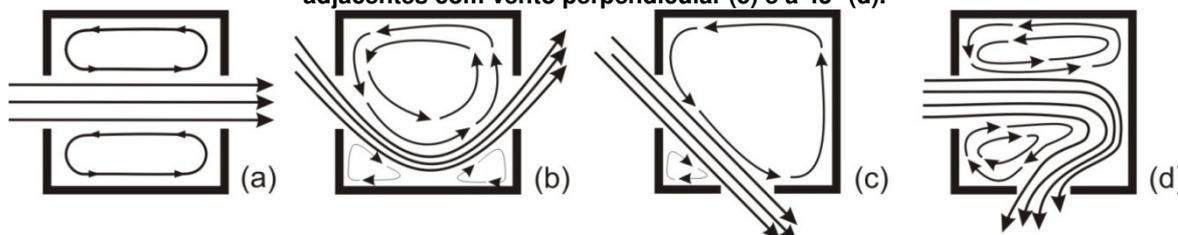
No entanto, a distribuição do ar no ambiente tem relação direta com as pressões do vento ao redor da abertura e também com a sua direção que, junto com a localização da

abertura no ambiente, vão determinar o padrão do escoamento interno do ar. Assim, a localização das aberturas pode produzir escoamentos de ar distribuídos ou concentrados no interior do ambiente (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

O tipo do escoamento a ser criado com a localização das aberturas vai variar de acordo com a função do ambiente, ou seja, em uma sala de estar o movimento do ar deve ocorrer no nível de uma pessoa em pé ou sentada, enquanto que em um quarto, esse movimento dever ocorrer no nível da cama (NAVFAC, 1986; BOUTET, 1987).

Basicamente, o propósito da localização das aberturas é propiciar a ventilação cruzada no nível do usuário. Givoni (1976) comenta que estudos feitos com aberturas posicionadas em paredes opostas e em paredes adjacentes, para ventos perpendiculares e a 45° das aberturas, mostraram que os melhores resultados ocorreram para a incidência do vento a 45°, para as aberturas em paredes opostas, figura 23b, e com incidência perpendicular, para as aberturas em paredes adjacentes, figura 18c.

**Figura 23: Aberturas em paredes opostas com vento perpendicular (a) e a 45° (b), e aberturas em paredes adjacentes com vento perpendicular (c) e a 45° (d).**



**Fonte: Adaptado de BOUTET (1987)**

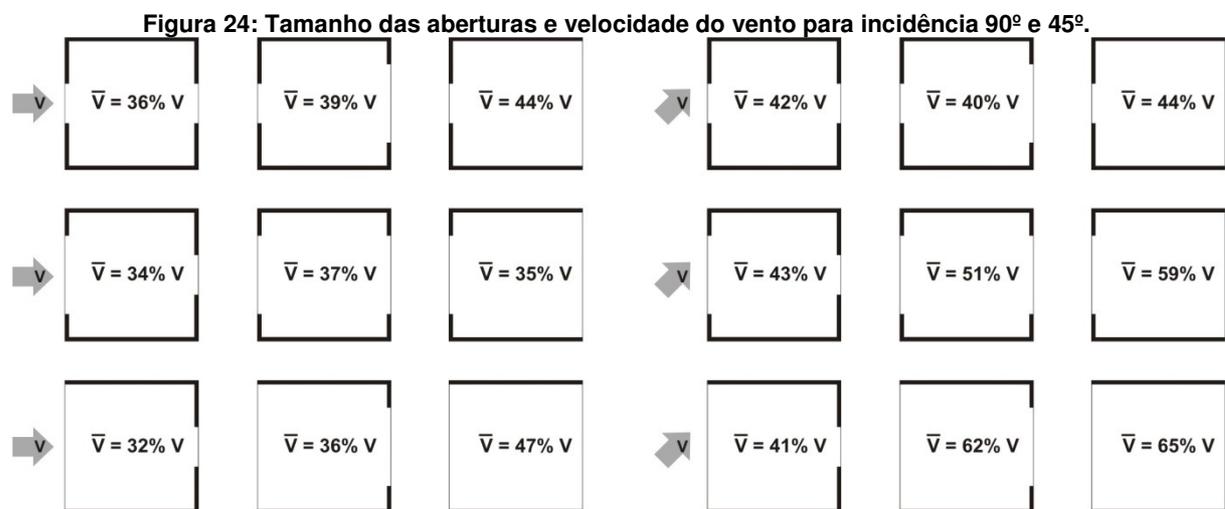
Nos dois melhores casos, o fluxo principal do vento percorre grande parte do ambiente e provoca zonas de turbulência nas proximidades das paredes adjacentes às paredes das aberturas, melhorando a distribuição do vento nos ambientes. Nos dois piores casos, figura 23a e 23d, o fluxo principal do vento é linear e provoca leve movimentação do ar nas áreas adjacentes. De acordo com Givoni (1976), os resultados dos estudos mostram que as melhores condições de ventilação são obtidas quando o fluxo do ar muda de direção no ambiente, do que quando o fluxo parte diretamente da abertura de entrada para a de saída.

Vale ressaltar que a posição da abertura de entrada é mais importante para o fluxo do ar interno do que a posição da abertura de saída (OLGYAY, 1973), pois é ela que, até certo ponto, orienta o fluxo do ar que entra no ambiente. Em geral, uma construção com aberturas distribuídas em diferentes fachadas aumentará o potencial para se obter uma adequada ventilação natural, pelo fato de produzir significantes gradientes de pressão em vários pontos da mesma (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Em contrapartida, a proporção entre as aberturas é capaz de provocar maiores ou menores velocidades do ar que entra, sendo fundamental para a questão do conforto térmico do usuário. Segundo Olgyay (1973), maiores velocidades internas do ar são alcançadas quando a abertura de entrada é menor que a abertura de saída.

Isto pode ser comprovado nos estudos feitos por Givoni (1976), figura 24, que verificou a porcentagem de velocidade interna para as aberturas de entrada e saída com variação de tamanho de 1/3, 2/3 e 3/3 da largura do ambiente, para incidência do vento perpendicular e a 45°. Os melhores resultados ocorreram para a incidência de vento de 45° em todos os casos. No entanto, para a incidência perpendicular, o melhor resultado ocorreu para a janela de entrada igual a 1/3, para as três variações de abertura de saída.

Vale ressaltar que para as duas incidências, comparando os casos com aberturas de entrada iguais às aberturas de saída, quanto maiores forem as aberturas, maior será a porcentagem de velocidade interna do ambiente, isto é, se o ambiente tem ventilação cruzada, o aumento no tamanho da janela tem um grande efeito na velocidade do ar interna, mas somente quando as aberturas de entrada e as aberturas de saída aumentam simultaneamente (GIVONI, 1976).



Fonte: Adaptado de GIVONI (1976)

### 1.8.2 Forma e tipo da abertura

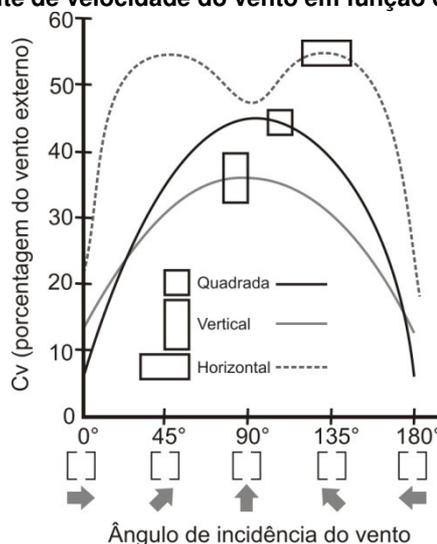
Certas características das aberturas de entrada, especialmente a forma, que apresentam bons resultados para ventos com incidência de 90°, também são capazes de prover ventilação para resfriamento igual ou melhor para ventos a 45° (GHIABAKLOU, 2010).

Alguns autores (NAVFAC, 1986; BITTENCOURT, 1993; GHIABAKLOU, 2010) comentam os estudos feitos por Sobin (1981) *apud* Bittencourt (1993) como um dos mais significativos no que se refere à forma das aberturas. Sobin (1981) *apud* Bittencourt (1993) comparou o desempenho da ventilação para três formatos de aberturas de entrada:

quadrada, vertical e horizontal. Ele constatou que o formato quadrado e o vertical apresentam coeficientes de velocidade<sup>12</sup>  $C_v$  crescentes, à medida que o vento passa de 0°, paralelo à abertura, com  $C_v$  próximo de 6% e 12%, respectivamente, até atingir o pico de coeficiente de velocidade para a incidência de vento a 90°, com quase 45% do vento externo, como mostra a figura 25.

Porém, o melhor desempenho ocorreu para a abertura com formato horizontal, que respondeu melhor à variação dos ângulos de incidência do vento, cujo coeficiente de velocidade mínimo aproxima-se de 20% para as incidências de vento paralelas à abertura, e alcança quase de 55% para os ângulos de 45° e 135°. Apesar de o coeficiente de velocidade para o formato horizontal de abertura diminuir com a incidência de 90°, aproximadamente 47%, ele ainda é maior que o pico dos outros formatos.

**Figura 25: Coeficiente de velocidade do vento em função da forma da abertura.**



**Fonte: SOBIN (1981) apud BITTENCOURT e CÂNDIDO (2005)**

Além do formato da abertura, o tipo da esquadria utilizada nas janelas também influencia no padrão do fluxo do ar no interior do ambiente. Segundo o *U. S. Department of Energy* (1997), as janelas de abrir são bastante efetivas para a ventilação, pois permitem a passagem de grande fluxo do ar no ambiente quando estão totalmente abertas. Cândido (2006) estudou outros três tipos de janelas: de correr, maxim-ar e pivô vertical. Apesar de o estudo ter sido feito para edifícios de escritório, os resultados também podem ser estendidos às edificações residenciais, pois, dependendo do tipo de edificação como edifícios multifamiliares, hotéis e pousadas, por exemplo, é possível encontrar nelas algumas dessas tipologias.

<sup>12</sup> O coeficiente de velocidade  $C_v$  é a medida da eficácia do movimento do ar no plano horizontal do ambiente que permite que a velocidade interna seja expressa como porcentagem do vento externo disponível (ERNEST, Bauman, Arens, 1991). É representado pela razão entre a velocidade média do ar no interior da edificação, medida a 1,5m, e a velocidade do vento externo livre de obstruções, medida na mesma altura (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Segundo a autora, a tipologia de correr direciona o fluxo do vento onde as folhas da janela encontram-se abertas, constituindo-se um fator negativo devido à baixa distribuição do fluxo do ar no ambiente que pode comprometer o resfriamento dos usuários. Vale ressaltar que essa tipologia utiliza, cerca de 50% da área da abertura original, que é normalmente quadrada, mas que se torna vertical ao ser aberta, comprometendo ainda mais o coeficiente de ventilação como visto anteriormente.

A tipologia maxim-ar obteve melhor desempenho no incremento da ventilação interna, cerca de 40% a 45% em relação à de correr. No entanto, a distribuição do fluxo do ar no ambiente foi ruim devido seu mecanismo de abertura que dificulta o insuflamento, e direciona o ar para cima, fora do nível do usuário.

Para a autora, o melhor desempenho ocorreu com a tipologia pivô vertical, que possibilitou uma distribuição mais uniforme do fluxo do ar no ambiente aliada a um incremento de velocidade da ordem de 30% em relação à tipologia de correr e maxim-ar.

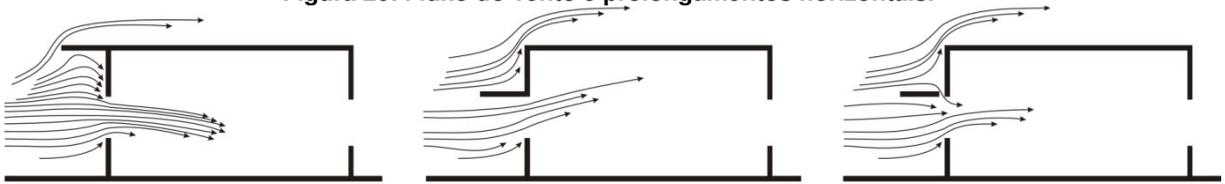
Em Maceió, é comum a adoção de aberturas quadradas que utilizam esquadrias de correr nas edificações residenciais multifamiliares, porém, a área efetiva para ventilação fica comprometida como exposto anteriormente. O ideal seria utilizar tipologias que permitissem a completa abertura das folhas para o formato quadrado de abertura, quando não fosse possível utilizar o formato horizontal. Vale ressaltar que, apesar de a decisão de qual formato ou tipologia de abertura utilizar ser de competência do projetista, muitas vezes os custos acabam norteando parte da decisão. Nesse sentido, os códigos de obras poderiam contribuir para a adoção de aberturas mais eficientes caso os índices de área da abertura fossem relacionados à porosidade da fachada e não à área de piso do ambiente (CÂNDIDO, 2006).

### **1.8.3 Componentes arquitetônicos próximos à abertura**

Os componentes arquitetônicos próximos à abertura podem ser divididos em componentes horizontais e componentes verticais. Nos dois casos, eles funcionam como elementos que direcionam o fluxo do vento alterando as pressões nas áreas próximas às aberturas.

Os componentes horizontais podem ser marquises, beirais ou sacadas. De acordo com Olgyay (1973), um prolongamento horizontal acima da abertura pode conduzir melhor o fluxo do vento que iria para a cobertura, para um nível mais baixo e melhor para a distribuição do ar no ambiente. Se o prolongamento estiver imediatamente na parte superior da abertura, o fluxo interno pode apresentar certo desvio para cima, caso isso ocorra, é interessante que haja uma fresta entre o prolongamento e a abertura, de modo que as pressões externas sejam equalizadas e produzam um fluxo de ar interno mais adequado ao nível do usuário, figura 26.

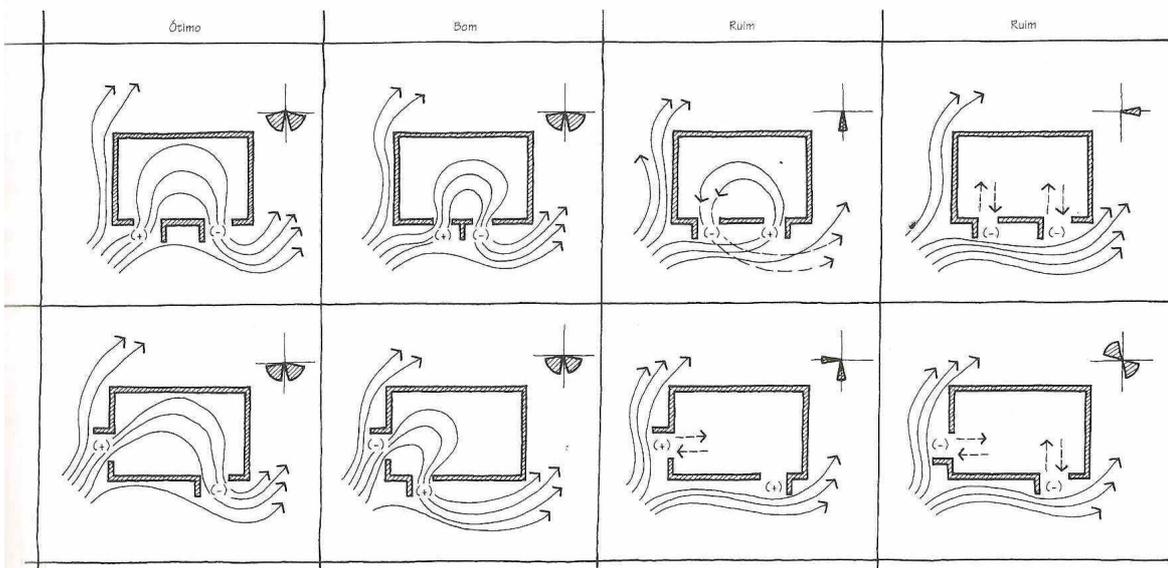
**Figura 26: Fluxo do vento e prolongamentos horizontais.**



Fonte: Adaptado de OLGAY (1973)

Os componentes verticais são bastante utilizados para produzir ventilação cruzada em ambientes com aberturas em apenas uma das paredes (NAVFAC, 1986). Se localizadas adequadamente, a diferença de pressão criada pode gerar correntes de ar onde antes o ar estaria estagnado. Brown e Dekay (2004) apresentam diferentes combinações de posições de aberturas em uma parede e em paredes adjacentes, que ilustram o fluxo ótimo, bom e ruim, que pode ser gerado com os saques verticais, figura 27.

**Figura 27: Uso dos saques verticais para o fluxo do vento ótimo, bom e ruim.**



Fonte: BROWN e DEKAY (2004)

### 1.9 Coeficiente de descarga

A geometria das aberturas oferece resistência à passagem do ar, que depende da configuração da janela e também é influenciada pelo ângulo de incidência do vento (HEISELBERG, 1999) e pelas pressões que ocorrem ao seu redor. Essa resistência é representada pelo coeficiente de descarga  $C_d$ , que é adimensional e relaciona a taxa de fluxo de ar média através de uma abertura, com a sua área e as diferenças de pressão correspondentes (LIMB, 1992).

De acordo com Chiu e Etheridge (2007), o coeficiente de descarga de uma abertura é facilmente determinado em laboratório, mas pode ser definido pela equação 16 (CHIU e ETHERIDGE, 2007; CHU et al, 2009):

$$C_d \cong \frac{q}{A} \sqrt{\frac{\rho}{2|\Delta p|}} = u \sqrt{\frac{\rho}{2|\Delta p|}} \quad [\text{Eq.16}]$$

Onde:

q, é a taxa de ventilação (m<sup>3</sup>/s);

A, é a área da abertura (m<sup>2</sup>);

ρ, é a densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>);

Δp, é a diferença de pressão estática na abertura (Pa)

Segundo Awbi (1998) e Chiu e Etheridge (2007), o coeficiente de descarga depende do formato da abertura e do número de Reynolds<sup>13</sup>, no entanto, Awbi (2005) afirma que para uma abertura quadrada, especificamente, o coeficiente quase não é influenciado por esse número e seu valor é de aproximadamente 0,61, e acrescenta que quando não se conhece o coeficiente de descarga de uma abertura qualquer, pode-se usar 0,65, desde que as bordas da abertura sejam retas.

Para Santamouris (2002), um valor representativo de coeficiente de descarga para aberturas internas é 0,65, e aproximadamente 1 para grandes aberturas internas, podendo ser adotado um valor médio igual a 0,78 para uma abertura padrão. Porém, Pelletret et al (1991) em um estudo feito para grandes aberturas constataram que o coeficiente de descarga diminui com a altura da abertura e sugerem que, para aberturas com altura H e obedecem a relação 1,5m < H < 2m, o coeficiente de descarga é regido pela relação  $C_d = 0,21H$ , e vale em média 0,45 para aberturas mais altas que 2m.

Aynsley, Melbourne, Vickery (1977) apresentam coeficientes de descarga para aberturas de entrada do ar, para aberturas intermediárias e para aberturas de saída. Para os dois primeiros tipos, os autores determinam o coeficiente de descarga baseado na porcentagem da parede ocupada pela abertura, como mostra o quadro 6. Para as aberturas de saída os coeficientes são determinados com base na razão entre a área da abertura de saída  $A_s$  pela área da seção transversal do ambiente  $A_t$ , como mostra a figura 28.

**Quadro 6: Coeficientes de descarga para aberturas de entrada e para aberturas intermediárias**

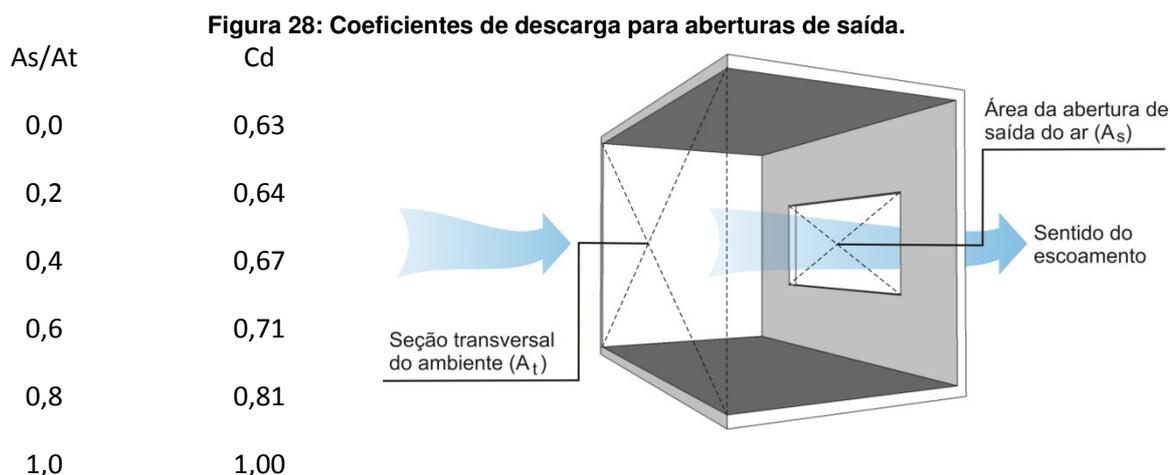
Características da abertura	$C_d$	Característica do escoamento
Pequenas aberturas em paredes finas, menos de 10% da área da parede, perto do centro da parede.	0,50 – 0,65	Baixa inércia devido à reduzida área da parede,

<sup>13</sup> Parâmetro adimensional usado para distinguir o fluxo laminar do fluxo turbulento. (AYNSLEY, MELBOURNE, VICKERY 1977).

		massa do jato de ar.
Aberturas medindo de 10% a 20% da parede, próximas do centro da parede, com a forma geométrica da janela semelhante à seção transversal do ambiente.	0,65 – 0,70	Significativa inércia devido ao aumento da massa de ar do escoamento.
Aberturas medindo de 10% a 20% da parede, possuindo um limite comum com a divisão do espaço, como uma porta ou uma janela localizada no canto da parede.	0,70 – 0,80	A proximidade de uma das paredes reduz as perdas de energia em um dos lados do jato de ar.
Aberturas similares em forma e tamanho à seção transversal do ambiente.	0,80 – 0,90	A proximidade das superfícies que formam o perímetro do ambiente reduz significativamente as perdas de energia devido à turbulência.

Fonte: Aynsley, Melbourne, Vickery (1977).

Vale ressaltar que, nos dois casos, a incidência do vento é perpendicular à abertura e quanto maior for a relação entre a área da abertura de entrada e a da parede ou da abertura de saída e a área da seção transversal, maior será o coeficiente de descarga, ou seja, menor é a resistência da abertura à passagem do vento.



Fonte: Adaptado de Aynsley, Melbourne, Vickery (1977)

### 1.10 Estimativa da ventilação natural

A previsão da performance da ventilação provê informações a respeito dos parâmetros do ar interno em um ambiente ou em uma edificação, mesmo antes de ela ser construída (CHEN, 2009).

Existem muitas técnicas de cálculo para determinar a ventilação e os parâmetros relativos ao fluxo de ar nos edifícios (LIDDAMENT, 1996). Essas técnicas variam em complexidade e são utilizadas geralmente para estimar as taxas de renovação do ar, a velocidade do vento, a relação entre a velocidade do ar e as características da edificação, o tamanho das aberturas e, inclusive, situações mais elaboradas que envolvem temperatura e o consumo de energia da edificação, por exemplo.

Para alguns autores, esses modelos podem ser divididos em: modelos analíticos e empíricos, modelos de rede, modelos de zonas e modelos CFDs (LIDDAMENT, 1986; SANTAMOURIS, 2002; CHEN, 2009). Esses modelos são comentados a seguir.

### 1.10.1 Modelos analíticos e empíricos

À medida que as preocupações com projeto e o desempenho das edificações têm se tornado mais evidentes, está crescendo a importância do entendimento e do uso de técnicas numéricas (LIDDAMENT, 1996), como os modelos analíticos e empíricos. Os modelos analíticos ou teóricos são provavelmente os modelos mais antigos para a predição da performance da ventilação natural, pois são derivadas de equações fundamentais de dinâmica dos fluidos e transferência de calor, como as equações de conservação de massa, momento, energia e espécies químicas (CHEN, 2009).

Esse modelo baseia-se em uma análise teórica e simplificada da ventilação que permite a execução dos cálculos (LIDDAMENT, 1996). O resultado dos modelos analíticos é geralmente uma equação que é válida apenas para o caso em questão, podendo ser utilizada para situações similares com as adaptações necessárias ao novo estudo. Para CHEN (2009), este modelo ainda é amplamente usado pela sua simplicidade, por ser rico em conceitos físicos, e que requerer poucos recursos computacionais, embora não seja tão preciso para estudos de ventilação complexos, onde os resultados podem não ser tão informativos.

Os modelos empíricos são semelhantes aos analíticos, pois são derivados de equações de conservação de massa, energia e de espécies químicas. No entanto, a diferença consiste em os modelos empíricos muitas vezes utilizarem e produzem dados experimentais oriundos de medições reais ou de simulações avançadas em computador, para determinar os seus coeficientes e equações, que são úteis para uma gama maior de situações.

A equação 2, item 1.2.1, que determina o número de renovações de ar por hora, a equação 10, item 1.5, utilizada para a correção da velocidade do vento em função do terreno e da altura da abertura do ambiente, assim como os coeficientes de pressão, item 1.7, e os coeficientes de descarga, item 1.9, são exemplos de modelos empíricos bastante utilizados.

Outro exemplo é o *British Standard Method*<sup>14</sup> (SANTAMOURIS, 2002) que estabelece equações para o cálculo da taxa de ventilação pela ação do vento para ambientes com ventilação cruzada, equação 17. Vale ressaltar que em edifícios com muitas aberturas a área global equivalente é calculada adicionando aritmeticamente as aberturas

---

<sup>14</sup> É um padrão britânico para cálculos de ventilação que propõe fórmulas para cálculo da taxa de ventilação para configurações de abertura unilateral e de ventilação cruzada, por exemplo.

em paralelo, mas para as aberturas em série essa área deve ser obtida pela adoção do inverso dos quadrados, equação 18 (AYNSLEY, MELBOURNE, VICKERY, 1977).

$$Q_w = C_d A_w V \sqrt{\Delta C_p} \quad [\text{Eq.17}]$$

Onde:

$Q_w$ , é a taxa de ventilação ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$C_d$ , é o coeficiente de descarga;

$A_w$ , é a área equivalente das aberturas ( $\text{m}^2$ );

$V$ , é a velocidade média do vento ( $\text{m/s}$ );

$\Delta C_p$ , é a diferença de pressão entre as aberturas de entrada e saída do vento

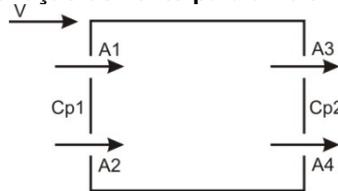
(Pa);

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)} + \frac{1}{(A_3 + A_4)} \quad [\text{Eq.18}]$$

Onde:

$A_1, A_2, A_3$  e  $A_4$ , são as áreas das aberturas de entrada e de saída, figura 29.

**Figura 29: Ventilação por ação do vento para ambiente com muitas aberturas.**



**Fonte: SANTAMOURIS (2002).**

Santamouris (2002) também apresenta o método proposto por Aynsley, Melbourne, Vickery (1977), equação 19, que assume a existência de duas aberturas dispostas em paredes opostas. Segundo o autor, o maior interesse desse método é a simplicidade e eficiência em prover uma estimativa precisa da taxa de ventilação global em uma edificação com ventilação cruzada.

$$Q = \sqrt{\frac{(C_{p1} - C_{p2})}{\frac{1}{A_1^2 C_{d1}^2} + \frac{1}{A_2^2 C_{d2}^2}}} V_z \quad [\text{Eq.19}]$$

Onde:

$C_{p1}$  e  $C_{p2}$ , são os coeficientes de pressão nas fachadas da edificação;

$C_{d1}$  e  $C_{d2}$ , são os coeficientes de descarga de acordo com a configuração da abertura;

$A_1$  e  $A_2$ , são as áreas correspondentes de cada abertura;

$V_z$ , é a velocidade de referência do vento.

### 1.10.2 Modelos de rede

Os modelos de rede foram desenvolvidos para realizar estudos mais complexos sobre a ventilação natural, quando comparados aos modelos analíticos e empíricos, pois trabalham com um maior número de ambientes. Eles também são baseados em equações de balanço de massa, momento e energia. Segundo Santamouris (2002), nesse modelo, a edificação é considerada como uma grade que é formada por um determinado número de nós, os quais representam as zonas simuladas (ambiente interno) e o ambiente externo.

Cada nó é conectado ao outro através de uma ligação que permite a interação entre eles. Essas ligações representam as aberturas da edificação por onde passa o fluxo do vento. Esse modelo depende das pressões externas para funcionar e a relação entre cada fluxo do vento, ligação, e a pressão deve ser especificada para cada elemento ou nó (GU, 2007), dessa forma, o valor das pressões de cada nó interno é calculado através das ligações, para que as taxas de ventilação sejam determinadas. A figura 30 mostra um esquema do modelo de rede do *software* EnergyPlus<sup>15</sup>, e ilustra as zonas com suas ligações e nós externos.

**Figura 30: Esquema de funcionamento de um modelo de rede.**



Fonte: GU (2007).

Esses modelos servem de base para o desenvolvimento de programas para estudos de ventilação natural ou mecânica no ambiente interno (CHEN, 2009), como também, para dispersão de particulados contaminantes (WALTON e EMMERICH, 1994), gases tóxicos (GU e SWAMI, 1993), estudo integrado do fluxo do ar e calor (HENSEN, 1995) e sistemas HVAC e de consumo de energia (MODERA e TREIDLER, 1995).

### 1.10.3 Modelos de zonas

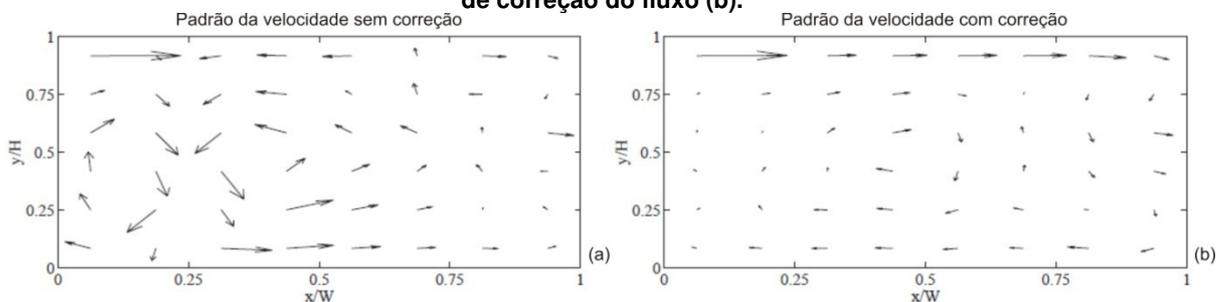
<sup>15</sup> Software desenvolvido para simular o desempenho termo-energético das edificações

Para alguns autores (MORA et al, 2002; CACIOLO, MARCHIO, STABAT, 2009) os modelos de zona são uma abordagem intermediária entre modelos nodais simples<sup>16</sup>, que dão informações sobre o fluxo do ar, e modelos CFD, que dão informações detalhadas de temperatura e sobre a distribuição do ar e são intensivos computacionalmente. Significa que esses modelos são mais rápidos que os CFDs e geram mais informações que os modelos com apenas um nó.

Eles funcionam com a informação da pressão para prever a ventilação ou a temperatura nos espaços internos. Para isso, o ambiente é dividido em pequenas células, partes, onde a temperatura e a densidade são tomadas como homogêneas, e a pressão varia hidrostáticamente. É dentro de cada célula que as equações de fluxo do ar e temperatura são calculadas (CHEN, 2009).

Os modelos de zona apresentam muitas equações para resolver os problemas a serem estudados, no entanto, pode ser necessária a configuração de funções adicionais auxiliem na produção de um resultado mais adequado e fiel à realidade. A figura 31 mostra um estudo feito por Rajaratnan (1976) *apud* Mora et al. (2002), que mostra o fluxo do vento com a configuração padrão de um modelo de zona, figura 26<sup>a</sup>, e um modelo com a configuração de uma função que corrige o padrão do fluxo do vento, figura 26<sup>b</sup>.

**Figura 31: Padrão do fluxo do vento em um modelo de zona com configuração padrão (a) e com função de correção do fluxo (b).**



**Fonte: RAJARATNAN (1976) *apud* MORA et al. (2002).**

Como cada célula precisa ser configurada, a preparação dos modelos de zona requer muito tempo para ser preparado com os dados de entrada, o que faz desse processo mais logo que o mesmo processo nos CFDs (CACIOLO, MARCHIO, STABAT, 2009). Além disso, quando a força motora do fluxo de ar é considerada, o tempo de processamento aumenta e o sistema de equações se torna instável.

Segundo Megri e Haghghat (2007), talvez esse seja o motivo de, até hoje, não exista nenhum programa comercializado que utilize a abordagem dos modelos de zona. E completam que ainda não foram feitos estudos que tratem dos conflitos que ocorrem quando muitos fluxos de ar estão envolvidos no modelo, fazendo necessário que uma nova geração

<sup>16</sup> Modelo nodal simples ou *single-node-model*, é um modelo de rede com uma única zona e com um único nó (CACIOLO, MARCHIO, STABAT, 2009).

de modelos de zona para aplicações particulares seja desenvolvida e inclua bancos de dados para essas aplicações específicas.

#### **1.10.4 Modelos CFDs**

Os CFDs têm origem entre as décadas de 1960 e 1970, fruto do desenvolvimento da engenharia aeroespacial (ANDERSON, 1995). Os primeiros CFDs apresentavam seus resultados em fluxos bidimensionais, devido às limitações dos algoritmos e dos computadores da época. A partir da década de 1990, eles foram aperfeiçoados e seus resultados passaram a ter visualização tridimensional, estabelecendo-se como importantes ferramentas de projeto para a engenharia aeroespacial, mecânica, civil, naval e nas indústrias.

A maioria dos programas de CFD são baseados nas soluções das equações de Navier-Stokes, isto é, equações de conservação de energia e massa, assim como equações de transporte para velocidades turbulentas de acordo com seu perfil, que permitem informações detalhadas sobre a pressão, velocidade e temperatura em cada ponto (GASPAR, BARROCA, PITARMA, 2003; CACIOLO, MARCHIO, STABAT, 2009).

Esse modelo é computacionalmente mais intensivo que os modelos de zona e requerem grande capacidade de memória e processamento (MORA et al., 2002) e pode ser utilizado para estudos do fluxo do ar e suas forças no ambiente externo à edificação, e também, em estudos da distribuição da velocidade do vento e do padrão do fluxo no interior dos ambientes (GASPAR, BARROCA, PITARMA, 2003; EVOLA e POPOV, 2006).

Para Caciolo, Marchio, Stabat (2009), eles têm sido aplicados com sucesso em diferentes situações no projeto da ventilação natural, como por exemplo, no cálculo dos coeficientes de pressão do vento, na determinação da velocidade do ar e da distribuição da temperatura em espaços naturalmente ventilados e no cálculo do fluxo do vento dentro e fora da edificação.

Os resultados dos CFDs são diretamente análogos aos resultados dos túneis de vento obtidos em laboratório (ANDERSON, 1995). Além disso, são menos dispendiosos por não necessitarem de grandes equipamentos ou da confecção de modelos reduzidos, ocupam menos espaço que os túneis de vento e não requerem grande número de pessoas para manutenção ou suporte técnico. Contudo, apesar da riqueza dos resultados em termos de informações detalhadas a respeito do fluxo de ar e da temperatura no ambiente, os CFDs requerem grande capacidade computacional e usuários capacitados para configurá-los (MEGRI e HAGHIGHAT, 2007).

## 2 Metodologia

A metodologia adotada baseia-se em uma análise comparativa do potencial de ventilação de modelos de edificações residenciais multifamiliares de Maceió-AL, com variação na dimensão da abertura de saída de ar da cozinha/serviço em função da área do piso e da secção média do ambiente.

Os seguintes procedimentos metodológicos foram estabelecidos para o desenvolvimento do trabalho: foi realizada uma revisão de literatura sobre os assuntos pertinentes ao objeto de estudo, que foram apresentados no capítulo 1 deste trabalho, embasando o seu desenvolvimento.

Depois, os demais procedimentos foram divididos em duas partes que são: Simulação computacional e a Análise das simulações. A simulação computacional mostra a caracterização climática de Maceió, mostra como foram definidos os parâmetros para criação dos modelos e o software escolhido para realizar as simulações. A análise das simulações explica como e quais são os parâmetros que foram definidos para analisar os dados das simulações para o alcance dos objetivos do trabalho. Segue a descrição de cada uma dessas partes.

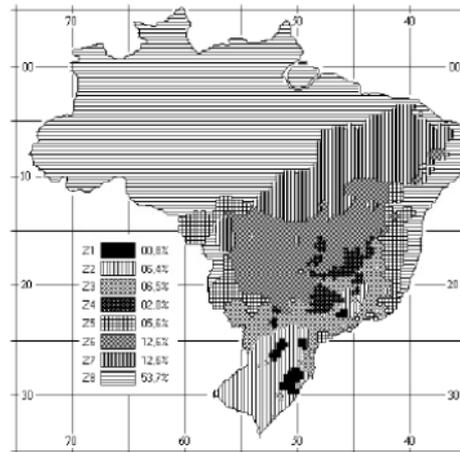
### 2.1 Simulação computacional

#### 2.1.1 Caracterização climática de Maceió

Segundo o Zoneamento Climático Brasileiro (ABNT, 2005), Maceió faz parte da Zona Bioclimática 8, localizada na latitude 9°39'57" Sul e longitude 35°44'07" Oeste, figura 32. Apresenta clima quente e úmido e com pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais. Apenas duas estações são definidas: o inverno, caracterizado por temperaturas amenas e uma alta pluviosidade, e o verão, com altas temperaturas e baixa pluviosidade.

A média anual da temperatura gira em torno de 26°, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia, com amplitude térmica de aproximadamente 3,4°C, onde o mês de fevereiro apresenta a maior média mensal com 26,7°C, e o mês de julho a menor média, com 23,7°C.

**Figura 32: Zoneamento bioclimático brasileiro.**

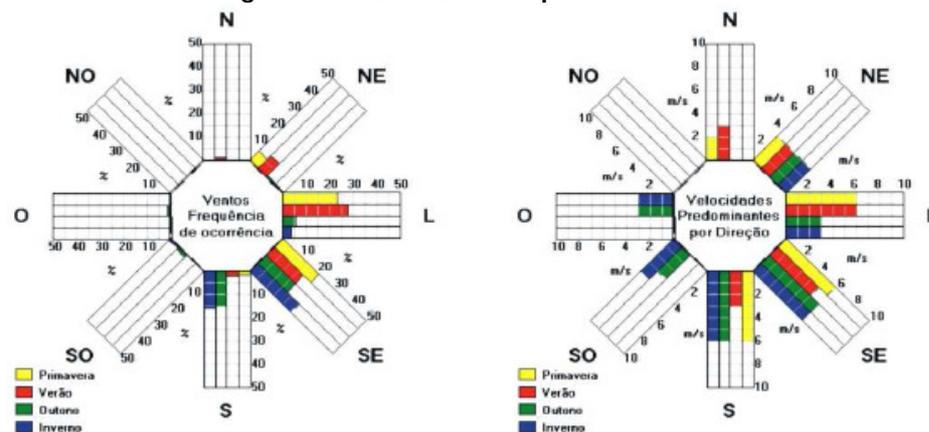


Fonte: NBR 15.220-3(2005).

De acordo com Torres, Barbirato (2004), os meses de novembro a fevereiro são considerados tipicamente quentes, enquanto os meses de junho a agosto, tipicamente frios. Sua umidade relativa média é 78%, caindo no verão.

Seu regime de ventos sofre bastante influência dos ventos alísios do Sudeste, que são presentes o ano inteiro e apresentam velocidade de fraca a moderada, figura 33. Também é influenciado pelo vento Nordeste, de janeiro a março, no período mais quente do ano. De acordo com Passos (2009), o vento Leste também ocorre em janeiro e fevereiro, e revela que a velocidade do vento costuma ser mais alta nos meses de outubro a março, que coincide com as temperaturas mais altas.

Figura 33: Rosa dos ventos para Maceió-AL.



Fonte: Lamberts, Maciel (2011).

### 2.1.2 Tipologia de edificação residencial multifamiliar adotada

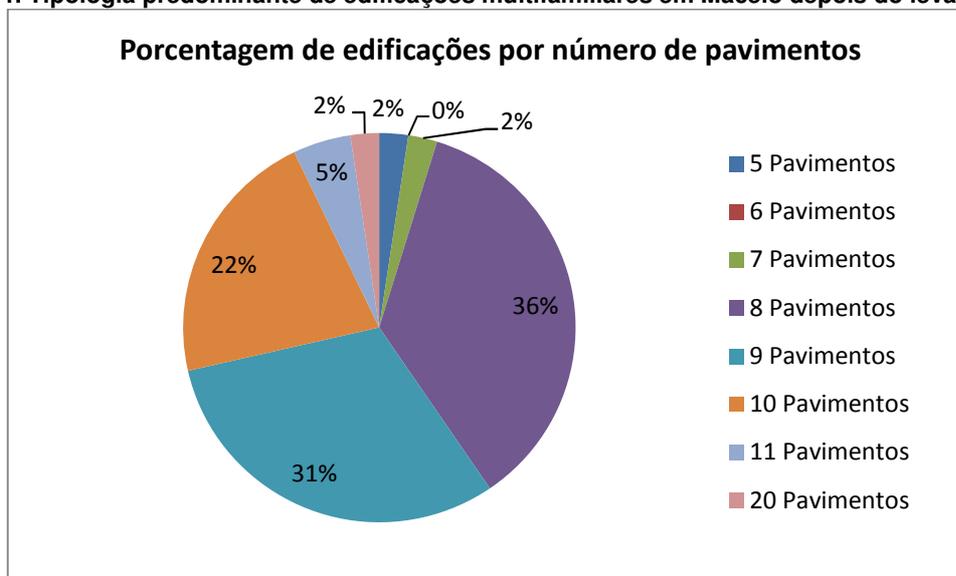
Um levantamento foi realizado nos arquivos da Superintendência Municipal de Controle do Convívio Urbano – SMCCU, para identificar a predominância tipológica de

edificações residenciais multifamiliares. Para tanto, foi definido um recorte temporal de cinco anos que compreende a seleção dos projetos mais recentes, registrados entre 2006 e 2010.

A seleção dos projetos ocorreu com base na área total construída, visto que este dado, junto com o número de registro do projeto, são os únicos dados numéricos que aparecem nos livros de registro. Logo, foram escolhidos 45 registros de projetos com área construída total variando de, aproximadamente, 3.200 m<sup>2</sup> e 6.800 m<sup>2</sup>, dos quais 42 destes projetos foram recuperados nos arquivos.

A partir do levantamento, identificou-se a predominância das edificações residenciais multifamiliares com oito pavimentos, que corresponde a 36% da amostra. Nota-se ainda, que as edificações com nove e dez pavimentos vêm sendo bastante construídas e correspondem a 31% e 22% da amostra, respectivamente, como se verifica no gráfico 4.

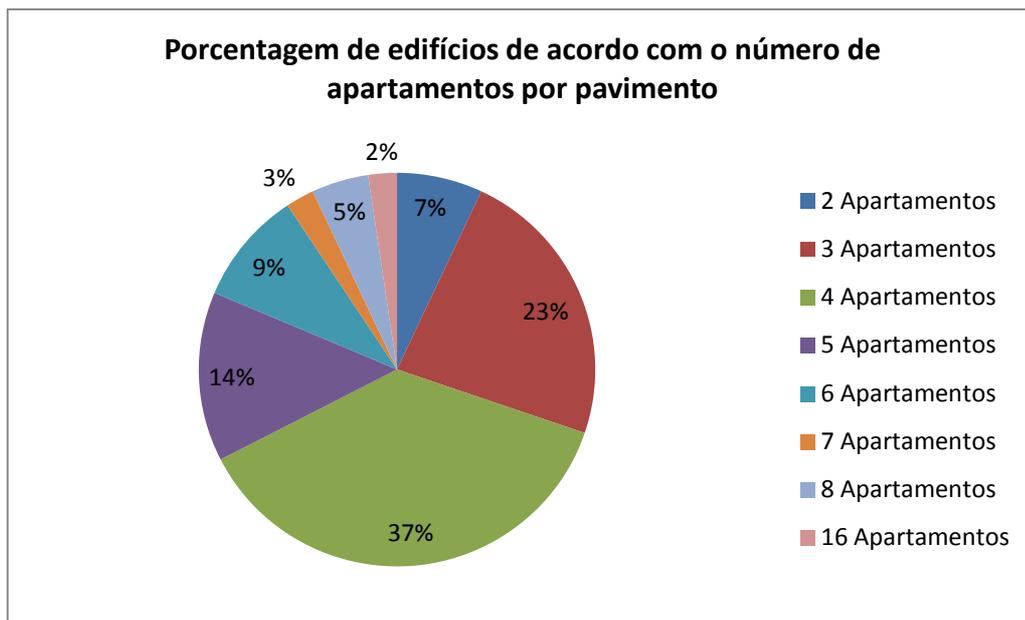
**Gráfico 4: Tipologia predominante de edificações multifamiliares em Maceió depois do levantamento.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Outras características importantes dessas edificações, como o número de apartamentos por pavimento e o número de quartos por apartamento, foram identificadas de modo a auxiliar na confecção do modelo de edificação para este estudo. Onde, de acordo com os dados coletados, 37% delas apresentam quatro apartamentos por pavimento, seguido por 23% com três apartamentos e 14% com cinco apartamentos por pavimento, como mostra o gráfico 5.

**Gráfico 5: Edificações residenciais multifamiliares por número de apartamentos por pavimento.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Com relação ao número de quartos por apartamento, observou-se que 63% das edificações levantadas apresentam três quartos por apartamento, seguido por 28% de edificações com dois quartos, como mostra o gráfico 6.

**Gráfico 6: Edificações residenciais multifamiliares por número de quartos por pavimento.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Com isso, a tipologia de edificação multifamiliar definida para o estudo apresenta pilotis mais oito pavimentos tipo, com quatro apartamentos por pavimento, sendo que cada apartamento apresenta sala de estar, sala de jantar, três quartos e cozinha junto com a área de serviço, onde está situada a abertura de saída do presente estudo, como mostra a figura 34.

**Figura 34: Perspectiva e planta-baixa de edificações residenciais multifamiliares definidas para o estudo.**

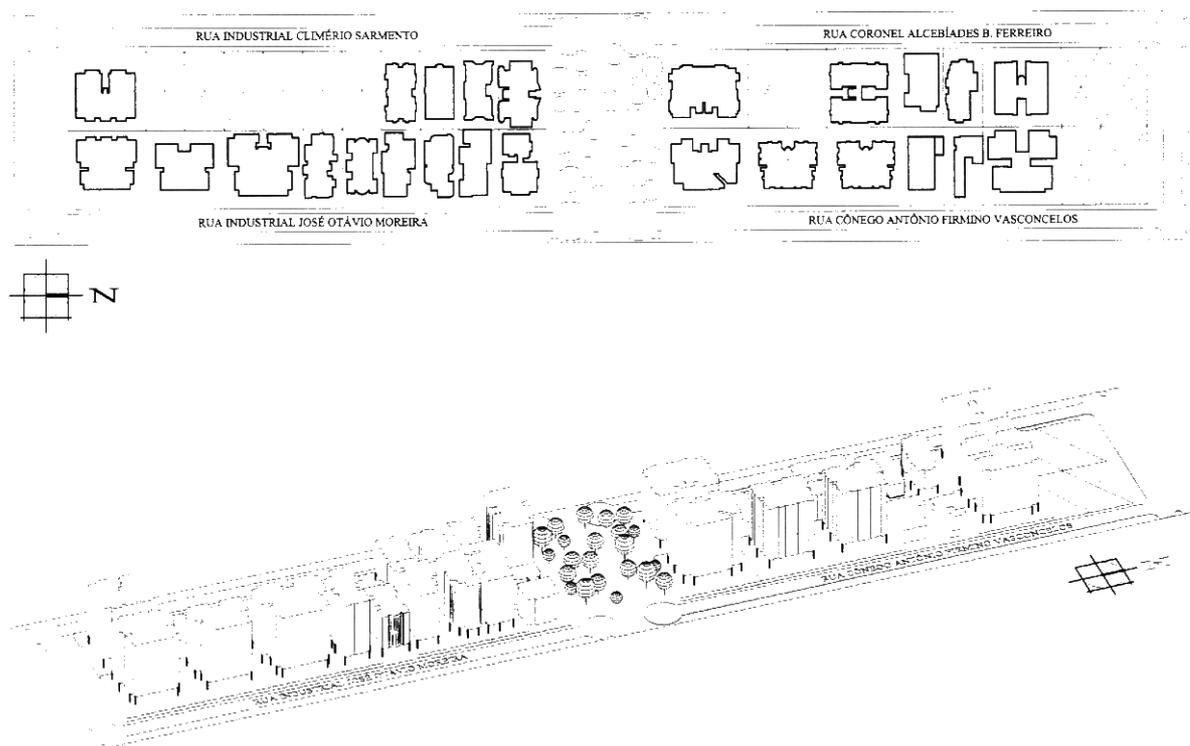


**Fonte: Autor desta dissertação, 2012.**

Em um estudo sobre tipologias de dormitórios recorrentes em edificações multifamiliares de Maceió, Toledo (2001) identificou em uma amostra representada por duas quadras do Loteamento Stella Maris do bairro da Jatiúca em Maceió - AL, a presença de vinte e duas edificações multifamiliares cujos lotes estão orientados a Leste ou a Oeste. Dos vinte e dois, treze estão com suas fachadas principais orientadas a Leste, que é uma das direções predominantes do vento em Maceió.

O mesmo trabalho identificou na amostra diferentes tipologias de edificações multifamiliares e aponta como predominantes as edificações com quatro apartamentos por andar, dispendo de oito pavimentos e com a presença de pilotis, independente de sua orientação, como mostra a figura 35.

**Figura 35: Tipologia predominante de edificações multifamiliares em Maceió.**



Fonte: TOLEDO (2001).

A definição da tipologia de edificação multifamiliar predominante em Maceió identificada por Toledo (2001) teve como base o sentido proposto por Passos (1998) *apud* Toledo (2001):

“... de determinados esquemas de configurações arquitetônicas comuns a certos conjuntos de edifícios. (...) são característicos de determinados períodos, bem como são encontrados freqüentemente em certas áreas urbanas. Essas formações tipológicas são em geral reproduzidas em um grande número de edifícios, mas também transformados ao longo do tempo, seja por variações de aspectos particulares, seja por mudanças radicais dos paradigmas projetuais.”

Dessa maneira, a predominância de edificações residenciais multifamiliares identificada por este trabalho, comprova a predominância definida por Toledo (2001).

### 2.1.3 Definição das aberturas investigadas

De acordo com o levantamento realizado, aproximadamente 64% dos edifícios da amostra apresentam a cozinha junto com a área de serviço. Observou-se também, que é nesse ambiente que, geralmente, fica localizada a maior, às vezes a única, abertura de saída do vento. A dimensão dessas aberturas sofre uma variação muito grande na relação de porcentagem da área do piso que vai de, aproximadamente, 7% até 23% do piso do ambiente. Essa grande variação pode ser o reflexo do Código de Urbanismo e Edificações

de Maceió (2006), que, em seu artigo 319 do capítulo II, seção II; deixa a cargo do projetista o dimensionamento das aberturas de ventilação.

Adotou-se então, a NBR 15220 (ABNT, 2003) para definição das porcentagens de áreas de aberturas a serem investigadas na pesquisa. Segundo a norma, Maceió – AL está situada na Zona Bioclimática 8, e tem como uma das estratégias de projeto mais indicada a ventilação cruzada proporcionada por grandes aberturas. O Anexo C da NBR 15220 (ABNT, 2003) apresenta a indicação da dimensão das aberturas para ventilação através da porcentagem da área do piso, as quais são classificadas como: pequenas, médias e grandes; como mostra a quadro 7.

**Quadro 7: Aberturas para ventilação.**

<b>Aberturas para Ventilação</b>	<b>A (em % da área do piso)</b>
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

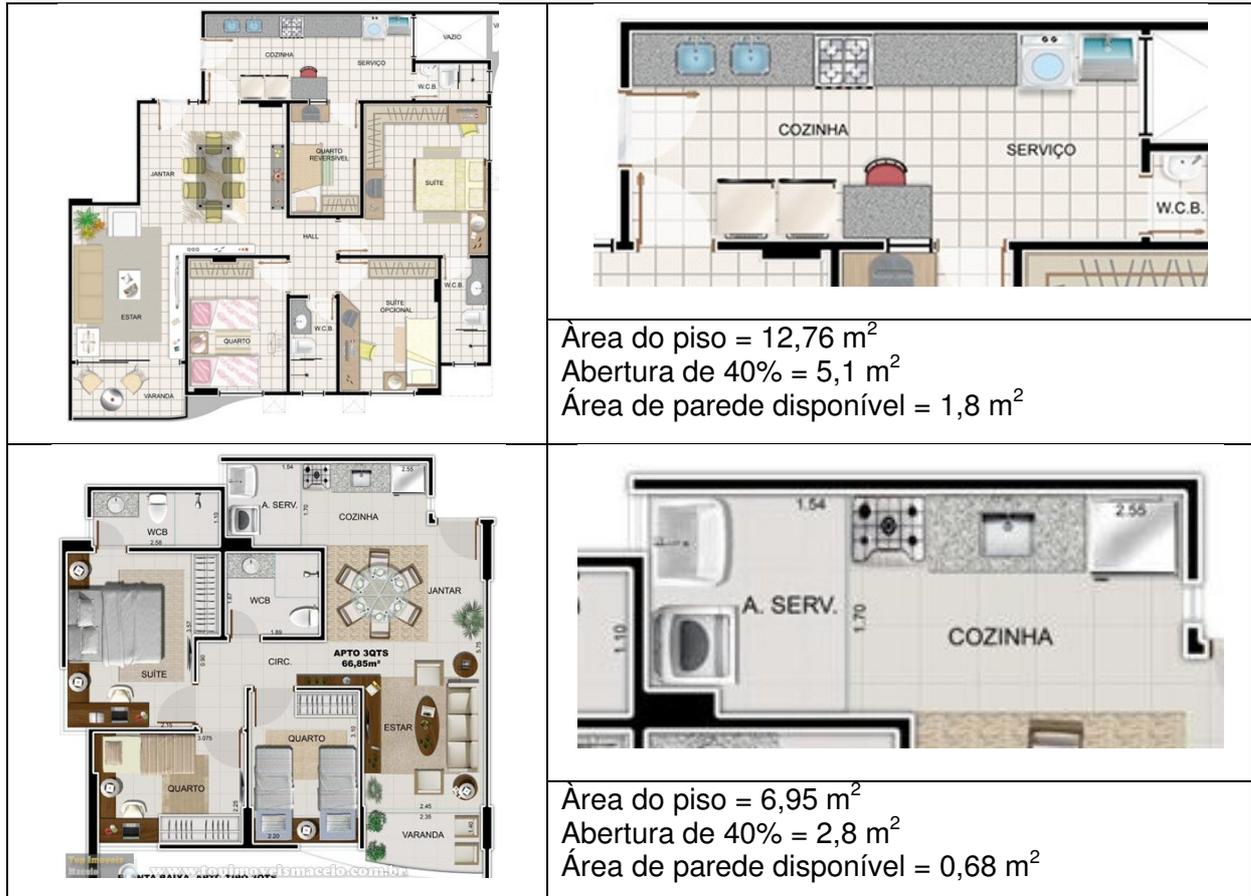
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003).

A recomendação da NBR 15220 (ABNT, 2003) para grandes aberturas corresponde a 40% da área do piso, no entanto, quando se trata de edificações residenciais multifamiliares, essa proporção pode não conseguir ser satisfeita devido à pequena área de parede disponível para receber a abertura.

A quadro 8 apresenta três exemplos retirados da amostra de projetos levantados que ilustram essa afirmativa. Para todos eles a área de parede disponível para alocar as aberturas de saída é muito menor que a requerida para grandes aberturas, apresentando porcentagens iguais a 15%, 14,11% e 9,8% da área do piso do ambiente, respectivamente.

**Quadro 8: Relação entre a área de piso do ambiente, a área ideal para grandes aberturas e a área de parede disponível.**

	<p>Área do piso = <math>9,75 \text{ m}^2</math>            Abertura de 40% = <math>3,9 \text{ m}^2</math>            Área de parede disponível = <math>1,5 \text{ m}^2</math></p>
--	---



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

As porcentagens de área de parede disponível dos exemplos coincidem com as porcentagens da NBR 15220 (ABNT, 2003), para pequenas aberturas. Além disso, como visto no início desta seção, as aberturas de saída da amostra chegaram a 23% da área do piso, porcentagem que se aproxima aos 25% da área do piso para aberturas de tamanho médio, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2003).

Tento em vista que uma abertura equivalente a 40% da área do piso é quase impraticável para um ambiente de cozinha/serviço real, visto que as áreas de paredes disponíveis para aberturas são de dimensões inferiores às necessárias. Optou-se por utilizar a variação de porcentagem correspondente a 10%, 15% e 25% da área do piso no referido estudo.

Sabendo, ainda, que a área da seção transversal do ambiente tem relação com a perda de carga que o vento sofre ao passar por uma abertura (AYNSLEY, MELBOURNE, VICKERY, 1977), e que o volume do ambiente influencia no número de renovações de ar, como visto no item 1.2.1 deste trabalho. Foi adotado outro parâmetro base para o cálculo da área da abertura de saída, esse parâmetro é a área da seção média do ambiente, calculada de acordo com a equação 20, a seguir:

$$S_m = (S_t + S_l)/2$$

[Eq. 20]

Onde:

$S_m$ , é a área da seção média do ambiente;

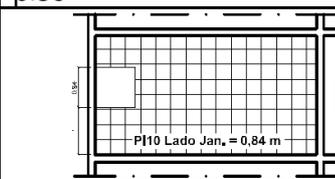
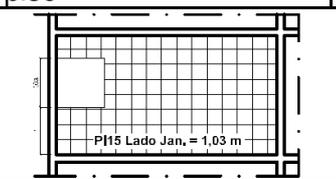
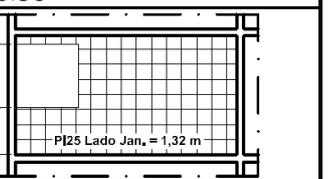
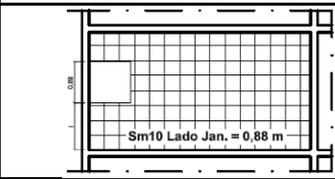
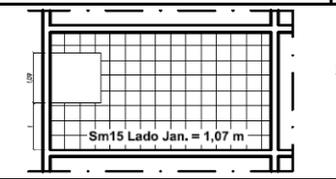
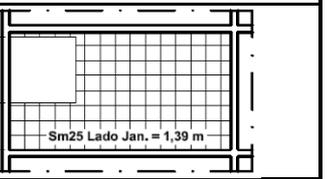
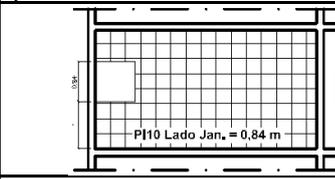
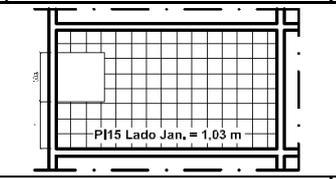
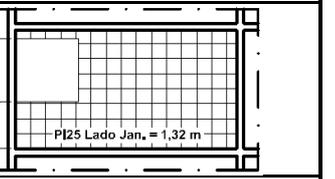
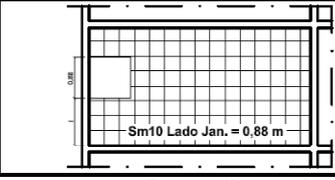
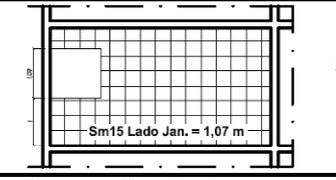
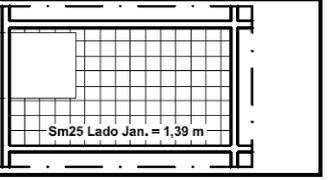
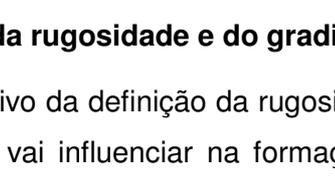
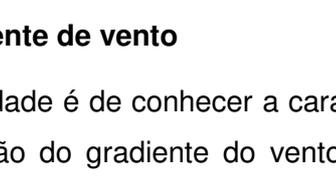
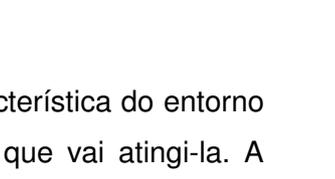
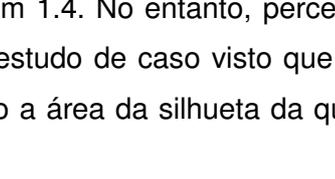
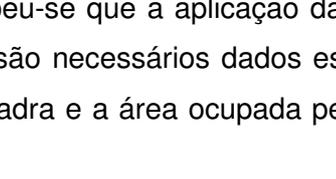
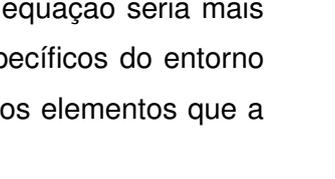
$S_t$ , é a área da seção transversal do ambiente;

$S_l$ , é a área da seção longitudinal do ambiente.

As porcentagens de 10%, 15% e 25% também foram utilizadas para o cálculo das áreas de aberturas de saída com base na seção média do ambiente. A quadro 9, a seguir, mostra a matriz das aberturas que serão estudadas levando em consideração a rugosidade do entorno e os ângulos de incidência de 90° e 45°.

**Quadro 9: Matriz de aberturas para o estudo.**

		Rugosidade 1 – Áreas suburbanas		
		Pi10 - 10 % área do piso	Pi15 - 15 % área do piso	Pi25 - 25 % área do piso
R1 – Rugosidade 1 – Áreas suburbanas	Incidência do Vento 90°			
		Sm10 - 10 % seção méd.	Sm15 - 15 % seção méd.	Sm25 - 25 % seção méd.
	Incidência do Vento 45°	Pi10 - 10 % área do piso	Pi15 - 15 % área do piso	Pi25 - 25 % área do piso
		Sm10 - 10 % seção méd.	Sm15 - 15 % seção méd.	Sm25 - 25 % seção méd.
Incidência	Pi10 - 10 % área do	Pi15 - 15 % área do	Pi25 - 25 % área do	

do Vento <b>90°</b>	piso			
		Sm10 - 10 % seção méd.	Sm15 - 15 % seção méd.	Sm25 - 25 % seção méd.
				
		Pi10 - 10 % área do piso	Pi15 - 15 % área do piso	Pi25 - 25 % área do piso
				
		Sm10 - 10 % seção méd.	Sm15 - 15 % seção méd.	Sm25 - 25 % seção méd.
Incidência do Vento <b>45°</b>				
		Sm10 - 10 % seção méd.	Sm15 - 15 % seção méd.	Sm25 - 25 % seção méd.
		Pi10 - 10 % área do piso	Pi15 - 15 % área do piso	Pi25 - 25 % área do piso
				
		Sm10 - 10 % seção méd.	Sm15 - 15 % seção méd.	Sm25 - 25 % seção méd.
				

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 2.1.4 Definição da rugosidade e do gradiente de vento

O objetivo da definição da rugosidade é de conhecer a característica do entorno da edificação que vai influenciar na formação do gradiente do vento que vai atingi-la. A rugosidade definida para o estudo, a princípio, seria calculada de acordo com a equação 8, apresentada no item 1.4. No entanto, percebeu-se que a aplicação da equação seria mais indicada para um estudo de caso visto que são necessários dados específicos do entorno da edificação como a área da silhueta da quadra e a área ocupada pelos elementos que a compõem.

A edificação objeto de estudo do trabalho foi definida com base na tipologia predominante de edificações multifamiliares identificada em Maceió. Portanto, edificações como estas podem estar presentes em áreas que apresentam entornos diferenciados, implicando em diferentes rugosidades. Em se tratando de um estudo paramétrico, no qual a edificação não apresenta entorno específico optou-se por utilizar os dados de rugosidade já consolidados na literatura que foram apresentados na quadro 4, e são representados pelos coeficientes de terreno  $k$  e  $a$  comentados no item 1.5. Dessa forma, foram escolhidos dois

tipos de terrenos que representam as rugosidades para área urbana (subúrbio) e centro de cidade com coeficientes  $k = 0,35$ ,  $a = 0,25$  e  $k = 0,21$ ,  $a = 0,33$ , respectivamente.

Para a definição dos gradientes de vento em função das rugosidades, foi calculada a velocidade média do vento para Maceió com base no arquivo climático TRY de Maceió disponível no site do LABEEE. Foram separados os dados horários relativos à velocidade do vento para cada mês, dos quais apenas os períodos com registro de velocidade diferente de zero absoluto foram utilizados para o cálculo da velocidade média mensal e, por conseguinte, da velocidade média anual, como mostra a quadro 10, abaixo.

**Quadro 10: Velocidade média do vento mensal e anual para Maceió em m/s**

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
<b>4,28</b>	4,13	4,06	3,69	4,13	4,32	3,95	4,09	4,22	4,32	4,44	4,53	<b>4,18</b>

Fonte: Baseado no TRY de Maceió (LABEEE, analysis Bio)

Em seguida foram calculados os gradientes de vento para a área suburbana, como mostra a quadro 11, e para o centro de cidade, como mostra a quadro 12, segundo a equação 10, que trata da correção da velocidade para o nível da edificação, que foi apresentada no item 1.5.

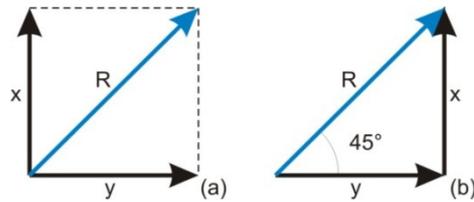
Os modelos com incidência do vento perpendicular às aberturas, isto é  $90^\circ$ , obedecerão aos gradientes das quadros 11 e 12 para suas respectivas rugosidades. Para os modelos com incidência de vento a  $45^\circ$  das aberturas, o valor da velocidade média a ser utilizada precisou ser decomposto.

A decomposição foi necessária, pois, o *software* utiliza *inlets*<sup>17</sup> nos eixos x e y com o valor das componentes da velocidade resultante que tem direção  $45^\circ$ . O valor da resultante é conhecido e equivale à velocidade média que é 4,18 m/s.

Para a determinação da componente utiliza-se o método do paralelogramo e aplica-se o seno do ângulo formado entre a resultante e uma das componentes. Para o método do paralelogramo, as componentes decompostas do vetor resultante foram consideradas iguais,  $x = y$ , e perpendiculares entre si, como mostra a figura 36a. O ângulo formado entre a resultante e as componentes foi de  $45^\circ$ , como mostra a figura 36b. Aplicando-se o seno do ângulo, encontrou-se a relação que determina a componente desejada,  $x = R.\text{sen}45^\circ$ . Aplicando o valor da velocidade na relação, tem-se  $x = 2,95$ , que é o valor da componente da velocidade. As quadros 8 e 9 apresentam os valores dos gradientes de vento para a componente encontrada para área suburbana e centro de cidade, respectivamente.

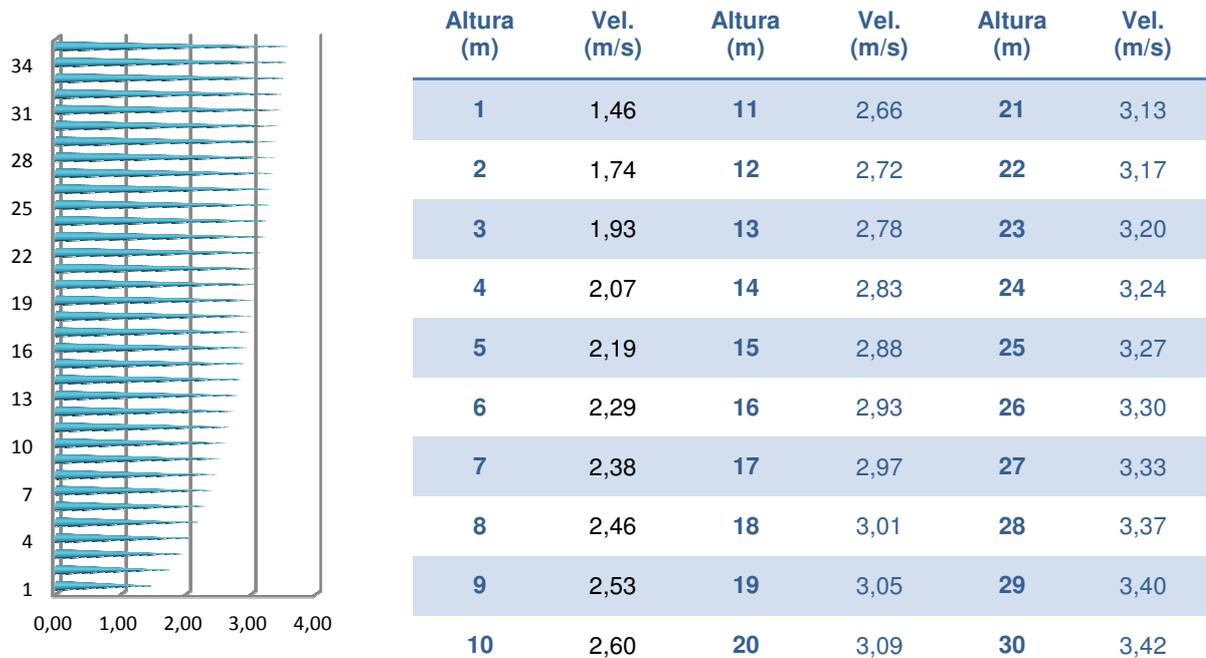
**Figura 36: Método do paralelogramo (a) e aplicação do seno do ângulo de  $45^\circ$  (b).**

<sup>17</sup> Elementos virtuais bidimensionais que recebem a configuração da velocidade do vento e direção



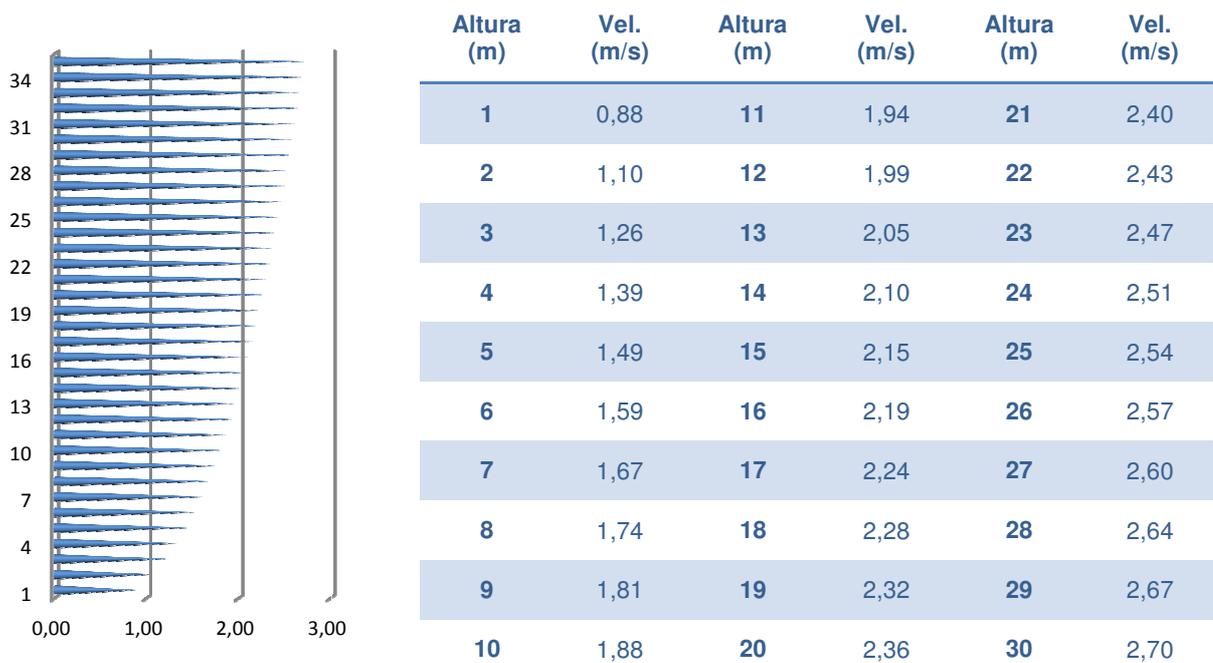
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Quadro 11: Gradiente do vento para Área Suburbana (90°)



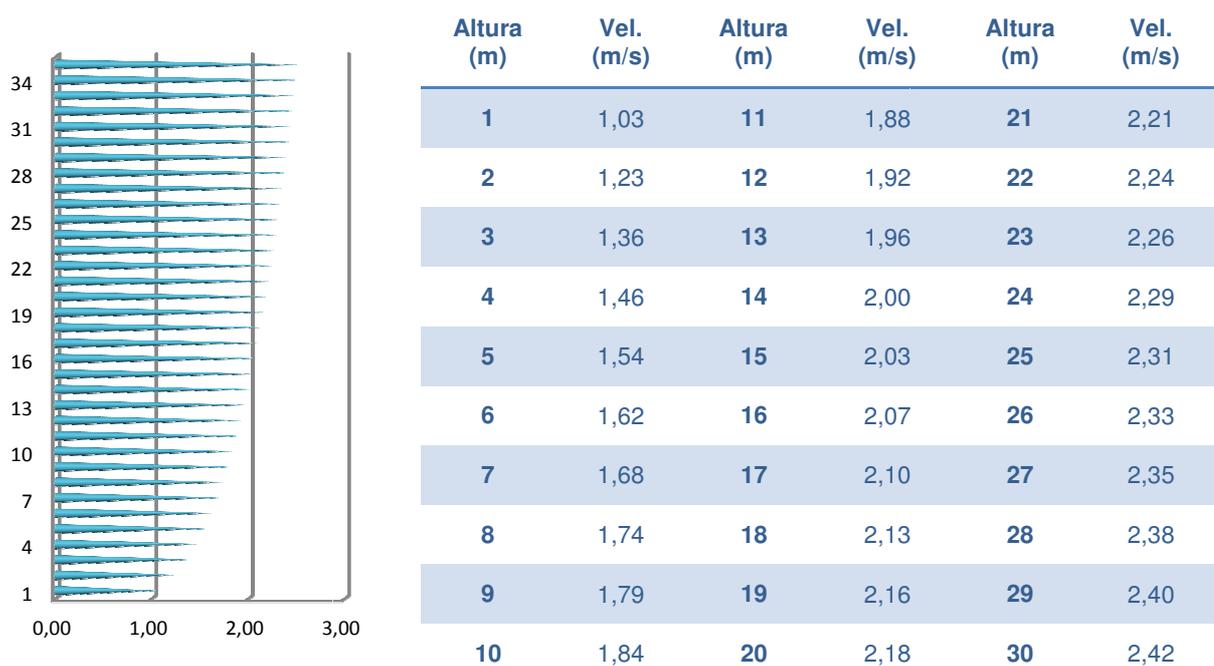
Fonte: Calculado a partir da velocidade média anual da quadro 10.

Quadro 12: Gradiente do vento para Centro de Cidade (90°)



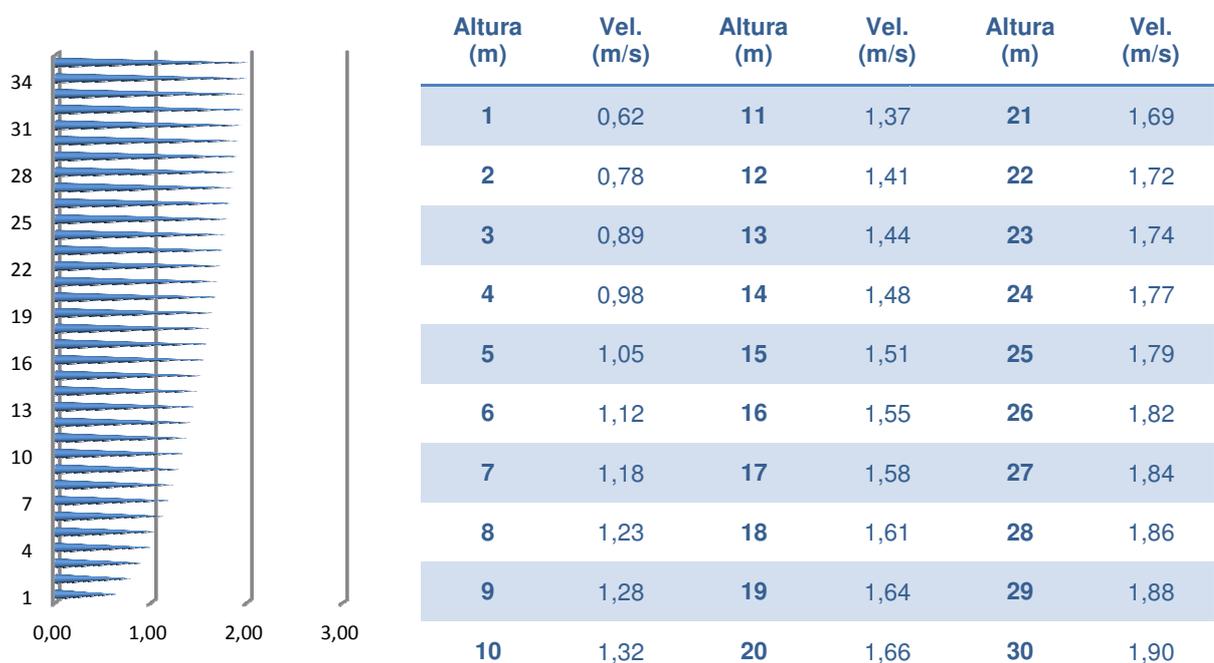
Fonte: Calculado a partir da velocidade média anual da quadro 10.

Quadro 13: Gradiente do vento para Área Suburbana (45°)



Fonte: Calculado a partir da componente da velocidade igual a 2,95 m/s.

Quadro 14: Gradiente do vento para Centro de Cidade (45°)



Fonte: Calculado a partir da componente da velocidade igual a 2,95 m/s.

### 2.1.5 Definição do domínio para o modelo estudado

O domínio é o espaço virtual onde o modelo a ser estudado será criado e simulado. Portanto, ele deve ter dimensões que permitam o livre escoamento do vento pelo modelo de modo que não interfira nos campos de pressão laterais gerados na simulação. Para este trabalho, o domínio foi definido com base no cálculo do método descrito pelo fabricante do CFD utilizado para este trabalho e nos estudos apresentados no item 1.6 da revisão de literatura, assim como em testes em CFD, que ajudaram na escolha da melhor opção. Vale ressaltar que o cálculo do domínio, independente do método escolhido, deve levar em consideração as dimensões do modelo que, para este estudo apresenta suas dimensões iguais a  $X_m = 18,05\text{m}$  de largura,  $Y_m = 21,25\text{m}$  de comprimento e  $Z_m = 26,25\text{m}$  de altura, conforme a figura 37.

**Figura37: Modelo de estudo com as suas dimensões.**

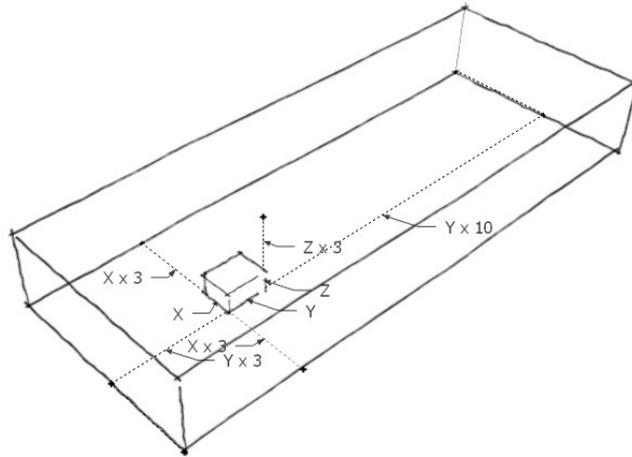


**Fonte: Autor desta dissertação, 2012.**

#### **2.1.5.1 Cálculo segundo o fabricante do CFD**

O cálculo do domínio é feito baseado nos eixos  $X_d$ ,  $Y_d$  e  $Z_d$ , que correspondem a sua largura, comprimento e altura, respectivamente. Cada eixo terá um ou dois fatores (números), que definirão a sua dimensão. Para o eixo  $X_d$  o fator é 3. Para o eixo  $Y_d$  os fatores são 3 e 10. Para o eixo  $Z_d$  o fator é 3. O fator corresponde ao número de vezes que a medida da face do modelo deve ser multiplicada em cada lado, para que o domínio não interfira na simulação, como mostra a figura 38.

**Figura 38: Domínio do modelo segundo o fabricante do CFD.**

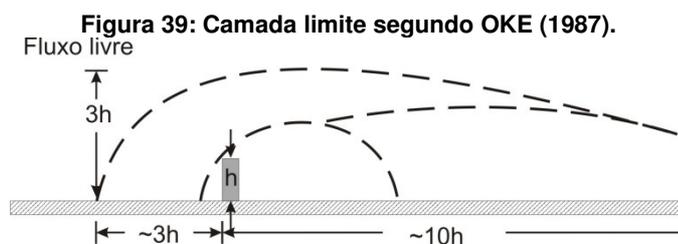


Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

De acordo com este método, o eixo  $X_d = (3 \times X_m) + X_m + (3 \times X_m)$ , o eixo  $Y_d = (3 \times Y_m) + Y_m + (10 \times Y_m)$  e o eixo  $Z_d = Z_m + (3 \times Z_m)$ . Aplicando-se as dimensões do modelo nas equações dos eixos do domínio, tem-se:  $X_d = 126,35$ ,  $Y_d = 297,5$  e  $Z_d = 105$ .

#### 2.1.5.2 Cálculo segundo OKE

Como visto no item 1.6, para OKE (1987), a camada limite formada pelo vento ao redor de uma edificação pode ser expressa em função de sua altura  $H$ , como mostra a figura 39 abaixo. Essa relação pode ser usada para calcular parte do domínio do modelo de estudo pelo cálculo dos eixos  $Y_d$  e  $Z_d$ . O cálculo dos dois eixos resultou em  $Y_d = 341,25$  e  $Z_d = 78,75$ .



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 2.1.5.3 Cálculo segundo Freixanet (2002)

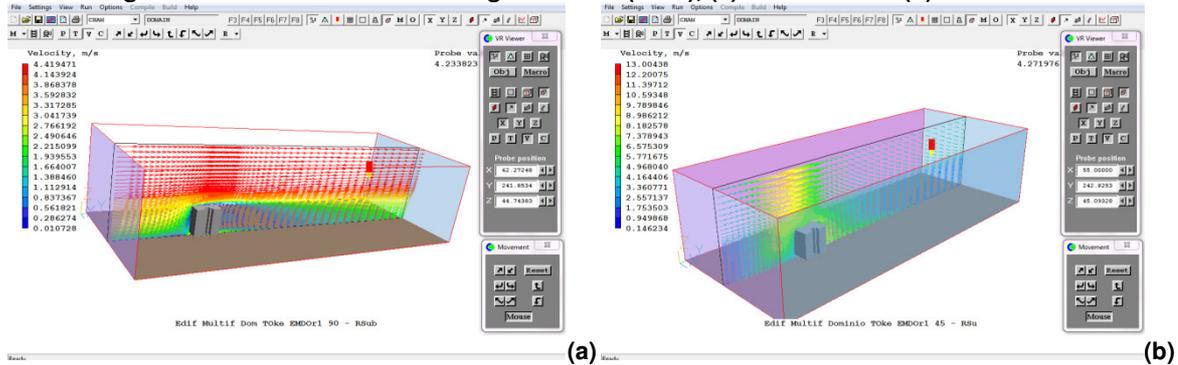
Para Freixanet (2002), a camada limite do vento acima da edificação é estabelecida por uma relação igual a  $1,5R$  a partir do telhado, como visto no item 1.6, onde  $R = B_s^{0,65} * B_L^{0,33}$ ;  $B_s$ , é a menor dimensão entre a altura e a largura;  $B_L$ , é a maior dimensão entre a altura e a largura. Dessa forma, as dimensões do modelo foram aplicadas na relação acima resultando em  $R = 19,30$ . Logo, a camada limite a partir do telhado é  $28,95$ ; resultando em um  $Z_d = 28,94 + 26,25 = 55,20$ .

Os cálculos apresentados anteriormente foram úteis para definir as dimensões do domínio para o modelo de estudo. No primeiro caso, foram encontradas as dimensões

para os três eixos. No segundo caso, apenas os eixos  $Y_d$  e  $Z_d$  foram definidos. No terceiro caso, apenas o eixo  $Z_d$ .

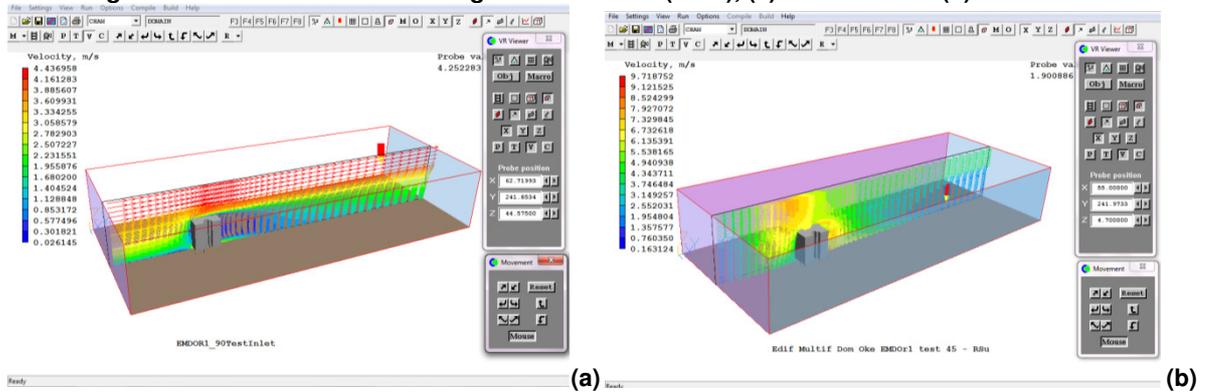
Foram selecionados os menores valores encontrados para os eixos  $X_d$  e  $Y_d$ , cujas dimensões ficaram 126,35m e 297,5m, respectivamente. O eixo  $Z_d$  foi definido a partir de um teste no CFD, para determinar se o modelo interfere no escoamento do vento no referido eixo. Os testes foram feitos para as dimensões 78,75, calculada segundo OKE (1987), como mostra a figura 40 e 55,20, calculada segundo Freixanet (2002), como mostra a figura 41.

**Figura 40: Domínio com eixo Z segundo OKE (1987), (a) Vento a 90° e (b) Vento a 45°.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

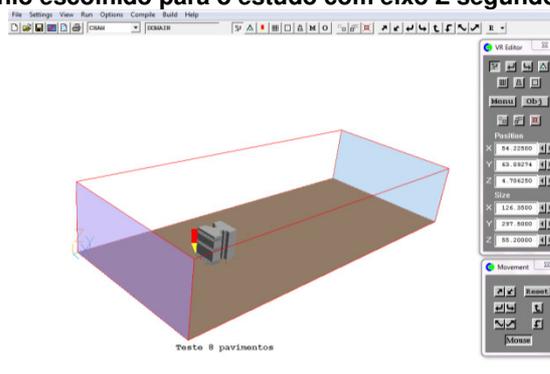
**Figura 41: Domínio com eixo Z segundo Freixanet (2002), (a) Vento a 90° e (b) Vento a 45°.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

De acordo com os testes, os dois domínios poderiam ser utilizados no estudo, pois a camada limite acima da edificação alcança o fluxo livre do vento, não interferindo nos resultados da simulação. Assim, o domínio escolhido para o trabalho foi o que apresenta o eixo  $Z_d$  calculado segundo Freixanet (2002), pois possui menor dimensão e realiza menor tempo de simulação, em relação ao anterior, como mostra a figura 42.

Figura 42: Domínio escolhido para o estudo com eixo Z segundo Freixanet (2002).



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 2.1.6 O software utilizado

O software escolhido para a investigação é o PHOENICS (Parabolic Hyperbolic or Elliptic Numerical Integration Code Series) que está em sua versão 2010. Ele foi o primeiro código computacional baseado na dinâmica dos fluidos computadorizada (CFD) a aparecer comercialmente no mercado e vem sendo utilizado por arquitetos, construtores, engenheiros, indústrias e em pesquisas acadêmicas desde o seu lançamento em 1981 (CHAM, 2011).

Ele é uma ferramenta que proporciona resultados precisos, confiáveis, e de custo efetivo, que permite a simulação de uma gama de processos que envolvem o fluxo de fluidos, transferência de calor e de massa, reações químicas e/ou combustão em equipamentos ou no ambiente (CHAM, 2005). Na arquitetura, ele é utilizado para prever o fluxo do ar dentro e fora da edificação, para melhorar o projeto e arquitetura e o conforto térmico (ZHAI et al, 2002).

Ao longo do tempo, este software tem se mostrado de grande interesse por parte dos pesquisadores que trabalham com o ambiente construído, permitindo uma série de estudos que abordam diferentes enfoques a respeito da ventilação natural, como por exemplo: o uso de cobogós (BITTENCOURT, 1993), captadores de vento (LOBO, BITTENCOURT, 2001; CÂNDIDO, BITTENCOURT, BATISTA, 2003), peitoris ventilados, (LEAL et al, 2005; SACRAMENTO et al., 2007), a tipologia das aberturas (CÂNDIDO et al, 2007) e, inclusive, investigações sobre o ambiente urbano (COSTA, 2001; MARQUES, 2003).

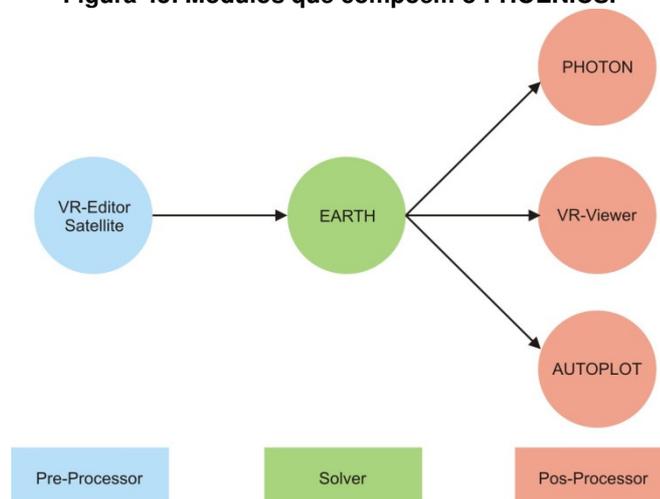
O PHOENICS é composto por três módulos o *Pre-Processor*, *Solver* e *Post-Processor*, que são responsáveis pela entrada de dados, o processamento dos dados e da visualização dos resultados, respectivamente. O *Pre-Processor* é o módulo onde o usuário faz a definição do seu problema, isto é, é onde são construídos virtualmente o domínio e a edificação a ser estudada, e onde são realizadas as configurações de direção, velocidade,

entrada e saída (*inlet* e *outlet*) do fluido, a malha de cálculo (*grid*) para os três eixos do modelo, bem como os parâmetros de relaxamento que influenciam na característica do escoamento do fluido, na precisão dos resultados e no tempo de simulação.

O módulo *Solver* é o responsável pela simulação, pelo processamento dos dados do modelo de acordo com as configurações dos parâmetros definidos no *Pre-Processor*. O terceiro módulo é o *Pos-Processor*, que auxilia na visualização dos resultados oriundos do módulo de processamento na forma de gráficos, quadros de números, manchas de cores ou através de vetores de direção do vento.

O *Pre-Processor* é composto pelo *VR-Editor* e pelo *Satellite*, que são editores de realidade virtual. O módulo *Solver* é composto pelo *EARTH* que realiza as simulações. O *Post-Processor* é formado pelo *PHOTON*, *VR-Viewer* e pelo *AUTO PLOT*, que promovem a visualização dos dados, como mostra a figura 43.

**Figura 43: Módulos que compõem o PHOENICS.**



Fonte: Adaptado de CHAM (2004).

Para este trabalho foram utilizados os módulos *VR-Editor*, *EARTH* e *VR-Viewer*, pois são os mais adequados para o estudo e por já terem sido bastante empregados nas pesquisas desenvolvidas no GECA – Grupo e Estudos em Conforto Ambiental da UFAL, onde esta pesquisa foi realizada.

## 2.2 Análise das simulações

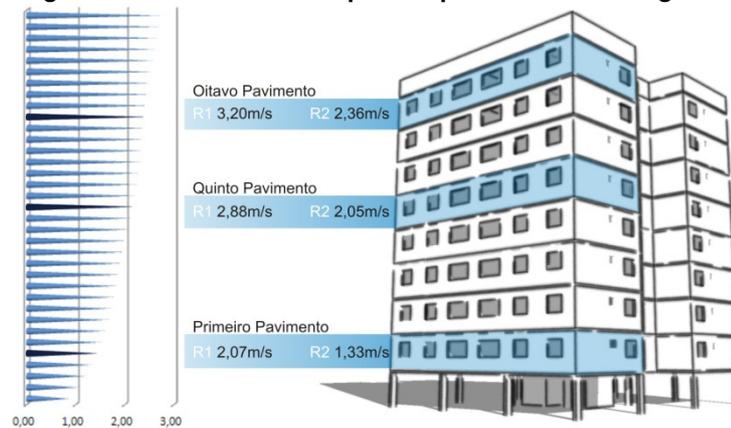
Nesta seção são descritos os pontos de análise definidos para o estudo.

### 2.2.1 Pavimentos e apartamentos investigados

Foi atribuída a orientação leste-oeste para a edificação do estudo, baseada na predominância de edificações identificada por Toledo (2001) e que foi comentada no item 2.1.1. Para cada um dos modelos simulados foram definidos três pavimentos de análise que correspondem ao primeiro, quinto e oitavo pavimentos. Essa escolha se deu em função da

diferença de velocidade do vento em altura que caracteriza o gradiente de vento, e que pode gerar resultados diferenciados para cada pavimento, apesar de terem sido colocados sob as mesmas condições de configuração no modelo, como mostra a figura 44.

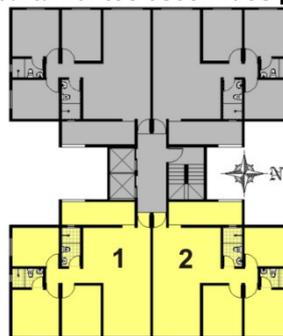
**Figura44: Velocidade média para os pavimentos investigados.**



**Fonte: Adaptado de CHAM (2004).**

Cada pavimento é composto por quatro apartamentos, sendo que dois estão voltados para o Leste, mais precisamente Leste/Sul e Leste/Norte, e dois voltados para o Oeste, ou melhor, Norte/Oeste e Oeste/Sul. Os apartamentos 1 e 2, foram os escolhidos para a análise devido as suas orientações (Leste/Sul e Leste/Norte) que favorecem a ação dos ventos predominantes de Maceió-AL, que são os ventos NE, E e SE. Com isso, foram definidas duas direções de vento,  $90^\circ$  e  $45^\circ$ , que simulam os ventos leste e sudeste, como mostra a figura 45.

**Figura 45: Apartamentos escolhidos para o estudo.**

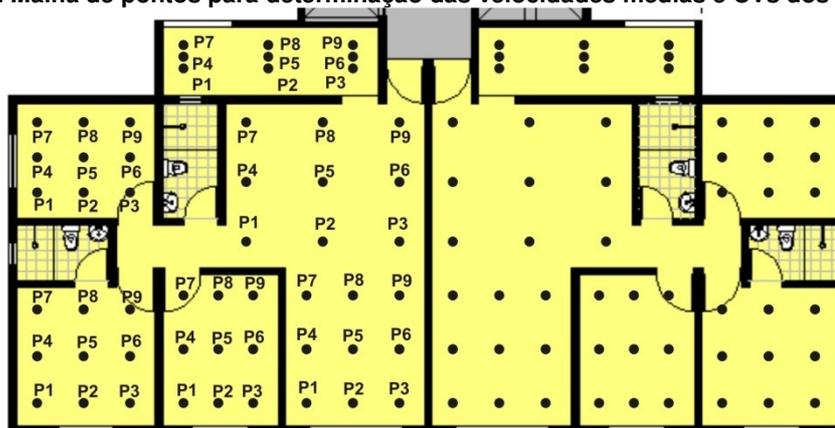


**Fonte: Autor desta dissertação, 2012.**

## 2.2.2 Determinação da velocidade média nos ambientes

Foi analisado cada um dos ambientes de longa permanência dos apartamentos escolhidos, isto é, as salas de estar e jantar, quartos e cozinha/serviço. Uma malha de nove pontos distantes 1,5m do piso foi utilizada para determinar a velocidade média do vento em cada ambiente, de acordo com o seu pavimento, figura 46. A velocidade média dos ambientes foi comparada com a velocidade do vento externo na mesma altura, para cada pavimento.

Figura 46: Malha de pontos para determinação das velocidades médias e CVs dos ambientes.



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Com esses dados foram calculados o coeficiente de velocidade (CV) dos ambientes para identificar o respectivo potencial de ventilação. Foi estabelecido o número de renovações de ar necessário para que cada ambiente mantenha a sua qualidade de ar interno, de acordo com a ASHRAE 62 (2001), quadro 15. Os valores apresentados no quadro 15, foram encontrados multiplicando o volume de cada ambiente pelo número mínimo de renovações por hora para manter a qualidade do ar aceitável de acordo com a norma, que é igual a 0,35 trocas por hora.

Quadro 15: Número mínimo de trocas de ar por ambiente

Ambiente	Estar/Jantar	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Coz./Serviço
N° Renov./h	23	7	8	7	6

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 2.2.3 Aplicação do método de Macfarlane

O método definido por Macfarlane e apresentado no item 1.3.4 deste trabalho, foi aplicado aos ambientes dos modelos estudados para verificar se tais ambientes alcançam a velocidade do vento necessária para restituir o conforto dos usuários.

Com base nos dados climáticos de 1962 disponíveis no arquivo TRY de Maceió e visualizados através do software Analysis Bio (LABEEE, 2010), foi escolhido o mês com maior temperatura média máxima para análise dos resultados das simulações, de modo a simular a pior situação em um dos meses mais quentes do ano. O mês definido foi o mês de fevereiro que apresenta temperatura média máxima igual a 30,4°C, figura 47.

Vale ressaltar que a temperatura média máxima é um caso extremo e, portanto, pode gerar uma situação de desconforto apenas momentâneo, pois, durante o dia, as edificações naturalmente ventiladas podem induzir o conforto mesmo em situações de

temperaturas maiores que as preferidas durante as calmarias, por um período de duas horas (CLARK, 1989 *apud* BITTENCOURT, 1993).

**Figura 47: Dados climáticos para Maceió.**

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SETT	OUT	NOV	DEZ
1	30.2	30.4	30.2	29.6	28.5	27.6	27	27.1	27.8	29	29.9	30
2	22.4	22.6	22.7	22.5	22	21.3	20.5	20.2	20.7	21.2	21.6	22
3	26.2	26.3	25.3	25.9	25.1	24.3	23.7	23.5	23.9	24.1	24.4	24.8
4	75.4	76.6	76.3	81.5	82.6	79.6	82.1	79.5	77.2	76	74.7	75.8

Variáveis:  
 1. Temperaturas Médias Máximas( °C )  
 2. Temperaturas Médias Mínimas( °C )  
 3. Temperaturas Médias( °C )  
 4. Umidades Relativas Médias( % )  
 5. Pressões Barométricas( hPa )

Fonte: Analysis Bio (LABEEEE, 2010).

A temperatura média do mês de fevereiro também foi escolhida, por representar a situação térmica de maior probabilidade de ocorrência durante o mês. Assim, os dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa disponíveis no Analysis Bio (2010) foram aplicados ao método de Macfarlane, ficando estabelecidas as velocidades do vento necessárias para restaurar o conforto nos ambientes para a situação de temperatura média máxima, com velocidade requerida de 1,238m/s e temperatura média, com velocidade requerida de 0,460m/s, quadro 16.

**Quadro 16: Velocidade requerida para restituir o conforto**

Mês	TBS °C	UR %	TBS °C Ajustada	UR % Ajustada	VN Req. (m/s)	
Fevereiro	TBS Méd. Máx.	30,4	61	4,46	0,08	1,238
Fevereiro	TBS Média	26,3	76,6	0,36	1,328	0,460

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Modelos com rugosidade 1 e abertura de saída variando em relação à área do piso

##### 3.1.1 Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 90°

O direcionamento do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos analisados. No primeiro pavimento um fluxo de ar linear é notado nas salas de estar dos dois apartamentos. Esse fluxo é modificado quando chega até a sala de jantar formando um pequeno vórtice, ou zona de recirculação do ar, próximo ao corredor, e logo segue em direção à cozinha. No quarto 1 dos dois apartamentos, o fluxo sofre uma desaceleração e é direcionado para a porta. No quarto 2, para os dois apartamentos, um vórtice é formado na parede adjacente ao banheiro, fazendo desacelerar o fluxo que segue para as portas do banheiro e do quarto. No quarto 3, para os dois apartamentos, o fluxo de ar proveniente dos outros quartos sofre certa aceleração e aumenta sua velocidade na porta de entrada. Esse

fluxo, que ao entrar no quarto segue em direção à parede oposta, desacelera e desvia em direção à janela, quadro 17.

No quinto pavimento, o fluxo de ar que percorre os ambientes dos dois apartamentos torna-se mais intenso devido a sua altura em relação ao primeiro pavimento. O fluxo percorre a sala de estar e segue em direção à cozinha/serviço. O fluxo gerado no quarto 1, para os dois apartamentos, segue em direção à porta juntando-se com o fluxo dos quartos 2 e 3 no corredor, que também foram intensificados, quadro 17.

No oitavo pavimento, a direção do fluxo do ar é semelhante à dos outros pavimentos. Porém, tem intensidade menor que a do quinto pavimento causada, provavelmente, pela diferença de pressão na fachada do edifício, quadro 17.

A velocidade média nos pontos aferidos variou de 0,39 a 2,36 m/s para os três pavimentos estudados. O quadro 18 mostra a velocidade média dos ambientes para cada pavimento. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,52m/s a 0,91. No apartamento 2, a variação foi de 0,52m/s a 0,83m/s. Nos dois casos as maiores velocidades ocorrem na cozinha/serviço, provavelmente pelo efeito de canalização do vento que o ambiente provoca.

No quinto pavimento a variação de velocidade dos ambientes do apartamento 1 é de 0,74m/s a 1,35m/s, enquanto que no apartamento 2 é de 0,74m/s a 1,13m/s. Nota-se que as velocidades dos ambientes apresentam valores maiores que as do primeiro pavimento devido à posição dos apartamentos em relação à altura do edifício.

No oitavo pavimento, apartamento 1, as velocidades variaram de 0,65 a 1m/s, enquanto que no apartamento 2, a variação foi de 0,61 a 1m/s. Percebe-se uma redução nas velocidades dos ambientes do oitavo pavimento em relação ao quinto pavimento. Apesar de a velocidade do vento na altura do oitavo pavimento ser maior que a velocidade do vento na altura do quinto pavimento, a redução das velocidades médias internas dos ambientes do oitavo pavimento pode ter ocorrido devido às diferenças de pressão na fachada do edifício.

Em relação ao conforto térmico, o método proposto por Macfarlane estabelece a velocidade do vento necessária para restaurar o conforto do ambiente. De acordo com o quadro 18, no primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,25 a 0,44, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,25 a 0,40 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos apartamentos do pavimento 1. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s

requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,26 a 0,47, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,26 a 0,45 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas na sala de estar do apartamento 1 e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,20 a 0,31, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,19 a 0,31 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Em relação ao fluxo de ar dos ambientes. No primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.476,66 m<sup>3</sup>/h a 4.229,67 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.904,72 m<sup>3</sup>/h a 5.145,50m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.732,18 m<sup>3</sup>/h a 4.444,37m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. Em todos os casos o fluxo encontrado nos ambientes superou a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.1.2 Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 17.

Apesar da semelhança no comportamento do fluxo do vento nos três pavimentos, percebe-se que, na sala de estar, quarto 1 e 2 dos apartamentos 2 do quinto e oitavo pavimento esse fluxo sofre um pequeno aumento.

De acordo com o quadro 18, a velocidade média dos pontos aferidos primeiro pavimento variou de 0,61m/s a 3,03m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,61m/s a 0,74m/s. No apartamento 2 a variação da velocidade média dos ambientes foi de 0,61m/s a 1,28m/s.

No quinto pavimento, a velocidade média nos pontos aferidos variou de 0,61m/s a 2,43m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,61m/s a 0,74m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,61m/s a 1,08m/s.

No oitavo pavimento, a velocidade média nos pontos aferidos variou de 0,61m/s a 3,03m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,61m/s a 0,74m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,74m/s a 1,55m/s.

Nos três pavimentos, percebe-se que os apartamentos de número 2 apresentam velocidades médias dos ambientes maiores que as dos apartamentos de número 1. Isso ocorre devido ao ângulo de incidência do vento que provoca diferenças de pressão na fachada do edifício de maneira diferenciada.

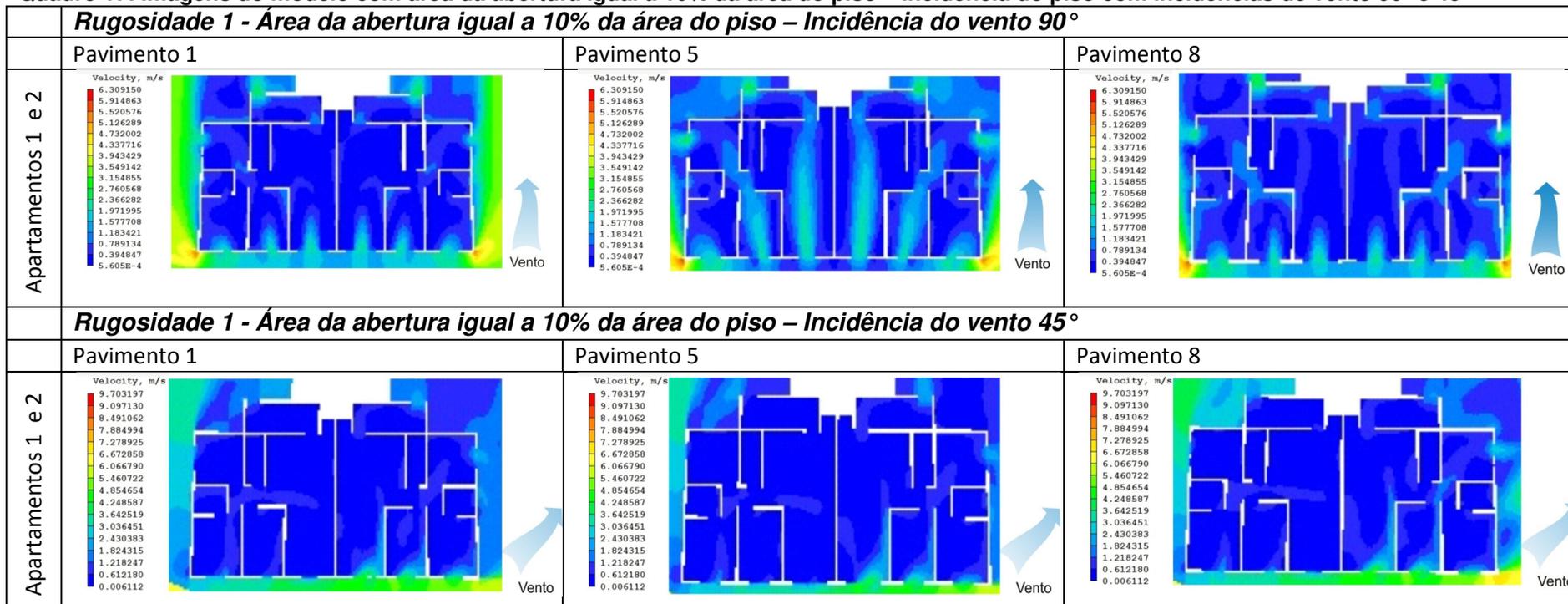
Em relação ao conforto térmico, o quadro 18 mostra que o coeficiente de velocidade variou de 0,29 a 0,39, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,29 a 0,62 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas no quarto 1 do apartamento 2. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,21 a 0,26, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,21 a 0,40 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,23, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,48 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Em relação ao fluxo de ar dos ambientes, o quadro 18 mostra que o fluxo de ar produzido pelos ambientes do primeiro pavimento variou de 2.660,11 m<sup>3</sup>/h a 3.184,27 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.184,27 m<sup>3</sup>/h a 5.036,30 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido variou de 1.626,38 m<sup>3</sup>/h a 3.184,27 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.184,27 m<sup>3</sup>/h a 5.036,30 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido variou de 2.660,11m<sup>3</sup>/h a 3.595,56m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 3.708,43m<sup>3</sup>/h a 5.569,20m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 17: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Quadro 18: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°**

R1 - Rugosidade 1 - Áreas Suburbanas	Pi 10 - 10% Área do Piso	Incidência do Vento 90°	1° Pav		5° Pav		8° Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,39-2,36	0,39-2,36	0,39-2,36	0,39-2,36	0,39-2,36	0,39-2,36
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,74	0,74	1,35	1,13	0,74	0,78			
Sala de jantar	0,52	0,52	0,78	0,78	0,65	0,61			
Quarto 1	0,74	0,7	1,13	1,31	0,91	0,87			
Quarto 2	0,69	0,69	0,74	0,74	0,91	0,87			
Quarto 3	0,7	0,7	0,83	0,83	0,78	0,87			
Cozinha/Serviço	0,91	0,83	0,87	0,91	1	1			
Coef. De Vel.	0,25-0,44	0,25-0,40	0,26-0,47	0,26-0,45	0,20-0,31	0,19-0,31			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.476,66 - 4.229,67	2.476,66 - 4.229,67	2.904,72 - 5.145,50	2.904,72 - 5.145,50	2.732,18 - 4.444,37	2.732,18 - 4.444,37			
Incidência do Vento 45°	1° Pav		5° Pav		8° Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,61-1,21	0,61-3,03	0,61-1,21	0,61-2,43	0,61-1,21	0,61-3,03		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,61	1,21	0,61	1,15	0,61	1,55			
Sala de jantar	0,74	0,61	0,68	0,61	0,74	0,74			
Quarto 1	0,68	1,28	0,61	0,95	0,74	1,42			
Quarto 2	0,81	0,88	0,74	0,68	0,74	0,94			
Quarto 3	0,68	0,81	0,61	0,81	0,68	1,15			
Cozinha/Serviço	0,68	1,01	0,68	1,08	0,68	0,88			
Coef. De Vel.	0,29-0,39	0,29-0,62	0,21-0,26	0,21-0,40	0,19-0,23	0,23-0,48			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.660,11-3.184,27	3.184,27-5.036,30	1.626,38-3.184,27	3.184,27-5.036,30	2.660,11-3.595,56	3.708,43-5.569,20			
<b>Mês</b>	<b>TBS °C</b>		<b>UR %</b>		<b>TBS °C Ajust</b>		<b>UR % Ajust</b>		
Fevereiro	TBS Méd. Máx. 30,4		61		4,46		0,08		
Fevereiro	TBS Média 26,3		76,6		0,36		1,328		
	Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s								
	Velocidade maior que 1,238 m/s								

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.1.3 Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. Na sala de estar, o fluxo parte da janela em direção à cozinha/serviço. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor. O fluxo dos quartos de número 2 apresenta uma zona de recirculação, devida à porta do banheiro. O fluxo dos quartos de número 3 sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação no meio do quarto devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 19.

Apesar de o percurso do fluxo ser semelhante, a imagem do quinto pavimento mostra que o fluxo é intensificado na região que parte da sala de estar para a cozinha/serviço, na região que passa do quarto 1 para o quarto 3, e no interior do quarto 2 com a distribuição maior do fluxo de ar que forma um vórtice. A intensidade do fluxo aumenta devido à altura do quinto pavimento em relação ao primeiro.

No oitavo pavimento, a intensidade do fluxo reduz em relação ao quinto pavimento, mas continua maior que a do primeiro pavimento. Na sala de jantar o vórtice formado aumenta a velocidade do vento do ambiente. Percebe-se também que, apesar da variação da velocidade nos ambientes, o fluxo de ar do pavimento parece abranger grande parte dos espaços como se vê principalmente nos quartos 1 e 2 nos dois apartamentos do oitavo pavimento.

A velocidade média aferida nos pontos dos ambientes do primeiro pavimento variou de 0,44m/s a 2,23m/s, quadro 20. A velocidade média do vento no interior dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,14m/s no apartamento 1, e de 0,54m/s a 1,09m/s no interior dos ambientes do apartamento 2. Nos dois apartamentos, as maiores velocidades foram encontradas na cozinha/serviço.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos dos dois apartamentos variou de 0,44m/s a 2,67m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,84m/s a 1,28m/s e, no apartamento 2, a velocidade média dos ambientes variou de 0,79m/s a 1,28m/s. Percebe-se um aumento nas velocidade do quinto pavimento devido à sua altura em relação ao primeiro pavimento.

No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos dos dois apartamentos variou de 0,44m/s a 2,67m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,74m/s a 1,19m/s e, no apartamento 2, a velocidade média dos ambientes variou de 0,74m/s a 1,14m/s. Algumas das velocidades encontradas no oitavo pavimento são menores que as encontradas no quinto pavimento, isso ocorre,

provavelmente, pela diferença de pressão na fachada do edifício e a posição das aberturas dos apartamentos em relação ao edifício.

Em relação ao conforto térmico o quadro 20 mostra que o coeficiente de velocidade variou de 0,31 a 0,55, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,26 a 0,52 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos apartamentos do pavimento 1. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,29 a 0,45, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,27 a 0,45 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas na sala de estar do apartamento 1, na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,23 a 0,37, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,36 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Em relação ao fluxo de ar, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.708,16 m<sup>3</sup>/h a 6.066,30m<sup>3</sup>/h. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 3.293,47 m<sup>3</sup>/h a 6.066,30m<sup>3</sup>/h. no oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 3.099,10m<sup>3</sup>/h a 6.010,20m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.1.4 Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de

estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 19.

No quinto pavimento, o fluxo do vento no apartamento 2 parece aumentar de intensidade no lado direito da sala de estar e do quarto 1. O mesmo comportamento ocorre com o apartamento 2 do oitavo pavimento, sala de estar e quarto 1, que parecem ter um fluxo com intensidade um pouco maior nesses ambientes.

De acordo com o quadro 20, a velocidade média aferida nos pontos do primeiro pavimento variou de 0,56m/s a 3,33m/s. No apartamento 1 a variação de velocidade dos ambientes foi de 0,56m/s a 0,80m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,74m/s a 1,54m/s.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos dos ambientes variou de 0,56m/s a 3,33m/s. No apartamento 1 a variação de velocidade foi de 0,56m/s a 0,80m/s. No apartamento 2 a variação da velocidade média dos ambientes foi de 0,8m/s a 1,6m/s.

No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos dos ambientes variou de 0,56m/s a 3,33m/s. No apartamento 1 a velocidade média variou de 0,56m/s a 0,80m/s, enquanto que no apartamento 2 a variação de velocidade média foi de 0,87m/s a 1,67m/s. Nos três pavimentos percebe-se que os apartamentos de número 2 apresentam velocidades médias dos ambientes maiores devido ao ângulo de incidência do vento e às diferentes pressões que ocorrem a fachada do edifício.

Com relação ao conforto térmico, o quadro 20 mostra que o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,39, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,36 a 0,72 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,28, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,28 a 0,56 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 1, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,25, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,27 a 0,52 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Com relação ao fluxo de ar dos ambientes o quadro 20 mostra que, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.441,71 m<sup>3</sup>/h a 3.990,77 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.402,67m<sup>3</sup>/h a 6.218,55 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.321,59 m<sup>3</sup>/h a 2.681,95 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.647,28m<sup>3</sup>/h a 6.307,39 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.201,47m<sup>3</sup>/h a 3.990,77m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 4.123,39m<sup>3</sup>/h a 6.547,63m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 19: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**

<b>Rugosidade 1 - Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 90°</b>			
	<b>Pavimento 1</b>	<b>Pavimento 5</b>	<b>Pavimento 8</b>
<b>Apartamentos 1 e 2</b>			
<b>Rugosidade 1 - Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 45°</b>			
	<b>Pavimento 1</b>	<b>Pavimento 5</b>	<b>Pavimento 8</b>
<b>Apartamentos 1 e 2</b>			

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 20: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°**

R1 - Rugisidade 1 - Áreas Suburbanas	Pi 15 - 15% Área do Piso	Incidência do Vento 90°	Pavimento/Apto	1º Pav		5º Pav		8º Pav	
			Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	
			V (m/s)	0,44-2,23	0,44-2,23	0,44-2,67	0,44-2,67	0,44-2,67	0,44-2,67
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,84	0,84	1,28	1,28	0,84	0,94			
Sala de jantar	0,64	0,54	0,84	0,79	0,74	0,74			
Quarto 1	0,84	0,84	1,23	1,28	1,19	1,14			
Quarto 2	0,89	0,89	0,99	1,09	0,99	1,04			
Quarto 3	0,74	0,69	0,84	0,84	0,84	0,84			
Cozinha/Serviço	1,14	1,09	1,23	1,23	1,18	1,04			
Coef. De Vel.	0,31-0,55	0,26-0,52	0,29-0,45	0,27-0,45	0,23-0,37	0,23-0,36			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.708,16-6.066,30	2.708,16-6.066,30	3.293,47-6.066,30	3.293,47-6.066,30	3.099,10-6.010,20	3.099,10-6.010,20			
Incidência do Vento 45°	Pavimento/Apto	1º Pav		5º Pav		8º Pav			
	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2			
	V (m/s)	0,56-1,11	0,56-3,33	0,56-1,11	0,56-3,33	0,56-1,11	0,56-3,33		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,56	1,48	0,56	1,6	0,56	1,6			
Sala de jantar	0,68	0,74	0,62	0,8	0,68	0,87			
Quarto 1	0,68	1,54	0,62	1,6	0,8	1,67			
Quarto 2	0,8	1,11	0,8	1,05	0,8	1,05			
Quarto 3	0,62	0,87	0,62	0,93	0,56	1,17			
Cozinha/Serviço	0,8	0,87	0,56	0,87	0,74	0,93			
Coef. De Vel.	0,27-0,39	0,36-0,72	0,19-0,28	0,28-0,56	0,18-0,25	0,27-0,52			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.441,71-3.990,77	3.402,67-6.218,55	2.321,59-2.681,95	3.647,28-6.307,39	2.201,47-3.990,77	4.123,39-6.547,63			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust		VN Req. (m/s)
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46		0,08		1,238
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36		1,328		0,460
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.1.5 Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 90°**

De acordo com o quadro 21, no primeiro pavimento o fluxo de ar dos dois apartamentos foi semelhante. Na sala de estar, o fluxo parte da janela em direção à cozinha/serviço, formando um vórtice na sala de jantar. Nota-se que a intensidade do fluxo da cozinha/serviço para este modelo, é um pouco maior que o fluxo dos modelos com área de abertura igual a 10% e 15% da área do piso. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação no interior do ambiente. De modo geral, percebe-se que a porcentagem maior da área de abertura de saída parece favorecer o aumento do fluxo de ar nos pavimentos 5 e 8.

De acordo com o quadro 22 a velocidade aferida nos pontos dos ambientes variou de 0,38m/s a 2,71m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,51m/s a 1,25m/s. No apartamento 2 a velocidade média variou de 0,55m/s a 1,29m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,86m/s a 1,42m/s. No apartamento 2 a velocidade média variou de 0,81m/s a 1,37m/s. No oitavo pavimento a velocidade média dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,12m/s no apartamento 1, e 0,64m/s a 1,07m/s no apartamento 2. De acordo com os valores de velocidade encontrados, nota-se que o quinto pavimento apresenta velocidades maiores que as do primeiro pavimento devido a sua posição no edifício. No oitavo pavimento as velocidades encontradas são menores que as do quinto pavimento, o que pode ter ocorrido devido às diferenças de pressão na fachada do edifício.

Com relação ao conforto térmico o, quadro 22, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,25 a 0,60, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,27 a 0,62 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas nas cozinhas/serviços dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,49, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,28 a 0,48 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS

média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 dos dois apartamentos, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,20 a 0,36, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,38 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Com relação ao fluxo de ar dos ambientes, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.686,32m<sup>3</sup>/h a 8.642,44m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 3.027,02m<sup>3</sup>/h a 8.642,44m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.856,67m<sup>3</sup>/h a 7.616,40m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.1.6 Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, quadro 21, o fluxo do vento nos apartamentos de número 1 é menor que o fluxo dos apartamentos de número 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 21.

De acordo com o quadro 22, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,58m/s a 2,88m/s no primeiro pavimento. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,83m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 1,54m/s. Percebe-se que a maior velocidade do apartamento 1 aparece na cozinha/serviço, enquanto que no apartamento 2, as maiores velocidades aparecem nos ambientes da fachada principal.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,58m/s a 3,46m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,83m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,64m/s a 1,41m/s. No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,58m/s a 3,46m/s. No apartamento 1 a velocidade

média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,96m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,77m/s a 1,79m/s. Nos dois pavimentos percebe-se que as maiores velocidades aparecem nos apartamentos de número 2, provavelmente, pelo ângulo de incidência do vento e das pressões diferenciadas na fachada do edifício.

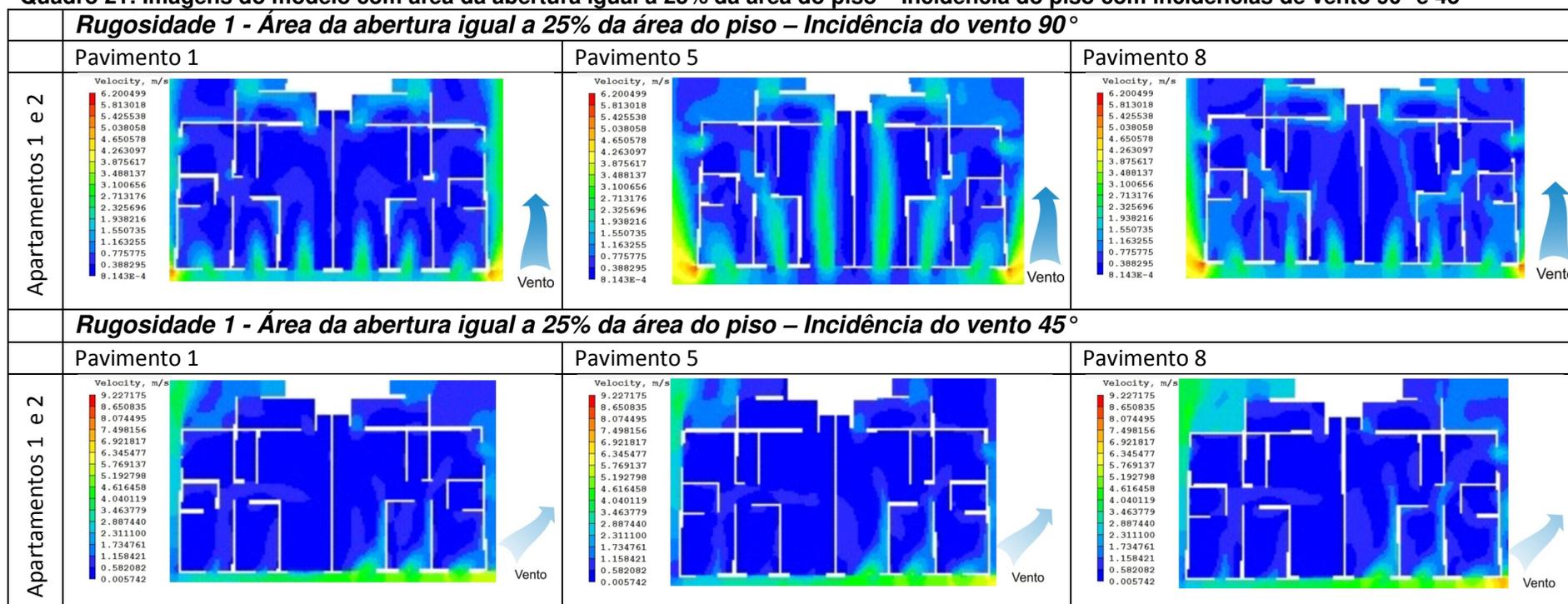
Sobre o conforto térmico, o quadro 22 mostra que, no primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,28 a 0,40, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,28 a 0,74 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 e quarto 2 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,20 a 0,29, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,22 a 0,49 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,30, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,24 a 0,56 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo de ar, o quadro 22 mostra que, para o primeiro pavimento, o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.529,07 m<sup>3</sup>/h a 4.538,27m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.280,37m<sup>3</sup>/h a 6.827,13 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar variou de 2.529,07 m<sup>3</sup>/h a 4.538,27 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.280,37m<sup>3</sup>/h a 9.116,00 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar variou de 2.529,07m<sup>3</sup>/h a 6.827,13m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 5.038,49m<sup>3</sup>/h a 7.590,09m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 21: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 22: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°**

R1 - Rugiosidade 1 - Áreas Suburbanas	PI 25 - 25% Área do Piso	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,38-2,71	0,38-2,71	0,38-2,71	0,38-2,71	0,38-2,71	0,38-2,71
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,9	0,94	1,42	1,37	0,9	0,86			
Sala de jantar	0,51	0,55	0,86	0,81	0,64	0,64			
Quarto 1	0,9	1,03	1,33	1,37	1,12	1,2			
Quarto 2	0,9	0,86	1,07	1,07	1,07	1,07			
Quarto 3	0,68	0,68	0,77	0,81	0,73	0,81			
Cozinha/Serviço	1,25	1,29	1,12	1,16	1,16	1,2			
Coef. De Vel.	0,25-0,60	0,27-0,62	0,27-0,49	0,28-0,48	0,20-0,36	0,20-0,38			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.686,32-8.642,44	2.686,32-8.642,44	3.027,02-8.642,44	3.027,02-8.642,44	2.856,67-7.616,40	2.856,67-7.616,40			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,58-1,15	0,58-2,88	0,58-1,15	0,58-3,46	0,58-1,15	0,58-3,46		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,58	1,41	0,58	1,41	0,58	1,79			
Sala de jantar	0,71	0,58	0,71	0,64	0,71	0,77			
Quarto 1	0,71	1,54	0,64	1,41	0,77	1,67			
Quarto 2	0,77	1,34	0,83	1,15	0,83	1,02			
Quarto 3	0,64	0,83	0,64	0,77	0,64	1,22			
Cozinha/Serviço	0,83	1,09	0,58	1,22	0,96	1,22			
Coef. De Vel.	0,28-0,40	0,28-0,74	0,20-0,29	0,22-0,49	0,18-0,30	0,24-0,56			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.529,07-4.538,27	3.280,37-6.827,13	2.529,07-4.538,27	3.280,37-9.116,00	2.529,07-6.827,13	5.038,49-7.590,09			
<b>Mês</b>	<b>TBS °C</b>		<b>UR %</b>		<b>TBS °C Ajust</b>		<b>UR % Ajust</b>		
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4		61		4,46		
Fevereiro	TBS Média		26,3		76,6		0,36		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.2 Modelos com rugosidade 1 e abertura de saída variando em relação à seção média do ambiente**

#### **3.2.1 Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. Como nos modelos com abertura de saída baseada na área do piso, o fluxo da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 23. Nos quartos, de modo geral, o fluxo de ar parece estar melhor distribuído do que nos quartos dos modelos com abertura 10% em relação à área do piso.

De acordo com o quadro 24, a velocidade média aferida nos pontos dos ambientes variou de 0,38m/s a 2,23m/s no primeiro pavimento. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,51m/s a 0,90m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,47m/s a 0,99m/s. No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,38m/s a 2,71m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,68m/s a 1,25m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,68m/s a 1,33m/s. No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,38m/s a 1,94m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,55m/s a 1,03m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,55m/s a 1,07m/s.

Em relação ao conforto térmico, o quadro 24 mostra que, para o primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,25 a 0,43, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,48 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,24 a 0,43, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,24 a 0,46 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 1 e no

quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,17 a 0,32, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,17 a 0,34 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Em relação ao fluxo de ar, quadro 24, no primeiro pavimento, o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.238,60m<sup>3</sup>/h a 4.959,66m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 3.197,38m<sup>3</sup>/h a 5.241,60m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.601,14m<sup>3</sup>/h a 4.511,43m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. O fluxo dos três pavimentos é superior ao recomendado pela ASHRAE (2001) que é de 0,35m<sup>3</sup>/h.

### **3.2.2 Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, quadro 23, o fluxo do vento nos apartamentos 1 é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos estudados. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas. Apesar da semelhança quanto ao trajeto do fluxo do vento, nota-se que esse fluxo aumenta de intensidade no apartamento de número 2 do quinto pavimento e do oitavo, este último mais que o quinto.

De acordo com o quadro 24, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,55m/s a 1,10m/s no primeiro pavimento. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,53m/s a 0,79m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,61m/s a 1,53m/s.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,55m/s a 2,76m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,55m/s a 0,79m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,55m/s a 1,41m/s. No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,55m/s a 2,46m/s. No apartamento 1 a velocidade

média dos ambientes variou de 0,55m/s a 0,79m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,67m/s a 1,65m/s.

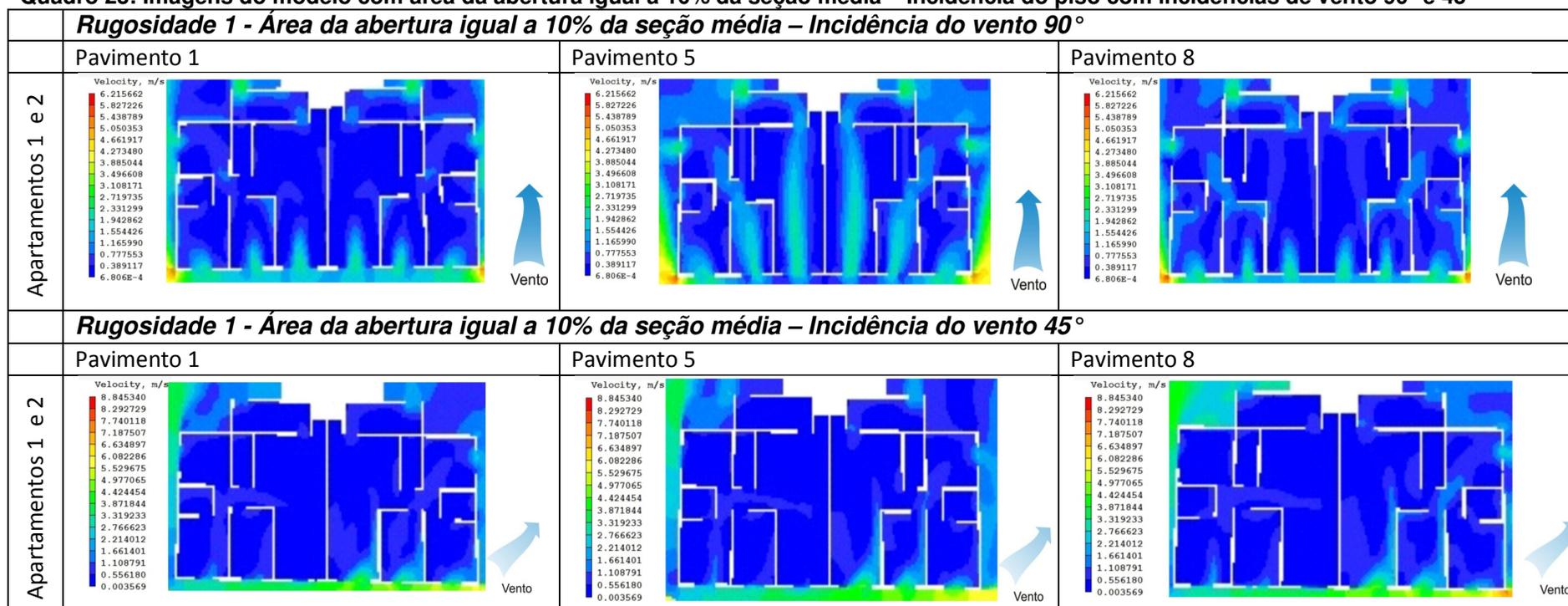
Sobre o conforto térmico, quadro 24, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,38, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,30 a 0,74 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,28, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,19 a 0,49 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,17 a 0,25, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,21 a 0,50 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e nos quartos 1 e 3 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo de vento nos ambientes, quadro 24, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.282,28m<sup>3</sup>/h a 3.123,12m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 4.09282m<sup>3</sup>/h a 5.778,86m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No segundo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.246,98m<sup>3</sup>/h a 3.123,12 m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.280,37m<sup>3</sup>/h a 3.123,12m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.402,40m<sup>3</sup>/h a 2.898,96m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 3.843,84m<sup>3</sup>/h a 5.58,14m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. O fluxo dos três pavimentos foi superior ao recomendado pela ASHRAE (2001) que é de 0,35m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 23: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 24: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°**

R1 - Rugisidade 1 - Áreas Suburbanas	Sm 10 - 10% seção média	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,38-2,23	0,38-2,23	0,38-2,71	0,38-2,71	0,38-1,94	0,38-1,94
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,64	0,67	1,25	1,12	0,77	0,77			
Sala de jantar	0,51	0,47	0,68	0,68	0,55	0,55			
Quarto 1	0,73	0,77	1,12	1,33	1,03	1,07			
Quarto 2	0,51	0,68	0,86	0,9	0,94	0,94			
Quarto 3	0,6	0,64	0,94	0,81	0,81	0,81			
Cozinha/Serviço	0,9	0,99	1,07	0,99	1,03	1,03			
Coef. De Vel.	0,25-0,43	0,23-0,48	0,24-0,43	0,24-0,46	0,17-0,32	0,17-0,34			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.238,60-4.959,66	2.238,60-4.959,66	3.197,38-5.241,60	3.197,38-5.241,60	2.601,14-4.511,43	2.601,14-4.511,43			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,55-1,10	0,55-2,76	0,55-1,10	0,55-2,76	0,55-1,10	0,55-2,76		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,55	1,53	0,55	1,41	0,55	1,59			
Sala de jantar	0,61	0,61	0,61	0,55	0,67	0,67			
Quarto 1	0,67	1,47	0,67	1,29	0,73	1,65			
Quarto 2	0,79	1,04	0,79	0,86	0,79	0,98			
Quarto 3	0,61	1,1	0,61	0,79	0,61	1,29			
Cozinha/Serviço	0,67	0,98	0,61	0,98	0,79	0,86			
Coef. De Vel.	0,27-0,38	0,30-0,74	0,19-0,28	0,19-0,49	0,17-0,25	0,21-0,50			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.282,28-3.128,12	4.092,82-5.778,86	2.246,98-3.123,12	3.280,37-3.123,12	2.402,40-2.898,96	3.843,84-5.580,14			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust		VN Req. (m/s)
Fevereiro	TBS Méd. Máx. 30,4		61		4,46		0,08		1,238
Fevereiro	TBS Média 26,3		76,6		0,36		1,328		0,460
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.2.3 Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante nos dois apartamentos, para os três pavimentos analisados, variando apenas em intensidade, quadro 25. O fluxo da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. No primeiro pavimento esse fluxo forma um vórtice na sala de jantar. No quinto pavimento a intensidade do fluxo aumenta fazendo e parte direto para a cozinha/serviço. No oitavo pavimento o fluxo também parte para a cozinha, mas antes, se distribui pela sala de jantar em uma intensidade que permite a formação de um vórtice com maior velocidade que o formado no primeiro pavimento.

O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 25.

De acordo com o quadro 26, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,38m/s a 2,72m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamentos 1 e 2, a velocidade média dos ambientes variou de 0,47m/s a 1,03m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,77m/s a 1,55m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,77m/s a 1,55m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,60m/s a 1,07m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,25m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro 26, no primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,23 a 0,50, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,50 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,46, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,27 a 0,54 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 dos dois apartamentos, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as

condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,34, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,39 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas na cozinha/serviço do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Em relação ao fluxo de ar dos ambientes, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.175,26m<sup>3</sup>/h a 6.024,26m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 3.027,02m<sup>3</sup>/h a 6.360,38m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.856,67m<sup>3</sup>/h a 5.688,14m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. Nos três pavimentos o fluxo foi maior que o mínimo indicado pela ASHRAE (2001) que é de 0,35 m<sup>3</sup>/h.

#### **3.2.4 Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1 é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de jantar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 25. Percebe-se um aumento na intensidade no fluxo de vento no pavimento 5 e no pavimento 8 no que se refere aos apartamentos de número 2.

De acordo com o quadro 26, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,57m/s a 2,85m/s no primeiro pavimento. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 0,82m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 1,52m/s.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,57m/s a 3,42m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 0,82m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,57m/s a 1,77m/s. No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,57m/s a 2,85m/s. No apartamento 1 a velocidade

média dos ambientes variou de 0,57m/s a 0,82m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,82m/s a 1,39m/s.

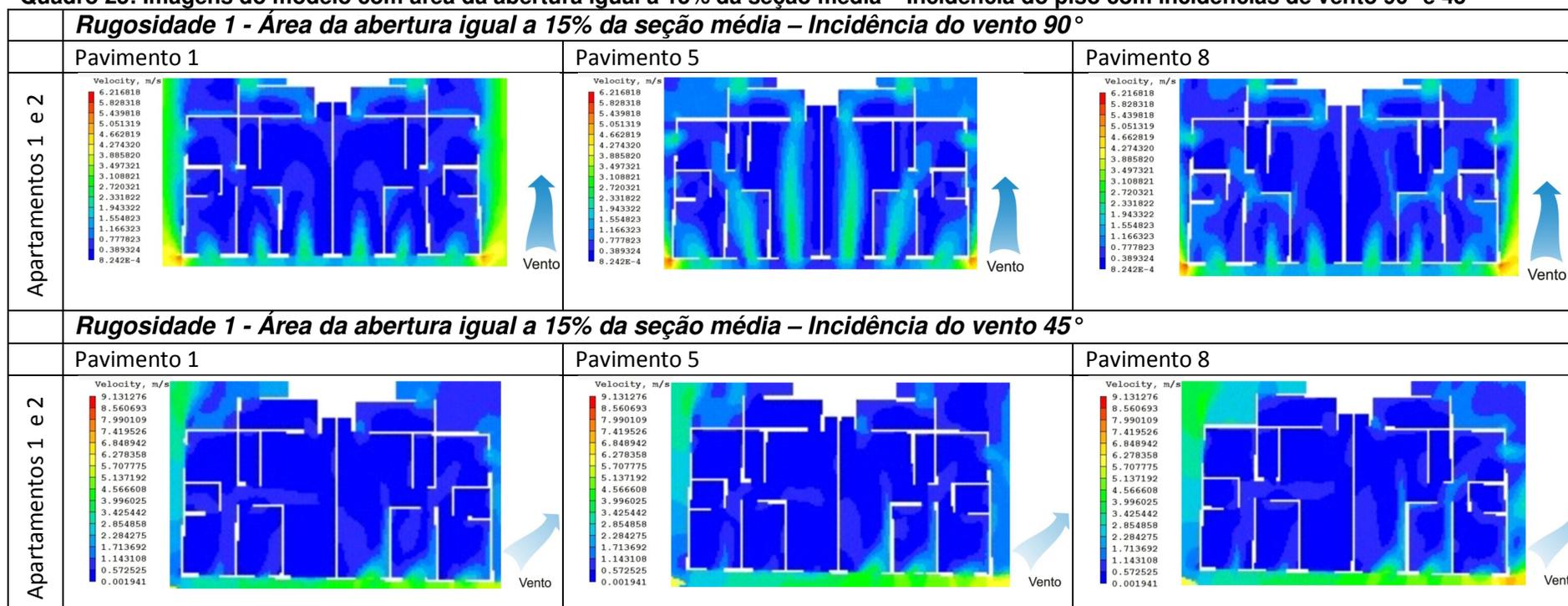
Sobre o conforto térmico, quadro 26, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,28 a 0,40, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,28 a 0,73 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,20 a 0,29, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,62 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,26, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,22 a 0,44 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo de ar, quadro 26, no primeiro pavimento o fluxo pelos ambientes variou de 2.489,76m<sup>3</sup>/h a 4.421,24m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.485,66m<sup>3</sup>/h a 6.877,48m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.365,27m<sup>3</sup>/h a 3.236,69m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 3.485,66m<sup>3</sup>/h a 6.386,23m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.489,76m<sup>3</sup>/h a 4.421,24m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 3.236,69m<sup>3</sup>/h a 5.894,99m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 25: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 26: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°**

R1 - Rugisidade 1 - Áreas Suburbanas	5m15 - 15% seção média	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,38-2,72	0,38-2,72	0,38-2,72	0,38-2,72	0,38-2,72	0,38-2,72
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,81	0,77	1,33	1,29	0,86	0,86			
Sala de jantar	0,47	0,47	0,94	0,9	0,6	0,64			
Quarto 1	0,77	0,86	1,55	1,55	0,9	1,2			
Quarto 2	0,68	0,77	0,9	1,07	0,99	1,16			
Quarto 3	0,68	0,55	0,77	0,77	0,73	0,86			
Cozinha/Serviço	1,03	1,03	1,16	1,16	1,07	1,25			
Coef. De Vel.	0,23-0,50	0,23-0,50	0,27-0,46	0,27-0,54	0,19-0,34	0,20-0,39			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.175,26-6.024,26	2.175,26-6.024,26	3.027,02-6.360,38	3.027,02-6.360,38	2.856,67-5.688,14	2.856,67-5.688,14			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,57-1,14	0,57-2,85	0,57-1,14	0,57-3,42	0,57-1,14	0,57-2,85		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,57	1,52	0,57	1,77	0,57	1,39			
Sala de jantar	0,7	0,57	0,63	0,57	0,7	0,7			
Quarto 1	0,7	1,52	0,63	1,58	0,76	1,33			
Quarto 2	0,82	1,01	0,82	1,08	0,82	0,82			
Quarto 3	0,63	0,89	0,82	0,89	0,63	1,08			
Cozinha/Serviço	0,7	1,01	0,57	1,2	0,76	1,01			
Coef. De Vel.	0,28-0,40	0,28-0,73	0,20-0,29	0,20-0,62	0,18-0,26	0,22-0,44			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.489,76-4.421,24	3.485,66-6.877,48	2.365,27-3.236,69	3.485,66-6.386,23	2.489,76-4.421,24	3.236,69-5.894,99			
<b>Mês</b>	<b>TBS °C</b>		<b>UR %</b>		<b>TBS °C Ajust</b>		<b>UR % Ajust</b>		
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46	0,08	1,238		
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36	1,328	0,460		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.2.5 Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados, quadro 27. O fluxo do ar da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. No primeiro pavimento um vórtice se forma na sala de jantar. No quinto pavimento o fluxo aumenta e passa da sala de jantar direto para a cozinha/serviço. no oitavo pavimento o fluxo da sala de jantar se distribui formando um vórtice com mais intensidade que o do primeiro pavimento.

O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 27.

De acordo com o quadro 28, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,46m/s a 3,27m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,56m/s a 1,61m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,62m/s a 1,82m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,83m/s a 1,71m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,72m/s a 1,82m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,56m/s a 1,45m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,67m/s a 1,29m/s.

Em relação ao conforto térmico o, no primeiro pavimento, coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,78, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,30 a 0,88 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na cozinha/serviço dos dois apartamentos, Os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,29 a 0,59, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,25 a 0,63 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar, no quarto 1, quarto 2 e cozinha/serviço do apartamento 1. Também alcançaram a velocidade requerida para restaurar o conforto a sala de estar, o quarto 1 e a cozinha/serviço do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS

média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,45, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,21 a 0,39 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada nos quarto 1 e 2 e na cozinha/serviço do apartamento 1. No apartamento 2, o quarto 1 e a cozinha/serviço alcançaram a velocidade, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, quadro 28, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.834,83m<sup>3</sup>/h a 8.871,21m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.834,83m<sup>3</sup>/h a 9.556,97m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.629,54m<sup>3</sup>/h a 8.185,44m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.2.6 Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, quadro 27, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas. Percebe-se que à medida que o pavimento aumenta de altura a intensidade do fluxo também aumenta nos apartamentos de número 2, como se observa no quinto e no oitavo pavimentos.

Sobre as velocidades, de acordo com o quadro 28, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,57m/s a 3,44m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 0,83m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 1,72m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 0,76m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,63m/s a 1,53m/s. No oitavo

pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,57m/s a 0,89m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,76m/s a 1,85m/s.

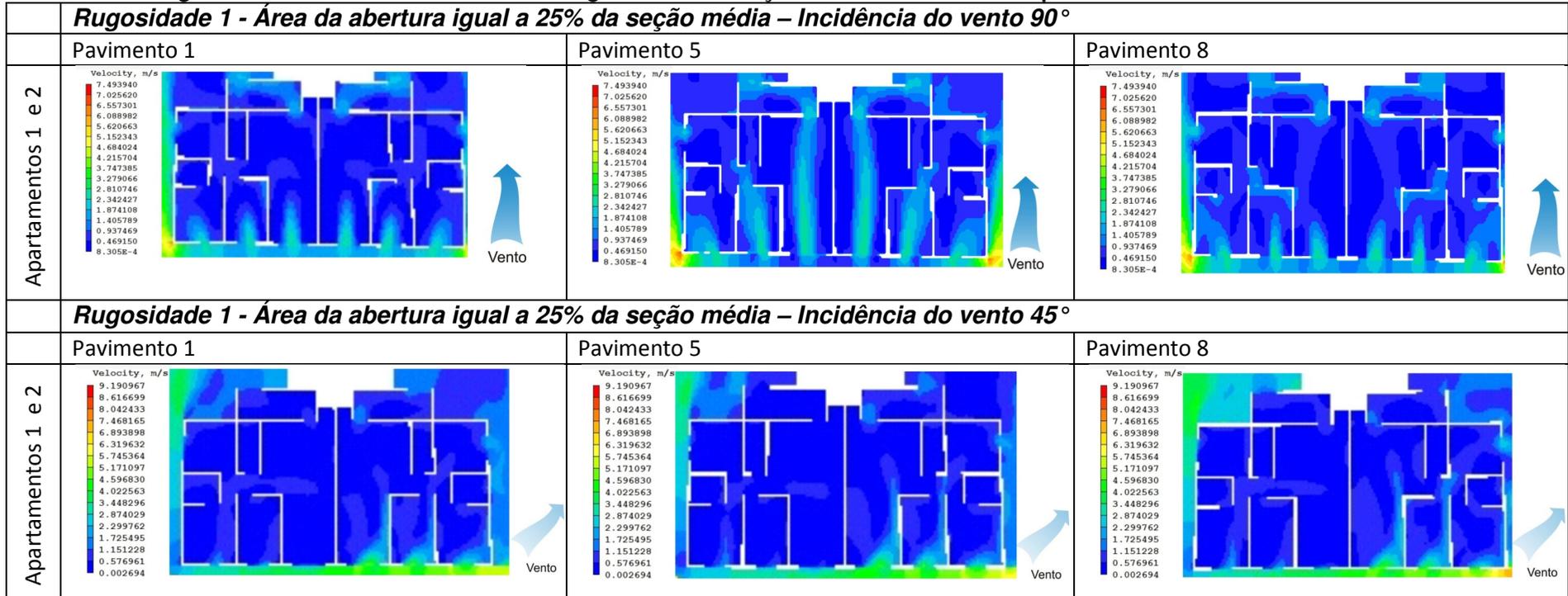
Sobre o conforto térmico, quadro 28, no primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,78, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,30 a 0,88 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na cozinha/serviço dos dois apartamentos, Os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,29 a 0,59, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,25 a 0,63 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar, no quarto 1, quarto 2 e cozinha/serviço do apartamento 1. Também alcançaram a velocidade requerida para restaurar o conforto a sala de estar, o quarto 1 e a cozinha/serviço do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,45, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,21 a 0,39 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada nos quarto 1 e 2 e na cozinha/serviço do apartamento 1. No apartamento 2, o quarto 1 e a cozinha/serviço alcançaram a velocidade, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.834,83m<sup>3</sup>/h a 8.871,21m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.834,83m<sup>3</sup>/h a 9.556,97m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.629,54m<sup>3</sup>/h a 8.185,44m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando o mínimo exigido pela ASHRAE (2001), que é de 35m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 27: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 28: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°**

R1 - Rugosidade 1 - Áreas Suburbanas	Sm 25 - 25% seção média	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,46-3,27	0,46-3,27	0,46-3,27	0,46-3,27	0,46-3,27	0,46-3,27
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,93	0,93	1,4	1,45	0,98	0,93			
Sala de jantar	0,56	0,62	0,93	0,98	0,56	0,67			
Quarto 1	0,88	1,03	1,71	1,82	1,29	1,29			
Quarto 2	0,98	1,03	1,35	1,19	1,24	1,19			
Quarto 3	0,67	0,72	0,83	0,72	0,67	0,72			
Cozinha/Serviço	1,61	1,82	1,56	1,61	1,45	1,24			
Coef. De Vel.	0,27-0,78	0,30-0,88	0,29-0,59	0,25-0,63	0,18-0,45	0,21-0,39			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.834,83-8.871,21	2.834,83-8.871,21	2.834,83-9.556,97	2.834,83-9.556,97	2.629,54-8.185,44	2.629,54-8.185,44			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,57-1,15	0,57-3,44	0,57-1,15	0,57-3,44	0,57-1,15	0,57-3,44		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,57	1,72	0,57	1,53	0,57	1,85			
Sala de jantar	0,7	0,57	0,63	0,63	0,7	0,76			
Quarto 1	0,7	1,66	0,63	1,47	0,76	1,47			
Quarto 2	0,83	1,4	0,76	0,95	0,83	1,15			
Quarto 3	0,63	0,89	0,57	0,76	0,63	1,08			
Cozinha/Serviço	0,83	1,21	0,57	1,27	0,89	1,08			
Coef. De Vel.	0,28-0,40	0,28-0,83	0,20-0,27	0,22-0,53	0,18-0,28	0,24-0,58			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.494,13-5.865,50	3.498,77-10.023,88	2.240,78-3.341,29	3.000,82-10.023,88	2.494,13-5.033,83	4.258,80-6.697,18			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust	VN Req. (m/s)	
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46		0,08	1,238	
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36		1,328	0,460	
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.3 Modelos com rugosidade 2 e abertura de saída variando em relação à área do piso**

#### **3.3.1 Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. O fluxo do ar da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2 apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 29.

De acordo com o quadro 30, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,29m/s a 2,05m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,32m/s a 0,71m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,32m/s a 0,72m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,55m/s a 1,10m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,52m/s a 1,10m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,42m/s a 0,81m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,29m/s a 1,17m/s.

Sobre o conforto térmico, no primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,24 a 0,54, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,24 a 0,58 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não alcançaram a velocidade requerida as salas de jantar dos dois apartamentos, os demais ambientes dos apartamentos alcançaram a velocidade.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,30 a 0,54, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,25 a 0,54 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambiente dos apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,34, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,12 a 0,50 nos ambientes do apartamento 2. A

velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de jantar do apartamento 1 e nas salas de estar e jantar do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo de ar, no primeiro pavimento, o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.779,96m<sup>3</sup>/h a 3.456,73m<sup>3</sup>/h. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.424,24m<sup>3</sup>/h a 3.957,41m<sup>3</sup>/h. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.140,05m<sup>3</sup>/h a 4.599,50m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.3.2 Área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, quadro 29, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas.

De acordo com o quadro 30, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,45m/s a 2,25m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,55m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,50m/s a 1,25m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,55m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,45m/s a 1,30m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,60m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,55m/s a 1,35m/s.

Sobre o conforto térmico, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,34 a 0,41, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,38 a 0,94 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 1, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto,

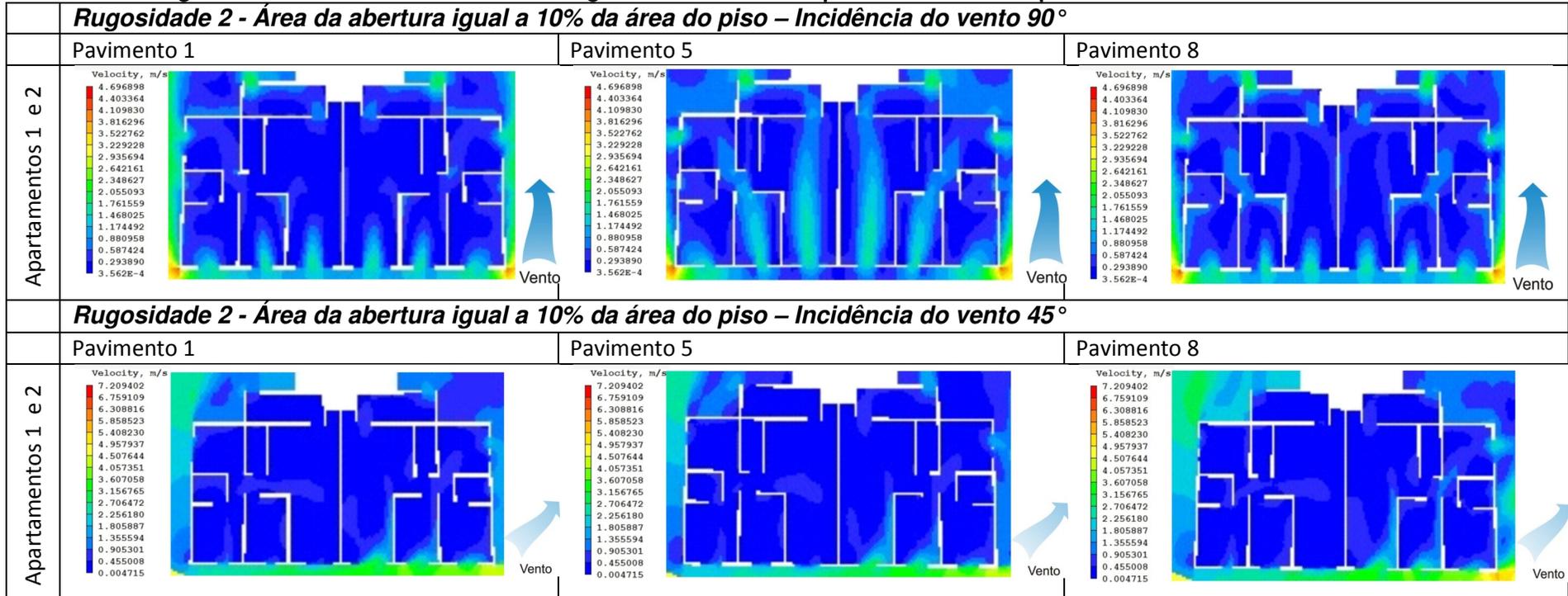
não foi alcançada na sala de estar e na cozinha/serviço do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,22 a 0,27, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,22 a 0,63 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar e cozinha/serviço do apartamento 1 e na sala de jantar do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,25, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,59 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar do apartamento 1, os demais ambientes alcançaram a velocidade nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, quadro 30, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.965,60m<sup>3</sup>/h a 2.173,88m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.751,84m<sup>3</sup>/h a 3.932,20m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.207,71m<sup>3</sup>/h a 1.965,60m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.751,84m<sup>3</sup>/h a 3.931,20m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.965,60m<sup>3</sup>/h a 2.173,88m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 2.751,84m<sup>3</sup>/h a 5.307,12m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 29: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 30: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°**

R2 - Rugisudade 2 - Áreas Centrais	Pi 10 - 10% Área do Piso	Incidência do Vento 90°	Pavimento/Apto	1º Pav		5º Pav		8º Pav	
			Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	
			V (m/s)	0,29-2,05	0,29-2,05	0,29-2,05	0,29-2,05	0,29-2,05	0,29-2,05
			Ambientes	Média da velocidade em m/s					
			Sala de estar	0,58	0,58	1,1	1,1	0,55	0,29
			Sala de jantar	0,32	0,32	0,61	0,52	0,42	0,29
			Quarto 1	0,62	0,62	1,01	1,01	0,65	0,58
			Quarto 2	0,48	0,55	0,55	0,58	0,68	0,58
			Quarto 3	0,55	0,55	0,68	0,62	0,61	1,17
			Cozinha/Serviço	0,71	0,72	0,81	0,75	0,81	1,17
Coef. De Vel.	0,24-0,54	0,24-0,58	0,30-0,54	0,25-0,54	0,18-0,34	0,12-0,50			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.779,96-3.456,73	1.779,96-3.456,73	2.424,24-3.957,41	2.424,24-3.957,41	1.140,05-4.599,50	1.140,05-4.599,50			
Incidência do Vento 45°	Pavimento/Apto	1º Pav		5º Pav		8º Pav			
	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2			
	V (m/s)	0,45-0,90	0,45-2,25	0,45-0,90	0,45-2,25	0,45-0,90	0,45-2,25		
	Ambientes	Média da velocidade em m/s							
	Sala de estar	0,45	1,25	0,45	1,3	0,45	1,4		
	Sala de jantar	0,55	0,5	0,55	0,45	0,55	0,55		
	Quarto 1	0,5	1	0,5	1	0,6	1,35		
	Quarto 2	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7		
	Quarto 3	0,5	0,75	0,5	0,8	0,5	1,15		
	Cozinha/Serviço	0,45	0,7	0,45	0,85	0,55	0,8		
Coef. De Vel.	0,34-0,41	0,38-0,94	0,22-0,27	0,22-0,63	0,19-0,25	0,23-0,59			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.965,60-2.173,88	2.751,84-3.932,20	1.207,71-1.965,60	2.751,84-3.931,20	1.965,60-2.173,88	2.751,84-5.307,12			
Mês	TBS °C		UR %	TBS °C Ajust	UR % Ajust	VN Req. (m/s)			
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46	0,08	1,238		
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36	1,328	0,460		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.3.3 Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. O fluxo do ar da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 31.

De acordo com o quadro 32, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,58m/s a 2,33m/s no primeiro pavimento. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,90m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,90m/s.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,58m/s a 2,91m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,16m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,71m/s a 1,42m/s. No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,58m/s a 2,33m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,10m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 1,10m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro 32, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,44 a 0,68, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,44 a 0,68 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto foi alcançada em todos os ambientes dos apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,31 a 0,57, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,35 a 0,69 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,46, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,25 a 0,46 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes dos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, quadro 32, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.280,10m<sup>3</sup>/h a 6.995,87m<sup>3</sup>/h. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 3.040,13m<sup>3</sup>/h a 6.531,08m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da NBR 6410, que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h. no oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.662,30m<sup>3</sup>/h a 6.631,08m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.3.4 Área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 31.

De acordo com o quadro 32, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,58m/s a 2,33m/s no primeiro pavimento. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,90m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 0,90m/s.

No quinto pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,58m/s a 2,91m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,16m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,71m/s a 1,42m/s. No oitavo pavimento a velocidade média aferida nos pontos variou de 0,58m/s a 2,33m/s. No apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,64m/s a 1,10m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 1,10m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro 32, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,43 a 0,48, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,43 a 0,95 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala

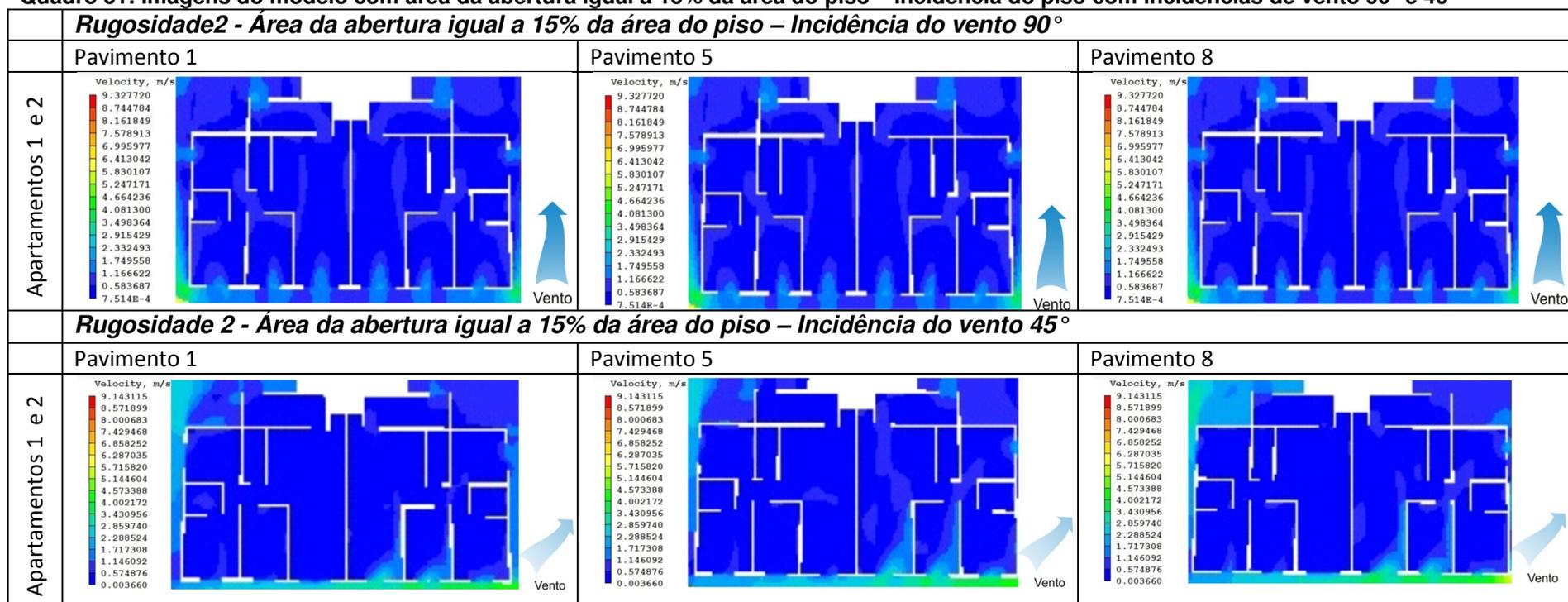
de estar do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes dos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,28 a 0,31, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,34 a 0,65 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,24 a 0,27, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,27 a 0,62 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, quadro 32, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.240,78m<sup>3</sup>/h a 2.740,65m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.987,71m<sup>3</sup>/h a 5.481,30m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.370,33m<sup>3</sup>/h a 2.489,76m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.987,71m<sup>3</sup>/h a 5.481,30m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.240,78m<sup>3</sup>/h a 4.110,98m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 2.740,65m<sup>3</sup>/h a 5.228,50m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 31: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 32: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°**

R2 - Rugisidade 2 - Áreas Centrais	PI 15 - 15% Área do Piso	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,58-2,33	0,58-2,33	0,58-2,91	0,58-2,91	0,58-2,33	0,58-2,33
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,84	0,84	1,16	1,42	0,84	0,77			
Sala de jantar	0,58	0,58	0,64	0,71	0,64	0,58			
Quarto 1	0,84	0,9	1,1	1,1	0,9	0,9			
Quarto 2	0,64	0,64	0,9	0,97	0,84	0,84			
Quarto 3	0,58	0,71	0,77	0,84	0,77	0,77			
Cozinha/Serviço	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1			
Coef. De Vel.	0,44-0,68	0,44-0,68	0,31-0,57	0,35-0,69	0,27-0,46	0,25-0,46			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.280,10-6.995,87	2.280,10-6.995,87	3.040,13-6.531,08	3.040,13-6.531,08	2.662,30-6.631,08	2.662,30-6.631,08			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,57-1,14	0,57-2,85	0,57-1,14	0,57-2,85	0,57-1,14	0,57-2,85		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,57	1,27	0,57	1,33	0,57	1,46			
Sala de jantar	0,57	0,57	0,63	0,7	0,57	0,63			
Quarto 1	0,57	1,08	0,57	1,27	0,63	1,33			
Quarto 2	0,57	0,76	0,63	0,76	0,57	0,76			
Quarto 3	0,63	0,89	0,63	0,76	0,63	0,76			
Cozinha/Serviço	0,63	0,62	0,57	0,89	0,63	0,76			
Coef. De Vel.	0,43-0,48	0,43-0,95	0,28-0,31	0,34-0,65	0,24-0,27	0,27-0,62			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.240,78-2.740,65	2.987,71-5.481,30	1.370,33-2.489,76	2.987,71-5.481,30	2.240,78-4.110,98	2.740,65-5.228,50			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust		VN Req. (m/s)
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46		0,08		1,238
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36		1,328		0,460
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.3.5 Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. O fluxo do ar da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 33.

De acordo com o quadro 34, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,29m/s a 2,32m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1 a velocidade média dos ambientes variou de 0,29m/s a 0,87m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,35m/s a 1,00m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,44m/s a 1,31m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,55m/s a 1,32m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,93m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,93m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro 34, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,22 a 0,65, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,27 a 0,75 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não alcançaram a velocidade requerida o quarto 3 do primeiro apartamento e a sala de jantar do segundo apartamento, os demais ambientes dos apartamentos alcançaram a velocidade.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,21 a 0,64, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,33 a 0,64 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na cozinha/serviço do apartamento 1 e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar, sala de jantar e no quarto 3 do apartamento 1, os outros ambientes alcançaram a velocidade dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,40, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,19 a 0,40 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de jantar dos dois apartamentos, os demais ambientes alcançaram a velocidade nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, quadro 34, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.140,05m<sup>3</sup>/h a 6.485,12m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.710,07m<sup>3</sup>/h a 6.485,12m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.15342m<sup>3</sup>/h a 5.722,16m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

### **3.3.6 Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 33.

De acordo com o quadro 34, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,29m/s a 2,32m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,29m/s a 0,87m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,35m/s a 1,00m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,44m/s a 1,31m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,55m/s a 1,32m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,93m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,93m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro 34, no primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,36 a 0,47, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,40 a 0,93 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes nos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a

velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes dos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,21 a 0,28, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,21 a 0,49 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na cozinha/serviço do apartamento 1 e na sala de jantar do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,26, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,22 a 0,61 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

Em relação ao fluxo, quadro 34, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.972,15m<sup>3</sup>/h a 5090,75m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.812,99m<sup>3</sup>/h a 6.748,21m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.878,24m<sup>3</sup>/h a 2.262,56m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.441,71m<sup>3</sup>/h a 6.748,21m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.878,24m<sup>3</sup>/h a 5.090,75m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 3.000,82m<sup>3</sup>/h a 4.525,11m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 33: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**

<b>Rugosidade 2 - Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 90°</b>			
	<b>Pavimento 1</b>	<b>Pavimento 5</b>	<b>Pavimento 8</b>
<b>Apartamentos 1 e 2</b>			
<b>Rugosidade 2 - Área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência do vento 45°</b>			
	<b>Pavimento 1</b>	<b>Pavimento 5</b>	<b>Pavimento 8</b>
<b>Apartamentos 1 e 2</b>			

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 34: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da área do piso – Incidência de vento 90° e 45°**

R2 - Rugisidade 2 - Áreas Centrais	Pi 25 - 25% Área do Piso	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,29-2,32	0,29-2,32	0,29-2,32	0,29-2,32	0,29-2,32	0,29-2,32
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,58	0,74	0,44	1,16	0,64	0,68			
Sala de jantar	0,58	0,35	0,44	0,68	0,45	0,45			
Quarto 1	0,58	0,84	0,58	1,32	0,93	0,93			
Quarto 2	0,87	0,77	0,87	0,87	0,9	0,84			
Quarto 3	0,29	0,52	0,44	0,55	0,61	0,61			
Cozinha/Serviço	0,87	1	1,31	1,06	0,87	0,9			
Coef. De Vel.	0,22-0,65	0,27-0,75	0,21-0,64	0,33-0,64	0,19-0,40	0,19-0,40			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.140,05-6.485,12	1.140,05-6.485,12	1.710,07-6.485,12	1.710,07-6.485,12	2.153,42-5.722,16	2.153,42-5.722,16			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,43-0,86	0,43-2,57	0,43-0,86	0,43-2,57	0,43-0,86	0,43-2,57		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,48	1,24	0,57	1	0,43	1,43			
Sala de jantar	0,53	0,53	0,48	0,43	0,53	0,53			
Quarto 1	0,48	1,19	0,48	0,91	0,57	1,14			
Quarto 2	0,57	0,76	0,53	0,67	0,53	0,76			
Quarto 3	0,62	0,72	0,48	0,62	0,53	0,88			
Cozinha/Serviço	0,53	0,86	1,31	0,91	0,62	0,81			
Coef. De Vel.	0,36-0,47	0,40-0,93	0,21-0,28	0,21-0,49	0,18-0,26	0,22-0,61			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.972,15-5.090,75	2.812,99-6.748,21	1.878,24-2.262,56	2.441,71-6.748,21	1.878,24-5.090,75	3.000,82-4.525,11			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust		
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46	0,08	1,238		
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36	1,328	0,460		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.4 Modelos com rugosidade 2 e abertura de saída variando em relação à seção média do ambiente**

#### **3.4.1 Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 90°**

De acordo com o quadro 35, o percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. Como nos modelos com abertura de saída baseada na área do piso, o fluxo da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2, apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes.

Sobre a velocidade média, o quadro 36 mostra que a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,29m/s a 2,03m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,32m/s a 0,77m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,29m/s a 0,84m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,55m/s a 1,06m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,64m/s a 1,19m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,45m/s a 0,77m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,42m/s a 0,87m/s.

Em relação ao conforto térmico, quadro 36, primeiro pavimento, o coeficiente de velocidade variou de 0,24 a 0,58, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,29 a 0,58 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de jantar do apartamento 1, mais a sala de jantar e o quarto 3 do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,27 a 0,52, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,28 a 0,58 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,19 a 0,31, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,18 a 0,37 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de jantar dos dois apartamentos, nos demais ambientes dos apartamentos ela foi alcançada.

Sobre o fluxo do ar, quadro 36, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.773,41m<sup>3</sup>/h a 3.713,93m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.280,10m<sup>3</sup>/h a 4.686,86m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.963,42m<sup>3</sup>/h a 3.713,93m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

#### **3.4.2 Área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 35.

De acordo com o quadro 36, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,42m/s a 2,12m/s no primeiro pavimento e quinto pavimentos. No oitavo pavimento a variação da velocidade nos pontos foi de 0,42m/s a 2,55m/s.

No primeiro pavimento, quadro 36, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,32m/s a 0,77m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,29m/s a 0,84m/s. No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,47m/s a 0,81m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,42m/s a 1,13m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,42m/s a 0,56m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,47m/s a 1,41m/s.

Com relação ao conforto térmico, quadro 36, o coeficiente de velocidade variou de 0,35 a 0,39, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,35 a 0,92 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as

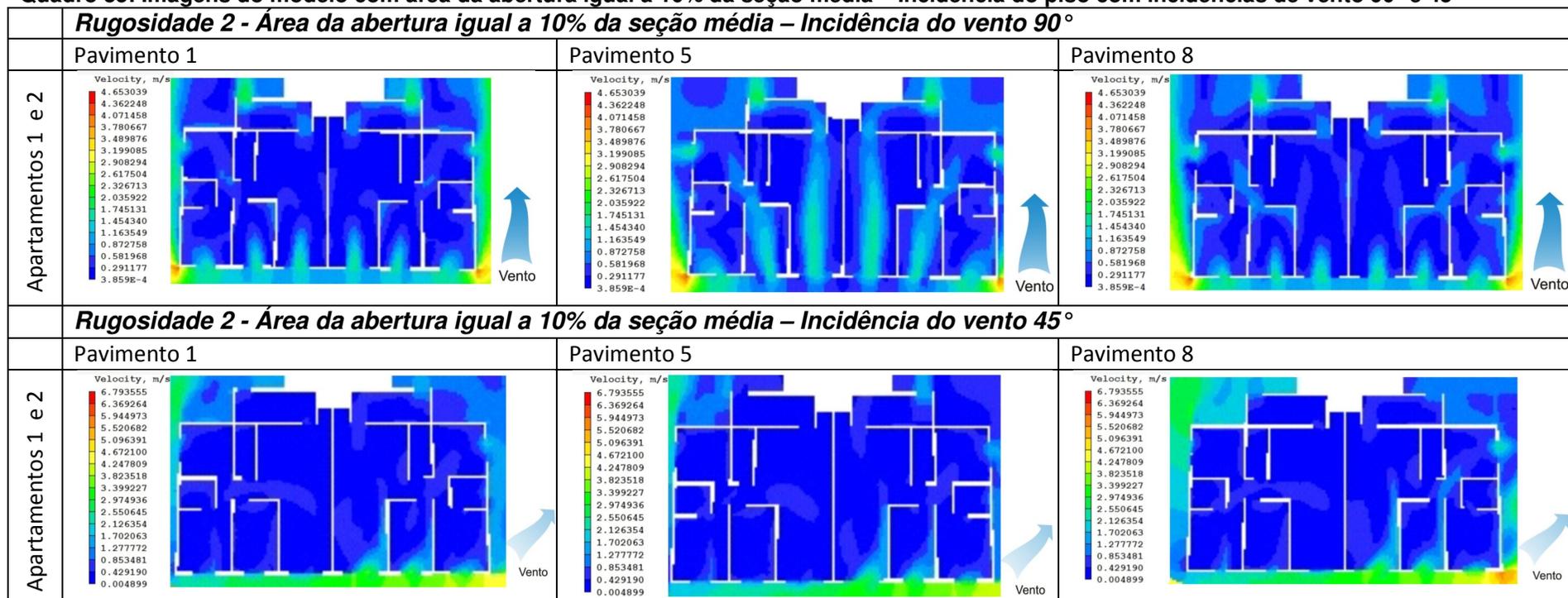
condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum ambiente dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes dos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,20 a 0,25, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,55 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na cozinha/serviço do apartamento 1 e na sala de jantar do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,24, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,60 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar do apartamento 1, os demais ambientes alcançaram a velocidade nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo do ar, quadro 36, o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.838,93m<sup>3</sup>/h a 2.217,88m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.402,40m<sup>3</sup>/h a 4.070,98m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.234,09m<sup>3</sup>/h a 2.402,40m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.214,58m<sup>3</sup>/h a 4.446,62m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.838,93m<sup>3</sup>/h a 2.217,88m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 2.217,88m<sup>3</sup>/h a 4.817,90m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 35: Imagens do modelo com área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 36: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 10% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°**

R2 - Rugisidade 2 - Áreas Centrais	Sm 10 - 10% seção média	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	0,29-2,03	0,29-2,03	0,29-2,03	0,29-2,03	0,29-2,03	0,29-2,03
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,58	0,58	1,06	1,19	0,55	0,58			
Sala de jantar	0,32	0,29	0,55	0,64	0,45	0,42			
Quarto 1	0,58	0,58	1,06	1,19	0,64	0,64			
Quarto 2	0,58	0,58	0,74	0,64	0,74	0,74			
Quarto 3	0,58	0,45	0,68	0,58	0,64	0,68			
Cozinha/Serviço	0,77	0,84	0,81	0,97	0,77	0,87			
Coef. De Vel.	0,24-0,58	0,29-0,58	0,27-0,52	0,28-0,58	0,19-0,31	0,18-0,37			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.773,41-3.713,93	1.773,41-3.713,93	2.280,10-4.686,86	2.280,10-4.686,86	1.963,42-3.713,93	1.963,42-3.713,93			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,42-0,85	0,42-2,12	0,42-0,85	0,42-2,12	0,42-0,85	0,42-2,55		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,47	1,23	0,47	1,13	0,42	1,41			
Sala de jantar	0,52	0,47	0,52	0,42	0,52	0,47			
Quarto 1	0,52	1,04	0,61	1,13	0,56	1,23			
Quarto 2	0,52	0,7	0,52	0,56	0,56	0,75			
Quarto 3	0,47	0,61	0,47	0,66	0,47	1,04			
Cozinha/Serviço	0,47	0,71	0,81	0,85	0,47	0,75			
Coef. De Vel.	0,35-0,39	0,35-0,92	0,20-0,25	0,20-0,55	0,18-0,24	0,20-0,60			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.838,93-2.217,88	2.402,40-4.070,98	1.234,09-2.402,40	2.214,58-4.446,62	1.838,93-2.217,88	2.217,88-4.817,90			
<b>Mês</b>	<b>TBS °C</b>		<b>UR %</b>		<b>TBS °C Ajust</b>		<b>UR % Ajust</b>		
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46	0,08	1,238		
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36	1,328	0,460		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.4.3 Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados. Como nos modelos com abertura de saída baseada na área do piso, o fluxo da sala de estar parte da janela em direção à cozinha/serviço nos dois apartamentos. O fluxo dos quartos de número 1, parte da janela em direção ao corredor, aumentando no pavimento 5 e sofrendo redução no pavimento 8. O fluxo dos quartos de número 2 apresenta uma zona de recirculação próxima às portas do banheiro e do quarto. A intensidade do fluxo aumenta no pavimento 5 e reduz em parte no pavimento 8. Nos quartos de número 3 o fluxo sofre influência do corredor e da janela, que geram uma zona de recirculação devido ao posicionamento das aberturas em paredes adjacentes, quadro 37.

De acordo com o quadro 38, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,29m/s a 2,33m/s nos três pavimentos estudados. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,39m/s a 0,84m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,39m/s a 0,90m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,58m/s a 1,07m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,58m/s a 1,29m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,48m/s a 0,94m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,48m/s a 0,97m/s.

Em relação ao conforto térmico, quadro, 38, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,29 a 0,63, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,29 a 0,68 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de jantar dos dois apartamentos, nos demais ambientes dos dois apartamentos ela foi alcançada.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,28 a 0,57, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,28 a 0,63 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,20 a 0,40, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,41 nos ambientes do apartamento 2. A

velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Sobre o fluxo, quadro 38, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.026,75m<sup>3</sup>/h a 4.774,59m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.533,44m<sup>3</sup>/h a 5.274,46m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 2.282,28m<sup>3</sup>/h a 5.024,53m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

#### **3.4.4 Área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 37.

De acordo com o quadro 38, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,43m/s a 2,13m/s nos três pavimentos. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,43m/s a 0,57m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,43m/s a 1,09m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,48m/s a 0,62m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,48m/s a 1,09m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,43m/s a 0,62m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,48m/s a 1,28m/s.

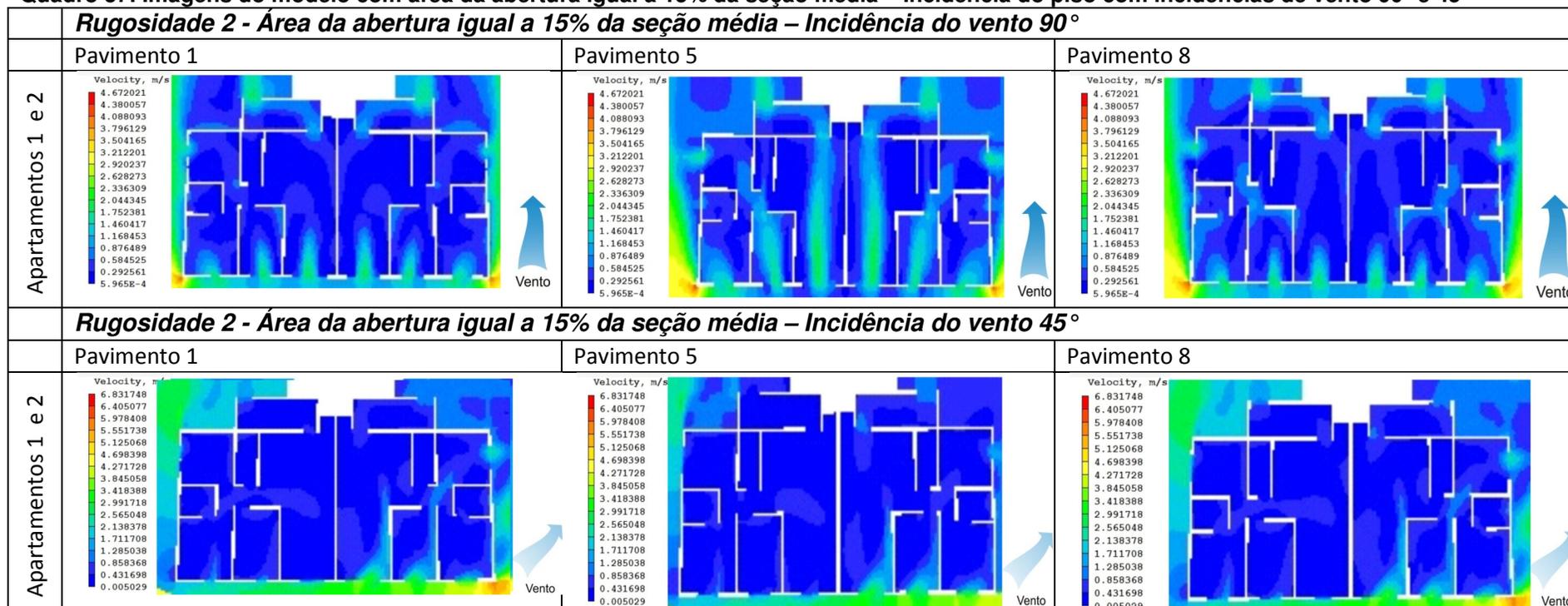
Em relação ao conforto térmico, quadro 38, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,32 a 0,43, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,32 a 0,82 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum dos ambientes dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar do apartamento 1 e na sala de jantar do apartamento 2, os demais ambiente alcançaram a velocidade.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,21 a 0,30, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,53 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada em nenhum ambiente dos dois apartamentos. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na cozinha/serviço do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,26, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,20 a 0,54 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

Sobre o fluxo do ar, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.873,87m<sup>3</sup>/h a 3.309,47m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.612,06m<sup>3</sup>/h a 4.783,21m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.473,75m<sup>3</sup>/h a 2.424,24m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.240,78m<sup>3</sup>/h a 3.913,73m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.873,87m<sup>3</sup>/h a 2.938,87m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 3.171,17m<sup>3</sup>/h a 4.472,83m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 37: Imagens do modelo com área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 38: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 15% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°**

R2 - Rugosidade 2 - Áreas Centrais	Sm 15 - 15% seção média	Incidência do Vento 90°	Pavimento/Apto	1º Pav		5º Pav		8º Pav	
			Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	
			V (m/s)	0,29-2,33	0,29-2,33	0,29-2,33	0,29-2,33	0,29-2,33	0,29-2,33
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,68	0,68	1,07	1,13	0,71	0,68			
Sala de jantar	0,39	0,39	0,58	0,58	0,48	0,48			
Quarto 1	0,68	0,71	1,17	1,29	0,77	0,81			
Quarto 2	0,68	0,68	0,84	0,84	0,87	0,84			
Quarto 3	0,52	0,52	0,68	0,64	0,58	0,61			
Cozinha/Serviço	0,84	0,9	1	1	0,94	0,97			
Coef. De Vel.	0,29-0,63	0,29-0,68	0,28-0,57	0,28-0,63	0,20-0,40	0,20-0,41			
Fluxo de Ar (m3/h)	2.026,75-4.774,59	2.026,75-4.774,59	2.533,44-5.274,46	2.533,44-5.274,46	2.282,28-5.024,53	2.282,28-5.024,53			
Incidência do Vento 45°	Pavimento/Apto	1º Pav		5º Pav		8º Pav			
	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2			
	V (m/s)	0,43-0,85	0,43-2,13	0,43-0,85	0,43-2,13	0,43-0,85	0,85-2,13		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,43	1,09	0,48	1,09	0,43	1,28			
Sala de jantar	0,52	0,43	0,48	0,48	0,57	0,48			
Quarto 1	0,57	0,9	0,62	1	0,62	1,14			
Quarto 2	0,57	0,76	0,52	0,71	0,52	0,81			
Quarto 3	0,52	0,66	0,48	0,57	0,48	0,9			
Cozinha/Serviço	0,48	0,85	0,43	0,95	0,62	0,71			
Coef. De Vel.	0,32-0,43	0,32-0,82	0,21-0,30	0,23-0,53	0,18-0,26	0,20-0,54			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.873,87-3.309,47	2.612,06-4.783,21	1.473,75-2.424,24	2.240,78-3.913,73	1.873,87-2.938,87	3.171,17-4.472,83			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust		
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4	61	4,46	0,08	1,238		
Fevereiro	TBS Média		26,3	76,6	0,36	1,328	0,460		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.4.5 Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 90°**

O percurso do fluxo de ar foi semelhante para os dois apartamentos, nos três pavimentos analisados, ocorrendo no sentido das janelas da maior fachada para a cozinha/serviço. No entanto, foi notada uma variação muito pequena nas velocidades que ocorrem nos ambientes internos deste modelo, apesar de ter sido configurado conforme os outros modelos simulados, mesmo depois de refeito, quadro 39.

De acordo com o quadro 40, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 1,08m/s a 2,16m/s nos três pavimentos estudados. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 1,08m/s a 1,32m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 1,08m/s a 1,32m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 1,08m/s a 1,44m/s. No apartamento 2 a variação foi de 1,08m/s a 1,44m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 1,08m/s a 1,20m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 1,08m/s a 1,32m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro 40, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,81 a 0,90, nos ambientes do apartamento 1 e nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 1 e na sala de estar e quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,53 a 0,70, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,53 a 0,76 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, não foi alcançada apenas na sala de jantar e no quarto 3 dos dois apartamentos, os demais ambientes alcançaram a velocidade requerida. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,46 a 0,51, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,46 a 0,56 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada apenas na cozinha/serviço do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a

velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes nos dois apartamentos.

Em relação ao fluxo do ar, quadro 40, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 4.245,70m<sup>3</sup>/h a 9.454,84m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 4.245,70m<sup>3</sup>/h a 9.454,84m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 4.481,57m<sup>3</sup>/h a 9.454,84m<sup>3</sup>/h, nos ambientes dos dois apartamentos, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

#### **3.4.6 Área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do vento 45°**

Para a incidência do vento de 45°, o fluxo do vento nos apartamentos 1, para os três pavimentos, é menor que o fluxo dos apartamentos 2, para os três pavimentos. Nos apartamentos 1, o fluxo de ar mais forte ocorre no sentido dos quartos 1 e 2 para a sala de estar. Nos apartamentos 2, o fluxo mais forte ocorre na parede do lado direito da sala de estar em direção à sala de jantar, devido ao ângulo de incidência do vento. Nos quartos 1 e 2, ocorre um comportamento semelhante no sentido das janelas para as portas, quadro 39.

De acordo com o quadro 40, a velocidade média aferida nos pontos dos apartamentos variou de 0,43m/s a 2,57m/s nos pavimentos estudados. No primeiro pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,43m/s a 0,57m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,53m/s a 1,29m/s.

No quinto pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,43m/s a 0,53m/s. No apartamento 2 a variação foi de 0,48m/s a 1,38m/s. No oitavo pavimento, apartamento 1, a velocidade média dos ambientes variou de 0,43m/s a 0,72m/s. No apartamento 2 a velocidade média dos ambientes variou de 0,62m/s a 1,57m/s.

Sobre o conforto térmico, quadro, 40, no primeiro pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,32 a 0,43, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,40 a 0,97 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, foi alcançada em todos os ambientes dos dois apartamentos.

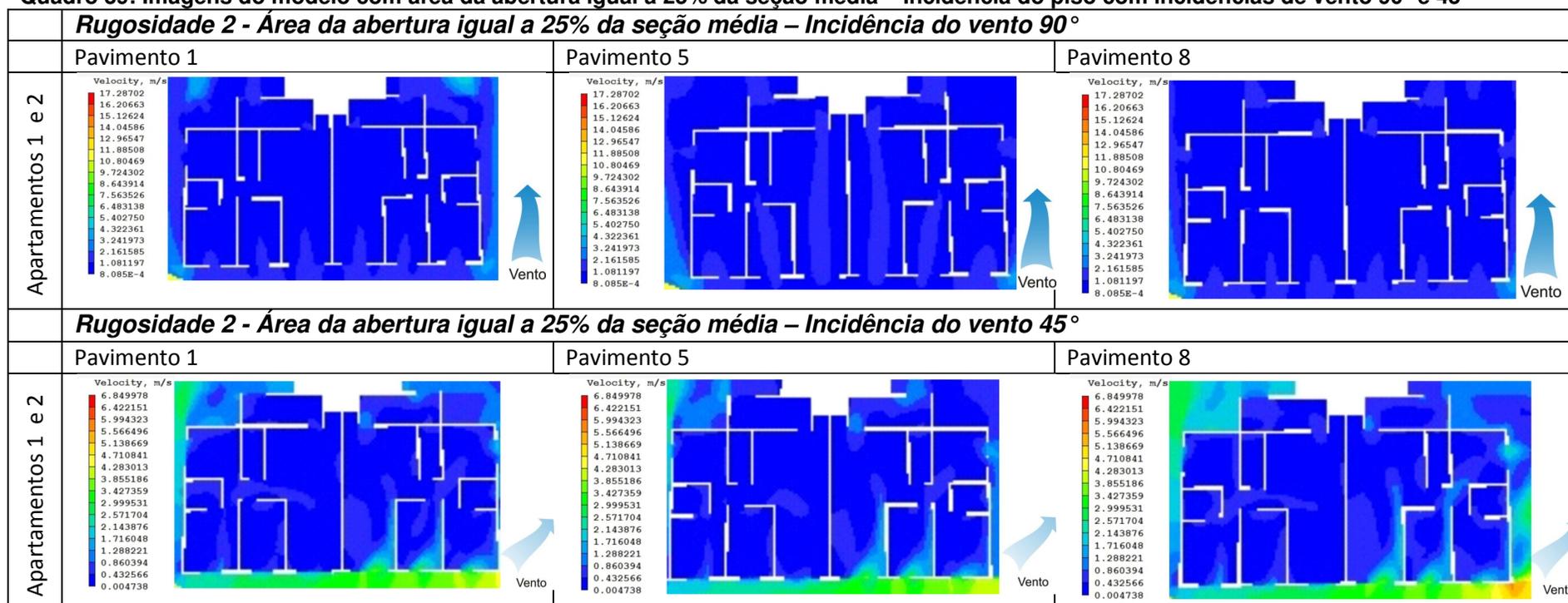
No quinto pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,21 a 0,26, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,23 a 0,67 nos ambientes do apartamento 2. A

velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar do apartamento 2, os demais ambientes dos apartamentos não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na cozinha/serviço do apartamento 1, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

No oitavo pavimento o coeficiente de velocidade variou de 0,18 a 0,30, nos ambientes do apartamento 1, e de 0,26 a 0,67 nos ambientes do apartamento 2. A velocidade média do vento requerida para restaurar o conforto para as condições de TBS média máxima, que foi de 1,23m/s, foi alcançada na sala de estar e no quarto 1 do apartamento 2, os demais ambientes não alcançaram a velocidade. Para as condições de TBS média, a velocidade de 0,46m/s requerida para restaurar o conforto, não foi alcançada na sala de estar do apartamento 1, os demais ambientes alcançaram a velocidade.

Sobre o fluxo, quadro 40, no primeiro pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.784,33m<sup>3</sup>/h a 4.377,24m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.996,45m<sup>3</sup>/h a 7.485,08m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No quinto pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.878,24m<sup>3</sup>/h a 2.509,62m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1 e de 2.253,89m<sup>3</sup>/h a 7.485,08m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2. No oitavo pavimento o fluxo de ar produzido pelos ambientes variou de 1.878,24m<sup>3</sup>/h a 5.602,87m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 1, e de 3.935,57m<sup>3</sup>/h a 5.796,34m<sup>3</sup>/h, nos ambientes do apartamento 2, superando a recomendação da ASHRAE (2001), que é de, no mínimo, 35 m<sup>3</sup>/h.

**Quadro 39: Imagens do modelo com área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência do piso com incidências de vento 90° e 45°**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

**Quadro 40: Velocidade média dos ambientes para área da abertura igual a 25% da seção média – Incidência de vento 90° e 45°**

R2 - Rugisidade 2 - Áreas Centrais	Sm 25 - 25% seção média	Incidência do Vento 90°	1º Pav		5º Pav		8º Pav		
			Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2
			V (m/s)	1,08 - 2,16	1,08 - 2,16	1,08 - 2,16	1,08 - 2,16	1,08 - 2,16	1,08 - 2,16
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	1,32	1,32	1,44	1,44	1,2	1,2			
Sala de jantar	1,08	1,08	1,2	1,2	1,08	1,08			
Quarto 1	1,2	1,32	1,56	1,56	1,2	1,2			
Quarto 2	1,2	1,2	1,32	1,32	1,2	1,2			
Quarto 3	1,08	1,08	1,08	1,08	1,2	1,08			
Cozinha/Serviço	1,08	1,2	1,32	1,44	1,2	1,32			
Coef. De Vel.	0,81 - 0,90	0,81-0,90	0,53-0,70	0,53-0,76	0,46-0,51	0,46-0,56			
Fluxo de Ar (m3/h)	4.245,7-9.454,84	4.245,7-9.454,84	4245,7-9454,84	4245,7-9454,84	4481,57-9454,84	4481,57-9454,84			
Incidência do Vento 45°	1º Pav		5º Pav		8º Pav				
	Pavimento/Apto	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2	Apto 1	Apto 2		
	V (m/s)	0,43-0,86	0,43-2,57	0,43-0,86	0,43-2,57	0,43-0,86	0,46-0,56		
Ambientes	Média da velocidade em m/s								
Sala de estar	0,43	1,29	0,48	1,38	0,43	1,57			
Sala de jantar	0,48	0,53	0,48	0,48	0,53	0,62			
Quarto 1	0,57	1,19	0,53	1,10	0,62	1,47			
Quarto 2	0,57	1	0,48	0,86	0,53	1			
Quarto 3	0,57	0,76	0,48	0,57	0,62	1,05			
Cozinha/Serviço	0,57	0,86	0,43	0,95	0,72	0,81			
Coef. De Vel.	0,32-0,43	0,40-0,97	0,21-0,26	0,23-0,67	0,18-0,30	0,26-0,67			
Fluxo de Ar (m3/h)	1.784,33-4.377,74	2.996,45-7.485,08	1.878,24-2.509,62	2.253,89-7.485,08	1.878,24-5.602,87	3.935,57-5.796,34			
Mês	TBS °C		UR %		TBS °C Ajust		UR % Ajust		
Fevereiro	TBS Méd. Máx.		30,4		61		4,46		
Fevereiro	TBS Média		26,3		76,6		0,36		
Velocidade maior que 0,46 m/s e menor que 1,238 m/s									
Velocidade maior que 1,238 m/s									

Fonte: Autor desta dissertação, 2012..

### **3.5 Síntese dos resultados**

Nesta seção é apresentada a síntese dos resultados encontrados para atendimento aos objetivos do trabalho. As análises a seguir levaram em consideração o potencial de ventilação para o atendimento à qualidade do ar do ambiente e se esse potencial é adequado para proporcionar o conforto térmico.

#### **3.5.1 Área da abertura igual a 10% da área do piso**

Para a área de abertura igual a 10% da área do piso verificou-se que o potencial de ventilação dos ambientes dos apartamentos, nos três pavimentos estudados, atende ao número de trocas de ar necessária para a qualidade do ar interno, para os dois tipos de rugosidade trabalhados, bem como nas duas direções de incidência do vento.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para área suburbana – R1, apenas 5,56% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para centro de cidade – R2, 100% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, não apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 86% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para área suburbana – R1, apenas 8,34% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para centro de cidade – R2, 11,12% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 83% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

#### **3.5.2 Área da abertura igual a 15% da área do piso**

Para a área de abertura igual a 15% da área do piso verificou-se que o potencial de ventilação dos ambientes dos apartamentos, nos três pavimentos estudados, atende ao

número de trocas de ar necessária para a qualidade do ar interno, para os dois tipos de rugosidade trabalhados, bem como nas duas direções de incidência do vento.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para área suburbana – R1, apenas 8,34% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para centro de cidade – R2, apenas 2,78% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 17% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para centro de cidade – R2, aproximadamente 14% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 83% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

### **3.5.3 Área da abertura igual a 25% da área do piso**

Para a área de abertura igual a 25% da área do piso verificou-se que o potencial de ventilação dos ambientes dos apartamentos, nos três pavimentos estudados, atende ao número de trocas de ar necessária para a qualidade do ar interno, para os dois tipos de rugosidade trabalhados, bem como nas duas direções de incidência do vento.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 17% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para centro de cidade – R2, apenas 5,56% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 80% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 20% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para centro de cidade – R2, aproximadamente 3% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 92% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

#### **3.5.4 Área da abertura igual a 10% da seção média**

Para a área de abertura igual a 10% da seção média verificou-se que o potencial de ventilação dos ambientes dos apartamentos, nos três pavimentos estudados, atende ao número de trocas de ar necessária para a qualidade do ar interno, para os dois tipos de rugosidade trabalhados, bem como nas duas direções de incidência do vento.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para área suburbana – R1, apenas 5,56% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para centro de cidade – R2, 100% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, não apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 86,10% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para área suburbana – R1, quase 20% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura

média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para centro de cidade – R2, quase 3% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 91% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

### **3.5.5 Área da abertura igual a 15% da seção média**

Para a área de abertura igual a 15% da seção média verificou-se que o potencial de ventilação dos ambientes dos apartamentos, nos três pavimentos estudados, atende ao número de trocas de ar necessária para a qualidade do ar interno, para os dois tipos de rugosidade trabalhados, bem como nas duas direções de incidência do vento.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 14% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para centro de cidade – R2, aproximadamente 3% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 95% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 17% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para centro de cidade – R2, aproximadamente 3% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 89% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

### 3.5.6 Área da abertura igual a 25% da seção média

Para a área de abertura igual a 25% da seção média verificou-se que o potencial de ventilação dos ambientes dos apartamentos, nos três pavimentos estudados, atende ao número de trocas de ar necessária para a qualidade do ar interno, para os dois tipos de rugosidade trabalhados, bem como nas duas direções de incidência do vento.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 40% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 90° e rugosidade para centro de cidade – R2, aproximadamente 34% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, não apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 86% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para área suburbana – R1, aproximadamente 17% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, 100% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

Para a incidência do vento de 45° e rugosidade para centro de cidade – R2, aproximadamente 12% do total de ambientes, para os três pavimentos estudados, apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico na situação de temperatura média máxima. Para a situação de temperatura média, aproximadamente 92% dos mesmos ambientes apresentaram potencial de ventilação capaz de restituir o conforto térmico.

#### 4 Conclusão

Este trabalho analisou a influência da abertura de saída de ar no potencial de ventilação dos ambientes internos de edificações multifamiliares em Maceió-AL. O potencial foi investigado variando a dimensão das aberturas de saída da cozinha/serviço com porcentagens igual a 10%, 15% e 25% em relação à área do piso e em relação à seção média do ambiente. Foram empregadas duas direções de incidência do vento, 90° e 45°, como forma de simular os efeitos dos ventos Leste e Sudeste, que são dois dos ventos que mais ocorrem em Maceió-AL, e estão de acordo com a orientação definida para os modelos descritos na metodologia do trabalho.

O potencial de ventilação dos ambientes internos foi analisado segundo dois aspectos. O primeiro correspondeu a sua capacidade de promover a qualidade do ar, através do atendimento ao número mínimo de trocas de ar por ambiente. O segundo verificou se a velocidade média do ar de cada ambiente foi suficiente para alcançar a velocidade média necessária para restaurar as condições de conforto, dadas as condições de temperatura e umidade estabelecidas, que levaram em consideração os dados do mês de fevereiro, que apresentou a maior média máxima da temperatura de bulbo seco, conforme os dados extraídos do software AnalysisBio (LABEEE, 2010).

Em relação à qualidade do ar dos ambientes, os resultados obtidos indicaram que o número mínimo de trocas de ar por hora foi alcançado em cada um deles, mesmo sob as condições de rugosidade diferentes, para áreas suburbanas e centros de cidade, e também para as diferentes incidências do vento, 90° e 45°.

Na pior situação, com porcentagem de abertura de saída igual a 10%, com rugosidade para o centro de cidade e com a incidência do vento de 45°, os apartamentos que apresentaram os ambientes com os menores números de renovações por hora superaram em pelo menos seis renovações, o número mínimo requerido. Esta constatação mostra que, mesmo aberturas de pequenas dimensões podem proporcionar a qualidade do ar no ambiente interno, desde que exista vento externo disponível.

O número de renovações de ar dos ambientes internos cresceu com o aumento da área da abertura de saída. Esse aumento também foi proporcional à posição dos apartamentos na edificação, isto é, os apartamentos localizados em pavimentos mais altos tenderam a apresentar maiores trocas de ar nos ambientes internos, devido ao aumento da velocidade do vento no sentido vertical, que caracteriza o gradiente de vento.

Com relação ao conforto térmico, no que se refere ao atendimento à velocidade média requerida para restaurá-lo, verificou-se que, para os modelos com área de abertura de saída igual a 10% da área do piso ocorreu uma variação de 5,56% a 11,12% dos

ambientes que restituíram o conforto pela ventilação na pior situação. Na melhor situação a variação foi de 83% a 100% dos ambientes que restituíram o conforto pela ventilação. Para a abertura igual a 10% da seção média, a variação ocorrida foi de 3% a 20% dos ambientes que restituíram o conforto pela ventilação na pior situação. Para a melhor situação, a variação foi de aproximadamente 86% a 100% dos ambientes.

Para os modelos com área de abertura de saída igual a 15% da área do piso, a variação ocorrida foi de 2,78% a 17% dos ambientes que restituíram o conforto pela ventilação na pior situação. Na melhor situação, a variação foi de 83% a 100% dos ambientes que restituíram o conforto. Para as aberturas de saída igual a 15% da seção média, a variação foi de 3% a 17% dos ambientes que restituíram o conforto pela ventilação na pior situação. Na melhor situação, a variação foi de 89% a 100% dos ambientes.

Para os modelos com área de abertura de saída igual a 25% da área do piso, a variação ocorrida foi de 3% a 20% dos ambientes que restituíram o conforto pela ventilação na pior situação. Na melhor situação, a variação foi de 80% a 100% dos ambientes que restituíram o conforto. Para as aberturas de saída igual a 25% da seção média, a variação foi de 12% a 40% dos ambientes que restituíram o conforto pela ventilação na pior situação. Na melhor situação, a variação foi de 86% a 100% dos ambientes.

De modo geral, a variação na dimensão das aberturas de saída apresentou influência no potencial de ventilação dos ambientes internos na tipologia de edificação estudada. Os resultados foram satisfatórios no que se refere ao número de renovações por hora, cujo valor mínimo foi alcançado em todos os casos. Em relação ao conforto térmico, o desempenho das aberturas de saída baseadas na área do piso foi semelhante ao desempenho das aberturas de saída baseadas na seção média do ambiente. Apesar da proximidade dos resultados, o desempenho das aberturas baseadas na seção média apresentou resultados com porcentagens um pouco maiores que as porcentagens das aberturas baseadas na área do piso para a situação mais frequente que corresponde à situação com temperatura média.

A proximidade dos resultados parece ser proporcional à proximidade na dimensão (área) das aberturas, para aberturas de mesma porcentagem, isto é, a área da abertura de saída correspondente a 10% da área do piso é igual a  $0,71\text{m}^2$ , enquanto que a área da abertura de saída correspondente a 10% da seção média é igual a  $0,77\text{m}^2$ , por exemplo. Assim, nota-se que essa pequena diferença em área pode ser importante para o potencial de ventilação dos ambientes internos.

A complexidade que envolve estudos acerca da ventilação natural devido à grande quantidade de variáveis e parâmetros que podem fazer parte do fenômeno, faz com

que este trabalho não se encerre por aqui. Fica, portanto, a sugestão de desdobramentos que levem em consideração:

A relação entre as aberturas de entrada e de saída do vento no potencial de ventilação;

E a influência da dimensão e da quantidade de aberturas intermediárias no potencial de ventilação.

## 5 Referências bibliográficas

ALLARD, Francis. **Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook**. European Commission Directorate General for Energy Altener Program. James & James, 2002.

ANDERSON, J. D. **Computational fluid dynamics: the basics with applications**. McGraw-Hill series in mechanical engineering. McGraw-Hill, 1995.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de Conforto Térmico para usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordestino Brasileiro**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ARAÚJO, M. R. O. **Conforto térmico em salas de aula localizadas em clima quente e úmido: uma avaliação do limite inferior da zona de conforto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

ASHRAE. **ASHRAE handbook of Fundamentals**: New York: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 1993.

\_\_\_\_\_. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2001a.

\_\_\_\_\_. **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. ANSI/ASHRAE Standard 62, Atlanta: 2001b.

\_\_\_\_\_. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Cap.16. Atlanta, 2003.

\_\_\_\_\_. **Ventilation and Infiltration**. In: ASHRAE Handbook – Fundamentals. Cap.16. Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e Diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

AULICIEMS, A. e SZOKOLAY, S. V. **Thermal Comfort**. Passive and Low Energy Architecture International – Design Tools and Techniques. PLEA Notes, Brisbane: PLEA, 1997.

AWBI, H. B. **Ventilation of Buildings**. ed. 2: Spon Press – Taylor & Francis. London and New York. 2005.

AWBI, H. B. **Ventilation**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2, Chapter 7, 1998.

AYATA, Tahir; YILDIZ, Osman. **Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey**. Energy and Buildings 38: 2006, 959-963.

AYNSLEY, R. M.; MELBOURNE, W.; VICKERY, B. J. **Architectural Aerodynamics**. Architecture Science Series. Applied Science Publishers Ltd. Londres, 1977.

AYNSLEY, Richard. **Estimating Summer Wind driven natural ventilation potential for indoor thermal comfort**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Elsevier: 1999.

BARBIRATO, G. M. *et al* **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos**. Maceió. EDUFAL, 2007.

BARROSO-KRAUSE, C. *et al*. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura: Dicas de projeto**. Alguns fundamentos e instrumentos para concepção em clima tropical úmido para

edificações previstas sem climatização ou com climatização mista. Proarq – DTC, UFRJ, 2005.

BAUMAN, F.; ERNEST; ARENS, E. **The effects of surrounding buildings on wind pressure distributions and natural ventilation in long building rows.** ASHRAE Transactions, Vol. 94, 1988, Pt. 2, 26 pp.

BEHLING, Sophia e Stefan. **Sol power: The evolution of solar architecture.** Prestel – Munich – New York. 1996.

BEHLING, Sophia; BEHLING, Stefan. **Sol Power: The Evolution of Solar**

BITTENCOURT, L. S. **Ventilation as a cooling resource for warm-humid climates: na investigação on performed block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings.** Thesis of Doctor Degree. Architecture Association Graduate School. Environment and Energy Studies Progamme. 1993.

BITTENCOURT, Leonardo S. CÂNDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural,** Maceió, Edufal, 2005.

BOGO, Amilcar et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** Relatório Interno 02/94. Núcleo de Pesquisa em Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

BOUTET, Terry S. **Controlling air movement: a manual for architects and builders.** McGraw-Hill Book Company, New York. 1987.

BRAGER, G. S. e DE DEAR, R. **Climate, comfort and natural ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55.** Center for the Building Environment. UC Berkekey, 2001.

BRE – Building Research Establishment. **Principles of natural ventilation.** BRE Digest, n 210. BRE, Garston, 1978.

BROWN, G. Z. e DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura.** 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CACIOLO, M.; MARCHIO, D. e STABAT, P. **Survey of existing approaches to assess and design natural ventilation and need for further developments.** Buildinf Simulation 2009. Eleventh International IBPSA Conference. Glasnow, Scotland, 2009.

CALIFORNIA. **Advanced Comfort Criteria and Human Comfort Field Studies: Comfort Reports.** Technical Reports. California Energy Commission. Davis Energy Group, California, 2004.

CÂNDIDO, C. M. ; BITTENCOURT, L. S. ; BATISTA, J.O. . **A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula.** In: ENCAC 2003 - VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. Anais do ENCAC E COTEDI 2003, 2003.

CÂNDIDO, C. M. ; BITTENCOURT, L. S. ; SACRAMENTO, A. . **Building Regulation and thermal comfort: The influence of opening typology on natural cooling inside office buildings.** In: 10th Building Simulation, 2007, Beijing. Proceedings of 10th Building Simulation, 2007.

CÂNDIDO, C. M. **Ventilação Natural e Código de Obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritório em Maceió-Al.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió-Al, 2006.

CAVALCANTI, F. A. M. S. **Chaminé solar como alternativa para incrementar a ventilação natural em espaços** internos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

CHAM. **Practical CFD for design engineers: From the pioneers of CFD**. 2005.

CHÁVEZ, J. R. G.; FREIXANET, V. F.. **Viento y arquitectura: El viento como factor de diseño arquitectónico**. México, Trillas. 1995.

CHEN, Q. **Using computational tools to factor wind into architectural environment design**. Energy and Buildings, 36, 2004.

CHEN, Q. **Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications**, Building and Environment, 44(4), 848-858, 2009.

CHIU, Y-H. e ETHERIDGE, D. W. **External flow effects on the discharge coefficients of two types of ventilation openings**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95, 2007.

CHU, C. R.; CHIU, Y-H.; CHEN, Y-J.; WANG, Y-W. e CHOU, C-P. **Turbulence effects on discharge coefficient and mean flow rate of Wind-driven cross-ventilation**. Building and Environment, n. 44, 2009.

COSTA, F. J. de M. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis, Natal/RN**. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

CUNHA, L. J. B. F.. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural para projeto de edificações em Natal – RN**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, 2010.

DARBY, S. e WHITE, R. **Thermal Comfort**. Environmental Change Institute. University of Oxford, 2005.

ECA (European Collaborative Action on, “Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure”). **Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy**, Report No 23. EUR 20741 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003.

ECTP. **Natural Ventilation and Cooling Strategies in New Office Desings**. Energy Comfort 2000 Information Dossier, European Commission Thermie Project to reduce energy and improve comfort and environment.. N°2, 1998.

EMMANUEL, M. R. **An urban approach to climate-sensitive design: strategies for the tropics**. Spon Press, London & New York, 2005.

ERNEST, D.; BAUMAN, F. e ARENS, E. A. **The prediction of indoor air motion for occupant cooling in naturally ventilated buildings**. In: ASHRAE Transactions, Vol. 97, 1991.

FANGER, P.O. **Thermal comfort, analisys and application in environmental engeneering**. New York, McGraw-Hill, 1972.

FANGER, P.O. **Thermal comfort, analisys and application in environmental engeneering**. New York, McGraw-Hill, 1972.

FATHY, Hassan. **Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates**. University of Chicago Press, Chicago and London, 1986.

FERREIRA, A. B. H.. **Novo Dicionário Aurélio**. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1975.

FIGUEIREDO, C. M. **Ventilação natural em edifícios de escritório na cidade de São Paulo: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2007.

FREIXANET, V. A. F. **Fórmulas básicas para cálculos de ventilação natural**. In: VIQUEIRA, M. R. **Estudios de Arquitectura Bioclimatica**. Vol. IV, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Ed. LIMUSA, México, 2002.

FROTA, Anésia B.; SCHIFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel, 7ª Edição, São Paulo: 2001.

GARDE, F. et al. **Bringing simulation to implementation: presentation of a global approach in the design of solar buildings unde humid tropical climates**. Solar Energy, n. 2, 2001.

GASPAR, P. D.; BARROCA, R. F.; PITARMA, R. A. **Performance evaluation of CFD codes in building energy and environmental analysis**. Building Simulation. Eindhoven, 2003.

GHIABAKLOU, Z. **Natural Ventilation as a Design Strategy for Energy Saving**. World Academy of Science Engineering and Technology. N. 71, 2010.

GHIAUS, C.; ALLARD, F.; SANTAMOURIS, M.; GEORGAKIS, C.; NICOL, F. **Urban environment influence on natural ventilation potential**. Building and Environment, v41: 2006.

GHIAUS, Cristian; ALLARD, Francis. **Potential for free-cooling by ventilation**. Solar Energy 80: 2006, 402-413.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings, n. 1, 1992.

GIVONI, B. **Man Climate and Architecture**. 2 ed. London, Applied Science, 1976.

GONÇALVES, Helder e GRAÇA, João Mariz. **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. INETI, Lisboa, 2004.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2ª ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GRIMMOND, C. S. B.; KING, T. S.; ROTH, M.; OKE, T. R.. **Aerodynamic Roughness of Urban Areas Derived from Wind Observations**. Boundary-Layer Meteorology. Vol. 89, No. 1. (1998), pp. 1-24. Key: citeulike:9470100

GROSSO, M; MARINO, D; PARISI, E. **A Wind Pressure Distribution calculation program for multizone airflow models**. In: Building Simulation 1995. Proceedings... Madison, EUA. 1995

GU, L. **Airflow network modeling in EnergyPlus**. Proceedings: Building and Simulation, 2007.

GU, L. e SWAMI, M. V. **A preliminary computational investigation of radon reduction strategies in a large buildings**. The 1993 International Radon Conference, 1993.

HAASE e AMATO (2009), definem a ventilação natural como uma estratégia de resfriamento passivo que aumenta o conforto térmico devido o aumento no movimento do ar.

HAASE, H; AMATO, A.. **An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates**. Solar Energy 83: 2009, 389-399.

HEISELBERG, P. **The hybrid ventilation process – Theoretical and experimental work**. International Energy Agency – AIVC. Vol. 21, n. 1, 1999.

HENSEN, J. L. M. **Modeling coupled heat and air flow: ping-pong vs. onions**. 16th AIVC conference, Palm Springs, USA, 19-22 September, 1995.

HUMPHREYS, M.A. **Outdoor temperatures and comfort indoors**. Building Research and Practice. Março/Abril, 1978.

KNOLL, B.; PHAFF, J. C. e GIDS, W. F.. **Pressure Coefficient Simulation Program**. International Energy Agency – AIVC. Air Infiltration Review. Vol. 17, n. 3. 1996.

KOENIGSBERGER, O.; INGERSOL, T. G.; MAYTHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of Tropical Housing and Building**. Part I: Climatic Design. Londres: Longman, 1974.

LAMBERTS, Roberto; MACIEL, Alexandra A. **Analisis Sol-Ar V. 6.2**. LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis – Santa Catarina, 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Ed 2ª, revisada. São Paulo:Prolivros, 2004.

LAMBERTS, R., GOULART, S., DUTRA, L., MENDES, N. **Analisis Bio V. 2.2**. LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis – Santa Catarina, 2010.

LEAL, T. A. ; BITTENCOURT, L. S. ; CÂNDIDO, C. M. . **Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula**. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. Anais do VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005.

LIDDAMENT, M. W. **A Guide to Energy Efficient Ventilation**. AIVC – Air Infiltration and Ventilation Centre. University of Warwick Science Park, Great Britain, 1996.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques - an applications guide**. Bracknell, UK: AIVC. 1986.

LIMB, M. **An Annotated Bibliography Natural Ventilation**. International Energy Agency – IEA. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. Air Infiltration and Ventilation Centre. 1995.

LIMB, M. **Infiltration and Ventilation Glossary**. Technical Note AIVC36. Bracknell, UK: Air Infiltration and Ventilation Centre, 1992.

LIN, Jin-Taung; CHUAH, Yew Khoy. **A study on the potentiation of natural ventilation and cooling for large spaces in subtropical climatic regions.** Building and Environment, v46: 2011.

LOBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. S.. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos.** In: III Encontro Latino Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro. Anais do ENCAC 2001. São Pedro: M. Roriz, L. C. Labaki, 2001.

LOBO, D.; BITTENCOURT, L. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos.** Ambiente Construído – ANTAC. V. 3, n. 2, Porto Alegre, 2003.

LOUREIRO, K.; CARLO, J.; LAMBERTS, R.. **Estudos de Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Manaus.** IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC. Foz do Iguaçu, 2002.

MALDONADO, E. **Critical barriers,** In: ALLARD, Francis. **Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook.** European Commission Directorate General for Energy Altener Program. James & James, 2002.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul.** Ensaios e Ciências, Vol. 6, nº 3, Universidade para o Desenvolvimento do Estado da Região do Pantanal, Campo Grande, Brasil, 2002.

MARQUES, r. s. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a Praia do Meio, Natal/RN.** 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

MATEZUKI, F. K. e CHENG, L.. **Análise computacional da ventilação natural cruzada em habitação.** Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de engenharia de construção civil. São Paulo, 2009.

MEGRI, A. C. e HAGHIGHAT, F. **Zonal Modeling for simulating indoor environment of buildings: revive, recent developments, and applications.** HVAC & R Research, 2007.

MODERA, M. P. e TREIDLER, B. **Improved Modeling of HVAC System/Envelope Interactions in Residential Buildings.** The ASME International Solar Energy Conference, 1995.

MOESEKE, G.; GRATIA, E.; REITER, S. e HERDE, A.. **Wind pressure distribution influence on natural ventilation for different incidences and environment densities.** Energy and Buildings. N. 37, 2005.

MORA, L.; GADGIL, A. J.; WURTZ, E. e INARD, C. **Comparing zonal and CFD models predictions of indoor airflows under mixed convection conditions to experimental data.** Third European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings. Lyon, France, 2002.

NAVFAC. **Natural Ventilative Cooling of Buildings.** Desing Manual 11.02. Department of the Navy – Naval Facilities Engineering Command. Alexandria, 1986.

NEVES, L. O.. **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural.** Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

Nicol JF and Humphreys M. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. Energy and Buildings 34, 563-572, 2002.

NICOL, F. **Adaptative Thermal comfort Standards in the hot-humid tropics**. Energy and Buildings, n. 34, 2004.

OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. Londres, Routledge, 1987.

OLGYAY, Victor. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princetown University Press. 1973.

OLIVEIRA, A. G. **Proposta de método para avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliars em clima quente e úmido**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2006.

PASSOS, I. C. S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL, 2009.

PELLETRET, R.; ALLARD, F.; HAGHIGHAT, F.; LIEBECQ, G. e MAARS, J. V. **Modelling of large openings**. 12th AIVC Conference Award Winning Written Paper, in: Air Infiltration Review, Vol. 13, n. 1, 1991.

PERÉN, J. I. M.. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima “Lelé”**: estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. São Carlos, 2006.

PERSILY, A.; MUSSER, A.; EMMERICH, S. J. **Modeled Infiltration Rate Distributions for U. S. Housing**. Indoor Air: 20, 2010.

PETERSEN, Erik L.; MORTENSEN, Niels G.; LANDBERG, Lars; HØJSTRUP, Jørgen; FRANK, Helmut P.. **Wind Power Meteorology**. RisØ National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1997.

RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J. e HUMPHREYS, M. A.. **Thermal Comfort: use of controls in naturally ventilated buildings**. Energy and Buildings. N. 33, 2001.

RAJARATNAM, N. **Turbulent Jets**. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Co. 1976.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000, 2ª edição.

ROULET, C-A.; GERMANO, M.; ALLARD, F.; GHIAUS, C. **Potential for natural ventilation in urban context: An assessment method**. In: Proceedings – Indoor Air 2002.

SACRAMENTO, A. **Levantamento de edificações residenciais multifamiliares de 2006 a 2010 em Maceió-AL**. Maceió, 2011.

SACRAMENTO, A. ; BITTENCOURT, L. S. ; CÂNDIDO, C. M. ; LEAL, T. A. . **Estudo do desempenho do peitoril para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL**. Ambiente Construído (Online), v. 7, p. 59-69, 2007.

SANTAMOURIS, M. Prediction Methods. In: ALLARD, Francis. **Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook**. European Commission Directorate General for Energy Altener Program. James & James, 2002.

SEIFERT, J.; LI, Y.; AXLEY, J. e RÖSLER, M.. **Calculation of Wind-driven cross ventilation in buildings with large openings**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. N. 94, 2006.

SILVA, H. C. e KINSEL, L. S.. **Região Climática de Porto Alegre: Revisão para um desenho inteligente e uma Arquitetura adequada**. ARQTexto 9. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

SUNDELL, J. et al. **Commemorating 20 Years of Indoor Air - Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature**. Indoor Air 2011; 21; 191-204.

SWAMI, M. V. e CHANDRA, S. **Procedures for calculating Natural Ventilation Airflow Rates in Building**. Final Report, FSEC-CR-163-86. Florida Solar Energy Center. Cape Canaveral, 1987.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Elsevier: Architectural Press, London, 2004.

TNO Building Research. **Cp Generator**. 2005. Disponível em: <<http://cpgen.bouw.tno.nl/cp>>. Acesso em: 17 maio 2011.

TOKYO POLYTECHNIC UNIVERSITY. **Wind Pressure Database**. Disponível em <http://wind.arch.tkougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>. Acesso em: 20 maio 2011.

TOLEDO, A. **Caracterização de sistemas de ventilação natural em tipologias correntes de dormitórios em Maceió-AL**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, Brasil, 2001.

TOLEDO, A. M. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: Uma aplicação em Maceió-AL**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2006.

TOLEDO, E. **Ventilação Natural das Edificações**. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas – EDUFAL, 1999.

TORRES, S. C.; BARBIRATO, G. M. **A qualidade bioclimática de espaços públicos urbanos em conjuntos habitacionais em Maceió – AL**. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004.

TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto: aplicação em edifícios naturalmente ventilados para o clima de Natal-Rn**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2006.

U. S. Department of Energy. **Selecting Windows for Energy Efficiency**. U. S. Department of Energy, 1997.

VERSAGE, R. S. **Ventilação Natural e desempenho térmico em edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

VITTOORAPORN, C. **Natural ventilation in building**. Building and Technology & Environment Laboratory. Chulalongkorn University. Thailand, 2006.

WALKER, I.S. **Pressure coefficients on sheltered building**. Air Infiltration and Ventilation Center. Technical Report, v13, n.4. 1992

WALTON, G. N. e EMMERICH, S. J. **CONTAM93 A multizone airflow and contaminant dispersal model with a graphic user interface**. Air Infiltration Review. Vol. 16, n. 1, 1994.

WANG, Q.; MA, K.; LUNDQVIST, M. **CFD Applications of PHOENICS in Building Environment and Fire Safety Design**. Austrália, 2003.

WIERINGA, J. **Does representative Wind information exist?** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 65, 1996.

WONG, Nyuk Hien; HUANG, Bernard. **Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and air-conditioned bedrooms of residential buildings in Singapore**. Building and Environment 39, 2004. P.1115-1123.

YANG, Lina; ZHANG, Guoqiang; LI, Yuguo; CHEN, Youming. **Investigating potential of natural driving forces for ventilation in four major cities in China**. Building and Environment, v40: 2005.

YAO, Runming; LI, Baizhan; STEEMERS, Koen; SHORT, Alan. **Assessing the natural ventilation cooling potential of Office buildings in different climate zones in China**. Renewable Energy, v34: 2009.

ZHAI, Z.; XING, H.; NORFORD, L. **How to use CFD software: PHOENICS (v 3.5)**. 2002.