



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ANÁLISE COMPARATIVA DA VENTILAÇÃO NATURAL E QUALIDADE DO AR EM APARTAMENTOS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR NO RIO DE JANEIRO

Marília Ramalho Fontenelle (1) Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos (2)

Eduardo Breviglieri de Castro (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura PROARQ/FAU-UFRJ, mariliarfontenelle@yahoo.com.br

(2) Engenheiro Mecânico, bolsista de produtividade em pesquisa (CNPQ) e docente colaborador permanente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura PROARQ/FAU-UFRJ, leopoldobastos@gmail.com

(3) Engenheiro civil, docente da Faculdade de Engenharia da UFJF, eduardo.brevi@terra.com.br

RESUMO

Este artigo tem por objetivo comparar a ventilação natural e qualidade do ar de dois apartamentos com orientações opostas localizados em um edifício residencial multifamiliar de 14 pavimentos no Rio de Janeiro, avaliando também a influência na circulação do ar nos ambientes quando variado o andar do apartamento. Através da aplicação do software de simulação Aeoluz MZ, foram calculadas as taxas de troca de ar e a qualidade do ar de cada ambiente das unidades habitacionais. Observou-se que o rebatimento de um apartamento tipo pode gerar qualidades do ar diferentes para ambientes que desempenham a mesma função. De um modo geral, detectou-se que a qualidade do ar nos apartamentos apresenta melhores resultados para alguns andares superiores, havendo, porém, uma redução após o 10º andar, quando também há um decréscimo na taxa de troca de ar devido à redução do coeficiente de pressão. Verificou-se também que a qualidade do ar de cada zona, em muitos casos, esta relacionada com a sua taxa de troca de ar, e que para aumentar a satisfação dos usuários, é importante que seja favorecida a ventilação cruzada através de aberturas no ambiente para a captação e exaustão do ar. Os resultados também indicaram que o volume do ambiente é um dos fatores que mais influencia no índice de renovação de ar, prevalecendo, inclusive, sobre a orientação das zonas em relação à direção dominantes dos ventos. O desenvolvimento da pesquisa também possibilitou a identificação dos potenciais e limitações do programa de simulação utilizado.

Palavras-chave: ventilação natural; qualidade do ar; simulação computacional.

ABSTRACT

The aim of this paper is to compare natural ventilation and air quality from two apartments with opposite orientations, in a residential building with 14 floors in Rio de Janeiro, and to evaluate the influence of air circulation in its indoor spaces when varying the apartment floor. Through simulation with the software Aeoluz MZ, it was obtained the air exchange rates and air quality in each room. It was observed that the inversion of the apartment orientation can generate different indoor air quality values for rooms performing the same function. In general, it was detected that air quality in the apartments raises if the floor is increased, suffering a drop after the 10th floor due to the decrease of air change rate due to the pressure coefficient reduction. It was also identified in all cases a relationship of the indoor air quality with the air exchange rate. Also, to increase user satisfaction, it is important to favor cross ventilation, including openings to capture and exhaust the indoor air. The results also indicate that the room volume is one of the factors that most influence indoor air exchange rates, prevailing even over the zone orientation in relation to wind dominant directions. The development of this research also allowed identifying the potentials and limitations of the software.

Key Words: natural ventilation; indoor air quality; computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

O advento dos sistemas artificiais de condicionamento de ar transformou significativamente a postura dos arquitetos em procurar adequar os edifícios às condicionantes climáticas do lugar. Desde então, o aproveitamento da ventilação natural deixou de ser uma das principais estratégias utilizadas para a obtenção do conforto térmico no ambiente construído, o que resultou, dentre outros aspectos, num aumento considerável do consumo energético e na redução da qualidade do ar no interior das edificações.

Vários estudos comprovam que o aproveitamento da ventilação natural nos espaços internos traz uma série de benefícios aos usuários dos edifícios, alguns deles não garantidos pelo uso do ar condicionado. Uma das principais vantagens é a melhoria da qualidade do ar dos espaços. Mendell et al. (1996) destaca que os usuários reportam menos sintomas em edifícios ventilados naturalmente do que em edifícios com condicionamento artificial do ar. Estudos da EPA (*Environmental Protection Agency*) sobre a exposição do homem aos poluentes do ar revelam que os níveis internos de muitos poluentes podem ser de duas a cinco vezes maiores que os exteriores, chegando a cem vezes em alguns casos (FIGUEIREDO, 2007).

A ventilação natural também promove a redução das cargas térmicas e da umidade relativa no interior dos edifícios, constituindo uma importante estratégia para a redução do consumo de energia e promoção do conforto térmico dos usuários em localidades de clima quente e úmido.

O aproveitamento da ventilação natural, apesar de não ser mais priorizado na maioria de edifícios de escritórios do país, prevalece sobretudo em edifícios residenciais. No entanto, observa-se que nestas edificações residenciais em clima tropical, tem sido empregado de forma crescente sistemas mecânicos para ventilação e condicionamento térmico (ventiladores e aparelhos de ar condicionado) para garantir o conforto térmico nos espaços internos, mesmo em épocas do ano em que a ventilação natural poderia ser suficiente se o edifício e seus sistemas e aberturas fosse projetado priorizando essa estratégia passiva.

Uma das causas deste cenário decorre do fato de que muitos arquitetos tratam de forma intuitiva e empírica a ventilação natural em seus projetos e consideram apenas os percursos do ar nos espaços a partir da orientação predominante dos ventos, sem avaliar se a vazão do ar pelas aberturas projetadas é satisfatória para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar nos ambientes do edifício.

A adoção de ferramentas que possibilitem uma avaliação mais precisa da eficiência das estratégias projetuais empregadas é ainda pouco recorrente em escritórios de arquitetura, no entanto, no meio acadêmico, seu emprego vem crescendo ao longo dos anos. As ferramentas mais utilizadas são programas de simulação computacional, como os softwares de simulação de dinâmica de fluidos computacional (*CFD – Computational Fluid Dynamics*), e os programas do tipo Modelo de Rede.

Há uma série de pesquisas que utilizam softwares comerciais para avaliar a ventilação natural tanto em projetos como em edifícios já construídos. Lôbo e Bittencourt (2003), por exemplo, utilizam o software *Phoenics 3.2* para avaliar os efeitos da adoção de captadores de vento no conforto térmico de habitações populares. Bittencourt et al (2007), por sua vez, aplicam uma versão mais avançada do mesmo programa – *Phoenics 3.6* – para avaliar os benefícios gerados pelo emprego de peitoris ventilados na distribuição do fluxo de ar em ambientes escolares. Figueiredo (2007) utiliza o software *CFX* para avaliar em que períodos do ano a ventilação natural em São Paulo é suficiente para garantir, por si só, o conforto térmico em edifícios de escritórios.

Com relação à avaliação da qualidade do ar no interior das edificações, pode-se fazer menção ao software francês *COMIS* e ao *AEOLUS MZ*. No caso deste último programa computacional, esta avaliação da QAI é baseada nos conceitos de Fanger (1992). Os resultados das simulações para a QAI são expressos em decipol, olf e PPI. O decipol é uma unidade que indica a qualidade de ar percebida num espaço com uma carga de poluição de 1 olf, ventilado por 10 l/s de ar limpo. Um olf é definido como a poluição produzida por uma pessoa padrão. O PPI corresponde ao Percentual de Pessoas Insatisfeitas em decorrência da poluição do ar existente em um ambiente, que segundo Virgone (2002), é determinado pela seguinte expressão:

$$PPI = \text{Exp}(5.98 - (112/QAI)^{0.25})$$
, onde QAI é a qualidade do ar interno dada em decipol.

Dentro deste contexto de utilização de softwares de simulação para análise da ventilação natural e da qualidade do ar no espaço construído, será realizada neste trabalho uma aplicação prática de um software não comercial, brasileiro, e que dispõe de uma interface amigável, o *AEOLUS MZ* (CASTRO, 2005). Objetiva-se analisar os efeitos da ventilação natural na qualidade do ar em apartamentos de um edifício residencial multifamiliar situado no Rio de Janeiro.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de realizar um estudo comparativo relacionado com a ventilação natural e a qualidade do ar entre dois apartamentos com orientações opostas localizados em um edifício residencial multifamiliar no Rio de Janeiro. Avalia-se também a influência da localização dos apartamentos segundo os pisos sobre a circulação do ar nos diversos ambientes. Através do presente estudo, pretende-se de forma complementar identificar as potencialidades e limitações da ferramenta computacional adotada para a análise da ventilação natural em edificações existentes e para o auxílio à concepção de novos edifícios.

3. MÉTODO

O enfoque metodológico seguido baseou-se em três etapas principais:

1. Seleção do objeto de análise;
2. Simulação da ventilação natural e qualidade do ar dos apartamentos;
3. Análise dos resultados.

3.1. Seleção do objeto de análise

O objeto de análise dessa pesquisa constitui-se num edifício residencial multifamiliar de 14 pavimentos situado no bairro Flamengo, na cidade do Rio de Janeiro, onde o clima é tropical quente e úmido. A captação dos ventos, provenientes principalmente do nordeste, é facilitada devido a edificação estar próxima da extensa área verde do Parque do Flamengo e sofrer pouca influência de uma edificação antiga próxima – o Castelhinho do Flamengo – de poucos pavimentos (Figura 1 e 2).



Figura 1 – Foto aérea do edifício (em vermelho) e entorno imediato. Fonte: GOOGLE, 2010.



Figura 2 – Vista panorâmica do edifício (em vermelho) e entorno imediato. Fonte: GOOGLE, 2010.

Conforme se observa na Figura 3, cada pavimento apresenta quatro unidades habitacionais, sendo duas voltadas para o Parque do Flamengo, a leste (Fr1 e Fr2), e duas voltadas para os fundos do terreno, a oeste (Fu1 e Fu2). Elas são compostas por sala de estar, sala de jantar e escritório integrados, quarto, cozinha, banheiro e área de serviço completa.

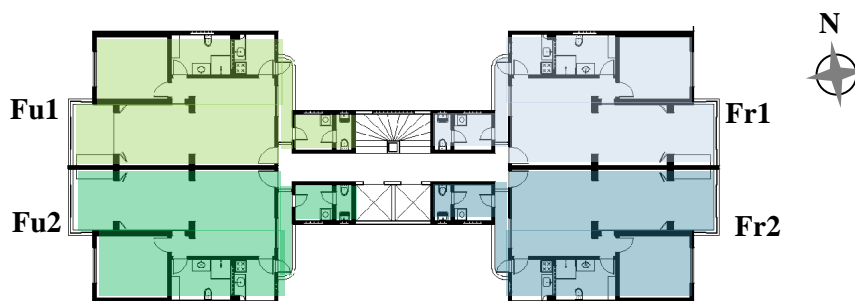


Figura 3 – Planta baixa do pavimento tipo.

3.2. Simulação computacional

3.2.1. O software de simulação

O software de simulação escolhido para ser utilizado neste trabalho foi o AEOLUS MZ, desenvolvido por Eduardo Breviglieri Castro em 2002, como parte da pesquisa de sua tese de doutorado (CASTRO, 2005). A validação indireta do código computacional do programa, detalhada em seu trabalho, foi realizada através da comparação dos resultados de uma simulação teste no AEOLUS MZ com aqueles obtidos através do software AIOLOS 1.0 (DASCALAKI, 2001).

O programa constitui um Modelo de Rede e é destinado ao cálculo de infiltração do ar e ventilação natural em edifícios particionados em múltiplas zonas (ambientes) e expostos a ventos provenientes de qualquer direção, a qualquer velocidade. Ele é aplicável apenas a edifícios cuja altura seja maior que sua largura, pois utiliza o diagrama de coeficientes de pressão da ASHRAE (1997) para edifícios altos.

A Figura 4 mostra a tela principal do AEOLUS MZ, onde é solicitada a entrada de alguns dados considerados nos cálculos, como as dimensões da edificação (altura, fachada principal e fachada secundária), velocidade do vento no topo do edifício, o tipo e a densidade do entorno onde o edifício está ou será implantado e a direção dominante dos ventos.

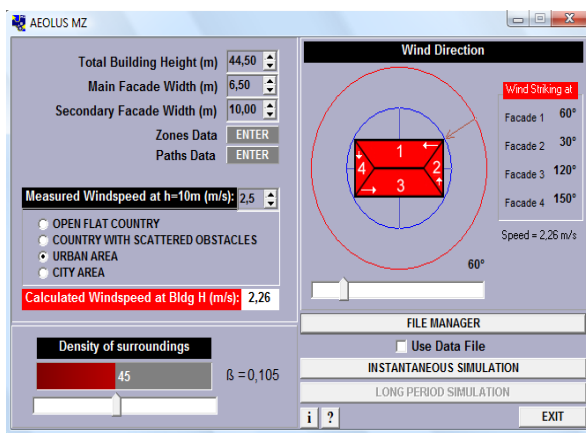


Figura 4 – Tela principal do AEOLUS MZ.

Path #	Type	f-Zone	t-Zone	Facade	Dist Y	Dist X	Win H	Win W	F Exp	F Coef	P Coef
1	1	0	1	2	21,36	3,10	1,45	1,60	0,50	1,8183	0,07
2	1	1	4	0	20,83	1,55	2,45	2,00	0,50	3,8340	0,00
3	4	5	0	20,83	1,55	2,45	2,00	0,00	0,0000	0,00	0,00
4	0	5	4	21,45	1,55	2,10	2,40	0,00	0,0000	0,00	0,00
5	0	1	2	21,36	3,10	1,45	1,60	0,00	0,0000	0,00	0,00
6	1	6	0	20,65	3,78	2,10	0,78	0,00	0,0000	0,00	0,00
7	6	7	0	20,65	3,66	2,10	0,68	0,00	0,0000	0,00	0,00
8	0	7	4	21,35	4,85	1,43	1,60	0,00	0,0000	0,00	0,00
9	0	1	2	21,36	3,10	1,45	1,60	0,00	0,0000	0,00	0,00
10	1	6	0	20,65	3,78	2,10	0,78	0,00	0,0000	0,00	0,00
11	3	6	0	20,65	4,38	2,10	0,68	0,00	0,0000	0,00	0,00
12	0	3	1	21,73	6,38	0,50	0,90	0,00	0,0000	0,00	0,00
13	0	2	2	20,70	4,68	2,20	0,62	0,00	0,0000	0,00	0,00
14	2	3	0	21,62	5,35	0,97	1,20	0,00	0,0000	0,00	0,00
15	0	3	1	21,73	6,38	0,50	0,90	0,00	0,0000	0,00	0,00
16											
17											
18											
19											
20											

Figura 5 – Tela de indicação do percurso dos ventos e das características das aberturas.

O programa também requer que sejam especificadas algumas características dos ambientes que compõem o pavimento estudado, tais como volume, área, altura em relação ao nível do mar, temperatura (interna e externa), número de ocupantes, porcentagem de ocupantes fumantes, tipo de ambiente quanto à poluição e tipo de atividade desenvolvida no ambiente.

Na tela Paths Data (Figura 5), são indicados os percursos que o escoamento de ar faz no interior do edifício, bem como as dimensões das aberturas (externas e internas) e suas posições na fachada. Também é possível selecionar se a janela está aberta ou fechada, sendo neste último caso considerada uma infiltração do ar pelos caixilhos de $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

É importante enfatizar que o AEOLUS MZ não indica as trajetórias do vento, cabendo ao usuário do programa informá-los com precisão para que os resultados da simulação não sejam comprometidos.

Após introduzidos todos os dados solicitados, é realizada a simulação e apresentados, em poucos instantes, seus resultados. O programa indica, para cada ambiente simulado, a taxa de infiltração do ar puro e total, a taxa de troca do ar total, o coeficiente de pressão nas entradas e saídas de ar, e a qualidade do ar, dada em decipol e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPI).

Observa-se através dos campos de dimensões gerais do edifício que o programa está limitado ao cálculo da ventilação natural em formas prismáticas bastante simplificadas. Formas orgânicas ou mesmo volumes ortogonais mais complexos não se enquadram dentro das possibilidades de simulação do programa.

3.2.2. Parâmetros considerados na simulação

As simulações foram feitas para dois apartamentos tipo – sendo um de frente (Fr1) e outro de fundo (Fu1) – e para cinco pavimentos – 1º, 4º, 7º, 10º e 13º andar – com o objetivo de identificar as diferenças na captação do ar relativas a estas variações.

Devido a algumas limitações do programa, a área de serviço do apartamento bem como a caixa de escadas a ela associada foram desconsideradas nas simulações, simplificando a entrada de dados e os cálculos. Assim, os dois principais volumes dos apartamentos foram considerados independentes do volume central da caixa de escada. A planta do apartamento considerada em todas as simulações é a mesma, ainda que se saiba que, na prática, há possivelmente variações na distribuição dos espaços entre as unidades.

A Tabela 1 apresenta os dados sobre o edifício e o entorno considerados em todas as simulações. A densidade de obstrução aos ventos pelo entorno foi especificada em 45%, que corresponde a três fachadas do edifício parcialmente obstruídas, conforme indicado pelo programa. A fachada 2, correspondente àquela voltada para o Parque do Flamengo, foi considerada como totalmente desobstruída, desprezando-se a interferência do Castelinho do Flamengo como barreira para os apartamentos de fundos situados nos pavimentos mais baixos.

Tabela 1 – Dados de entrada sobre o edifício e seu entorno	
Dados solicitados	Dados inseridos
Altura total do edifício	44,50 m
Largura da fachada principal	6,50 m
Largura da fachada secundária	10,00 m
Velocidade média dos ventos a h = 10m	2,50 m/s
Tipo de entorno	Área urbana
Densidade do entorno imediato	45%
Direção dominante dos ventos	45°

As trajetórias preferenciais dos ventos no interior dos apartamentos de frente e de fundos estão representados na Figura 6. Estas trajetórias foram traçadas tendo como base os diagramas dos coeficientes de pressão (C_p) para edifícios altos, disponível na ASHRAE (1997). Conforme indicam os diagramas de 45° – fachadas 1 e 2 – e 135° – fachada 4 – apresentados na Figura 7, observa-se que as primeiras estão à barlavento, enquanto que a fachada 4 está à sotavento.

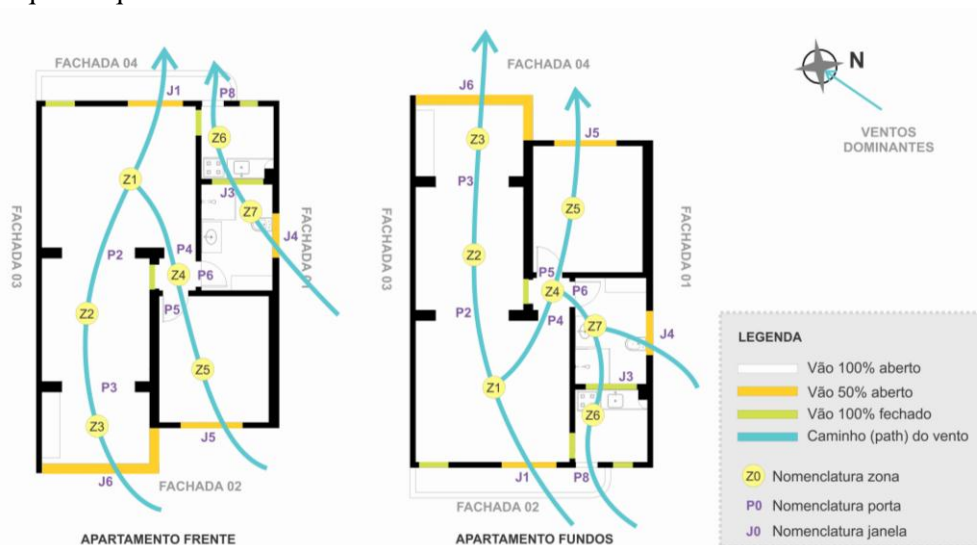


Figura 6 – Esquema das trajetórias do vento traçadas para cada apartamento.

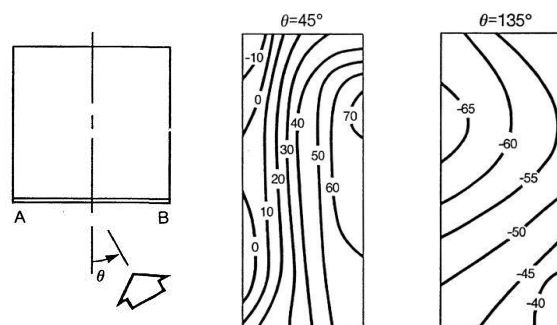


Figura 7 – Diagramas de Coeficientes de Pressão para ângulos de incidência do vento de 45° e 135°. Fonte: Davenport e Hui (1982) apud ASHRAE (1997).

Os distintos coeficientes de pressão das aberturas também são indicados pelo AEOLUS MZ, tanto na ocasião do fornecimento dos dados de entrada das aberturas, como na apresentação dos resultados. A Tabela 2 indica estes valores por abertura e por pavimento, para os apartamentos de frente e de fundos, reforçando as conclusões quanto às diferenças de pressão detectadas através da análise dos diagramas da ASHRAE (1997).

Abertura	Apartamento de frente					Apartamento de fundos				
	1°	4°	7°	10°	13°	1°	4°	7°	10°	13°
J1	-0,04	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
J4	0,02	0,01	0,01	0,01	-0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
J5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06
J6	0,02	0,02	0,01	0,01	-0,01	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05
P8	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03

No que diz respeito às dimensões de portas e janelas, foram consideradas as áreas efetivas dos vãos disponíveis para passagem do ar, de acordo com a tipologia da esquadria existente (Tabela 3). Os dados sobre as zonas considerados nas simulações estão indicados na Tabela 4.

Dimensões	J1	J3	J4	J5	J6	P2	P3	P4	P5	P6	P8
Largura (m)	1,60	1,20	0,90	1,60	1,20	2,00	2,00	0,70	0,70	0,70	0,70
Altura (m)	0,72	0,48	0,25	0,72	2,10	2,45	2,45	2,10	2,10	2,10	2,20
Área efetiva do vão (m ²)	1,15	0,57	0,22	1,15	2,52	4,90	4,90	1,47	1,47	1,47	1,54

Ambiente	Zona	Volume	Área	Elev.*	Temp.	Ocup.	% Fum.	Tipo Amb.**	Ativ.***
Exterior	Z0			1,00	29				
Sala jantar	Z1	47,96	16,54	1,00	27	1	0	1	3
Sala Estar	Z2	30,42	10,49	1,00	27	0	0	1	1
Escritório	Z3	14,67	5,06	1,00	27	1	0	1	3
Corredor	Z4	4,32	1,49	1,00	27	0	0	1	1
Quarto	Z5	30,01	10,35	1,00	27	0	0	1	1
Cozinha	Z6	9,62	3,85	1,00	27	0	0	1	2
Banheiro	Z7	13,00	5,20	1,00	27	0	0	1	1

* Depende do pavimento: 1,00 (1° andar); 10,30 (4° andar); 19,60 (7° andar); 28,90 (10° andar) e 38,20 (13° andar).

** Tipo 1: Ambiente com grau de poluição normal.

*** Tipo 1: Pessoas descansando / 2: Pessoas trabalhando ativamente / 3: Pessoas trabalhando sentadas, em escritório.

As temperaturas externa e interna consideradas correspondem a um dia de verão no Rio de Janeiro. Optou-se por inserir uma temperatura exterior maior que a interior com o objetivo de eliminar a ocorrência de ventilação por termo-sifão – também calculada pelo AEOLUS MZ – de forma a considerar exclusivamente o escoamento por diferencial de pressão.

É importante ressaltar que, segundo a teoria do conforto adaptativo, para uma temperatura externa de 29°C, a temperatura interna de 27°C considerada está dentro dos limites da zona neutra de conforto térmico (Figura 8). Desta forma, situações de insatisfação dos usuários que venham a ser indicadas pelos resultados das simulações serão em decorrência exclusivamente da baixa qualidade do ar reinante nos ambientes.

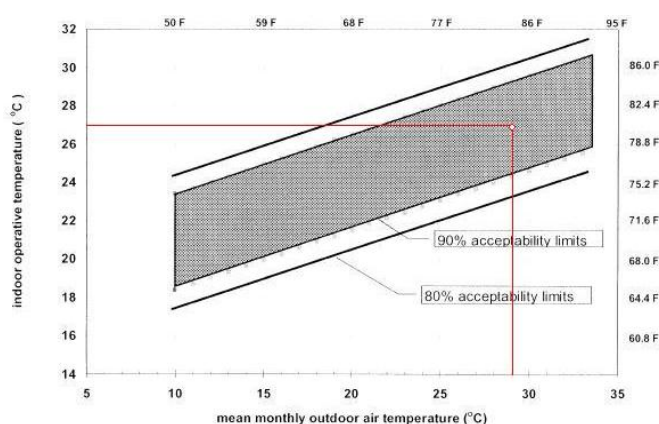


Figura 8 – Média de temperaturas aceitáveis para ambientes naturalmente condicionados.

Fonte: adaptado de ASHRAE Standard 55-2004.

3.3. Resultados avaliados

Dentre uma série de dados de saída gerados pelo programa, foram analisados neste trabalho apenas três deles: a taxa de troca de ar total por zona, a qualidade do ar QAI, e o Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPI).

A taxa de troca de ar representa o número de renovações do ar por unidade de tempo, resultante do quociente entre a vazão de ar que penetra no ambiente e o volume do ambiente. A vazão de ar depende diretamente da velocidade do ar, da área das aberturas e da diferença de pressão entre as aberturas por onde entra e sai o ar.

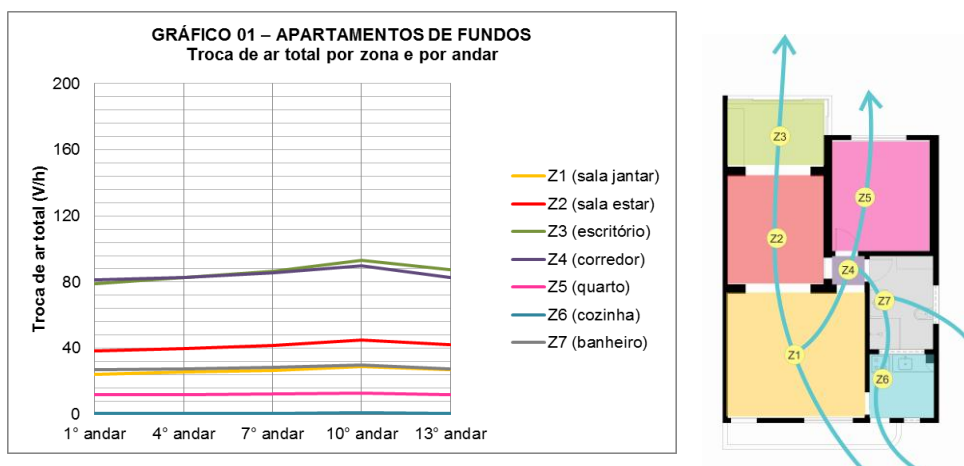
Os resultados das simulações foram tabulados de forma a indicar as variações das condições de ventilação e qualidade do ar tanto por zona como por pavimento considerado.

A seguir, serão apresentados os resultados do apartamento de fundos, seguido dos resultados do apartamento de frente. Ao final, será estabelecida uma comparação dos resultados referentes a estas duas situações.

4. RESULTADOS

4.1. Apartamentos de fundos

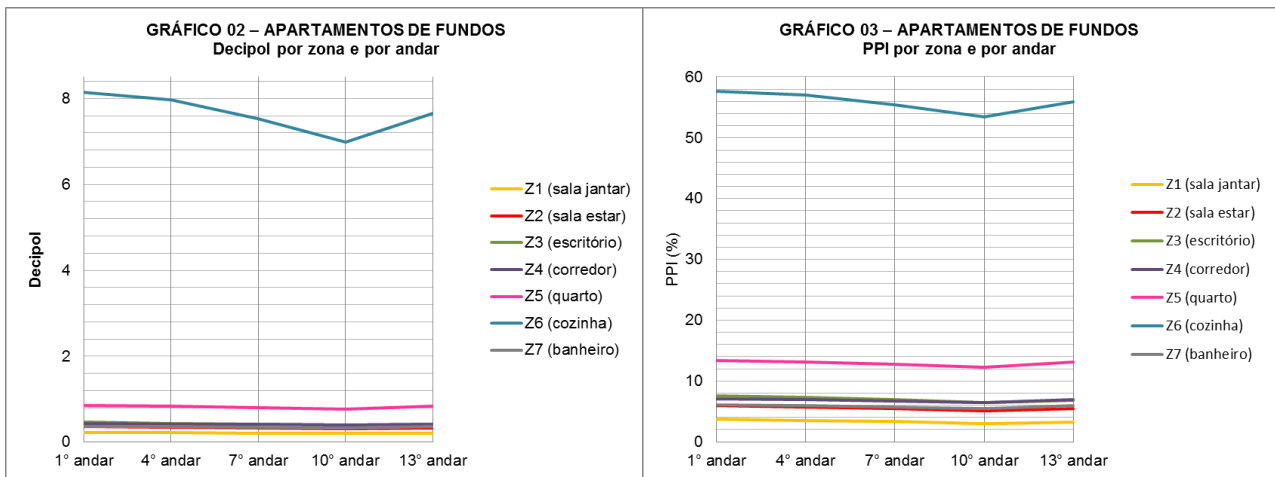
Conforme indicado no Gráfico 1, nos apartamentos de fundos, observa-se que as zonas com maiores trocas de ar são as zonas 3 (escritório) e 4 (corredor). As zonas 1 (sala de jantar) e 6 (cozinha), apesar da captação do ar facilitada pelas aberturas voltadas para a direção dominante dos ventos, apresentam uma taxa de troca de ar menor. No caso da sala de jantar, isto ocorre devido ao grande volume deste ambiente, enquanto que na cozinha, a reduzida troca de ar decorre, principalmente, pelo fato de a saída de ar permanecer fechada, prejudicando a ventilação cruzada no ambiente.



Em quase todas as zonas, observa-se que as trocas de ar vão sendo incrementadas na medida em que se sobe de pavimento, no entanto, a partir do 10º andar ocorre uma queda, devido à redução do coeficiente de pressão nos andares mais altos, conforme indicado na Tabela 2.

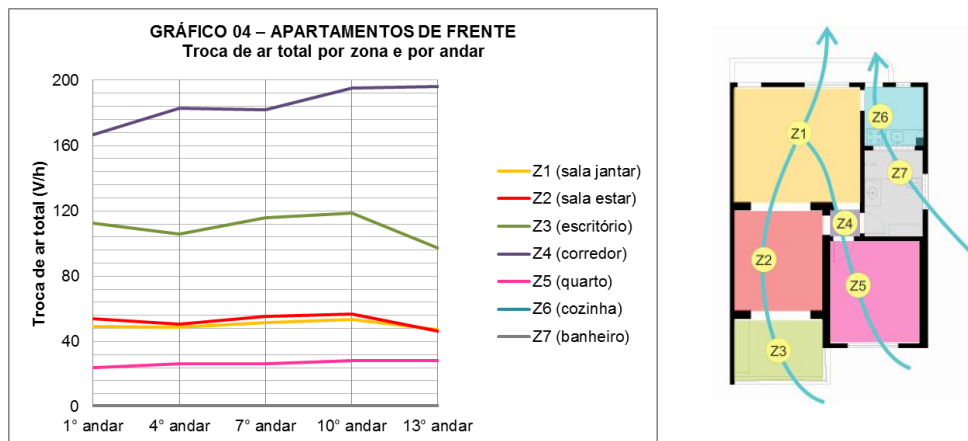
Quanto à qualidade do ar, nos apartamentos de fundos, a zona 6 (cozinha) foi indicada como a mais poluída, devido a baixa troca de ar identificada neste ambiente (Gráfico 2). A zona 1 (sala de jantar), por sua vez, por ter uma constante renovação do ar, apresentou-se como o ambiente menos poluído. É importante observar que, nos pavimentos mais altos, principalmente até o 10º pavimento, trocas de ar mais intensas promovem uma melhor qualidade do ar para os ambientes.

O Gráfico 3 reforça que a zona 6 (cozinha) é o ambiente com a pior qualidade do ar. Nesta zona, estima-se uma variação de 53 a 57% de usuários insatisfeitos, dependendo do pavimento considerado. A zona 1 (sala de jantar), por sua vez, destaca-se como a mais confortável, atingindo um valor máximo de 3,7% de seus usuários insatisfeitos. Também neste gráfico se observa uma tendência, em todas as zonas, de apresentar uma redução do PPI até o 10º andar. No 13º pavimento, devido à diminuição das trocas de ar, esse valor tende a aumentar.

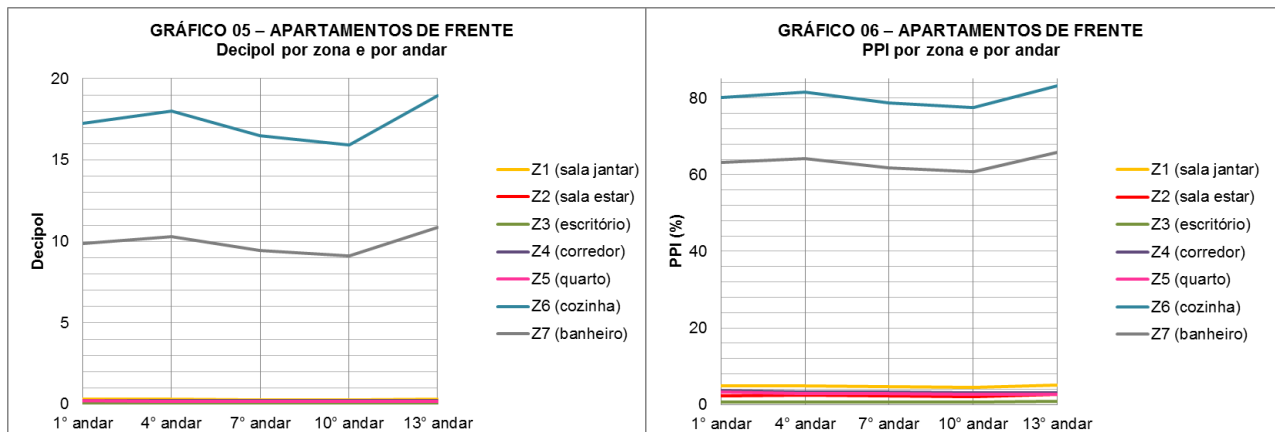


4.2. Apartamentos de frente

Nos apartamentos de frente, observou-se que a zona com maior troca de ar é a zona 4 (corredor), devido ao volume reduzido deste ambiente (Gráfico 4). Destaca-se, em segundo lugar, a taxa de troca de ar da zona 3 (escritório), cuja abertura está voltada para a direção dominante dos ventos. Apesar da zona 5 (quarto) estar na mesma situação, este ambiente apresentou a segunda pior taxa de troca de ar em todos os pavimentos simulados, o que aponta que há uma predominância da circulação do ar pelo percurso que engloba o escritório, sala de estar e sala de jantar. Isso acontece pelo fato destes ambientes serem integrados, o que propicia uma melhor ventilação cruzada.



O Gráfico 5 destaca a zona 6 (cozinha) como o ambiente com pior qualidade do ar, em decorrência de apresentar uma das menores taxas de troca de ar. A zona 3 (escritório), por sua vez, é indicada como o ambiente menos poluído dos apartamentos de frente, por ter uma constante renovação do ar. Observa-se em alguns ambientes que a qualidade do ar nos apartamentos é crescente na medida em que se sobe o pavimento, sofrendo uma queda após o 10º andar, quando há um decréscimo na taxa de troca de ar.



O Gráfico 6 reforça esses resultados, ao apontar a zona 6 (cozinha) como o ambiente com maior porcentagem de pessoas insatisfeitas, e a zona 3 (escritório) como o ambiente tendo usuários mais satisfeitos com a qualidade do ar.

4.3. Comparação dos resultados

Observou-se que, para todos os pavimentos e para os dois tipos de apartamentos (frente e fundos), o escritório e o corredor apresentaram maiores taxas de troca de ar (Tabela 5). Esse resultado revelou a relevância que o volume do ambiente apresenta sobre as taxas de troca de ar dos ambientes, o que, em alguns casos, prevalece sobre a orientação das zonas em relação à direção dominante dos ventos.

Como indicado nesta tabela, na maioria dos casos, a média da troca de ar dos cinco pavimentos considerados é maior para os ambientes dos apartamentos de frente, com exceção do banheiro.

Ranking	Apartamento de fundos		Apartamento de frente	
	Ambiente	Média de troca de ar entre pavimentos (v/h)	Ambiente	Média de troca de ar entre pavimentos (v/h)
1º	Z3 (escritório)	85,86	Z4 (corredor)	184,55
2º	Z4 (corredor)	84,50	Z3 (escritório)	109,93
3º	Z2 (sala estar)	41,40	Z2 (sala estar)	52,66
4º	Z7 (banheiro)	28,25	Z1 (sala jantar)	50,02
5º	Z1 (sala jantar)	26,43	Z5 (quarto)	26,74
6º	Z5 (quarto)	12,16	Z6 (cozinha)	0,77
7º	Z6 (cozinha)	0,75	Z7 (banheiro)	0,58

Observou-se também que a qualidade do ar detectada em cada zona, em muitos casos, é proporcional a sua taxa de troca de ar (Tabela 6). Por exemplo, a cozinha dos apartamentos de fundos apresenta uma troca de ar muito reduzida, o que influencia significativamente na sua qualidade do ar.

Ranking	Apartamento de fundos		Apartamento de frente	
	Ambiente	Média de decipol entre pavimentos	Ambiente	Média de decipol entre pavimentos
1º	Z6 (cozinha)	7,66	Z6 (cozinha)	17,32
2º	Z5 (quarto)	0,82	Z7 (banheiro)	9,91
3º	Z3 (escritório)	0,42	Z1 (sala jantar)	0,29
4º	Z4 (corredor)	0,41	Z4 (corredor)	0,21
5º	Z7 (banheiro)	0,35	Z5 (quarto)	0,18
6º	Z2 (sala estar)	0,33	Z2 (sala estar)	0,16
7º	Z1 (sala jantar)	0,21	Z3 (escritório)	0,06

Também se verificou que é decisiva a criação não só de aberturas para captação do ar, como também para sua exaustão, como forma de propiciar a ventilação cruzada nos ambientes. No caso da cozinha dos apartamentos de fundos, apesar de sua abertura estar orientada para os ventos dominantes, a renovação do ar é prejudicada pela inexistência de uma abertura para exaustão. O mesmo ocorre nos banheiros dos apartamentos de frente.

Ranking	Apartamento de fundos		Apartamento de frente	
	Ambiente	Média de PPI entre pavimentos	Ambiente	Média de PPI entre pavimentos
1º	Z6 (cozinha)	55,91	Z6 (cozinha)	80,22
2º	Z5 (quarto)	12,96	Z7 (banheiro)	63,18
3º	Z3 (escritório)	7,01	Z1 (sala jantar)	4,76
4º	Z4 (corredor)	6,82	Z4 (corredor)	3,29
5º	Z7 (banheiro)	5,82	Z5 (quarto)	2,79
6º	Z2 (sala estar)	5,53	Z2 (sala estar)	2,35
7º	Z1 (sala jantar)	3,36	Z3 (escritório)	0,67

Por fim, observou-se uma relação direta entre a poluição do ambiente e a insatisfação de seus usuários (Tabela 7). Com exceção do banheiro e da cozinha, o nível de poluição do ar nos ambientes é pouco significativo, o que é confirmado pela baixa insatisfação de seus usuários, indicada pelo PPI.

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados das simulações, verificou-se que o simples rebatimento de um apartamento tipo pode gerar variações significativas na qualidade do ar de ambientes que desempenham uma mesma função. Observou-se também que há uma variação perceptível das taxas de troca de ar por pavimento, desencadeada pelos diferentes coeficientes de pressão em cada andar e pela posição das aberturas nas fachadas.

Concluiu-se também que ambientes com grandes volumes exigem aberturas maiores para garantir uma troca de ar satisfatória, mesmo em ambientes cujas aberturas estejam posicionadas favoravelmente aos ventos dominantes.

Detectou-se que a qualidade do ar de cada zona, em muitos casos, é proporcional a sua taxa de troca de ar, e que para aumentar a satisfação dos usuários, é importante que seja favorecida a ventilação cruzada no ambiente através de aberturas de captação e exaustão do ar. Como visto, a integração dos espaços também facilita o escoamento do ar e constitui uma estratégia eficaz na melhoria da qualidade do ar dos ambientes.

O software AEOLUS MZ mostrou-se uma ferramenta útil na compreensão dos efeitos da ventilação e sobre a qualidade do ar dos apartamentos. No entanto, apesar de apresentar uma interface amigável e fornecer resultados em uma velocidade bastante satisfatória, sua utilização exige que o arquiteto possua um conhecimento mínimo sobre questões relacionadas à ventilação e qualidade do ar, tanto para indicação das trajetórias do vento nos ambientes, como para a análise dos resultados. Uma vez dominados os conceitos envolvidos, pode-se afirmar que esta ferramenta computacional apresenta um enorme potencial para utilização no processo de concepção arquitetônica, possibilitando um conhecimento e estimativa sobre os efeitos da ventilação natural no edifício. Neste caso, mais importante que os valores absolutos obtidos é a possibilidade de comparar alternativas diversas de distribuição dos espaços e dimensionamento de aberturas, e avaliar as conseqüências de cada decisão tomada com relação à ventilação natural e à qualidade do ar nos espaços interiores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 1997.
- _____. **ASHRAE Standard 55-2004**. Atlanta, 2004.
- BITTENCOURT, L. S. et al.. Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. In: **Ambiente Construído**, v. 7, n. 2, p. 59-69, Porto Alegre, 2007.
- CASTRO, E. **Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação**. COPPE/UFRJ e INSA/LYON. Rio de Janeiro e Lyon: Universidade Federal do Rio de Janeiro e Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
- DASCALAKI, E. The Aiolos software. In: **Natural Ventilation in buildings: a design handbook**. London, England, Ed. James&James, pp. 327-352, 1998.
- FANGER, P. O. Projetando boa qualidade de ar em edifícios com ar-condicionado. In: **ABRAVA**, n° 128, Ano 16, p. 56-64, 1992.
- FIGUEIREDO, C. M. de. **Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico**. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Tecnologia da Construção, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- LÔBO, 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: **Ambiente Construído**, v. 3, n.2, p. 57-67, Porto Alegre, 2003.
- MENDELL, M. J. et al. **Elevated Symptom Prevalence Associated with Ventilation Type in Office Building**. Epidemiology, 1996.
- VIRGONE, J. **Cours sur la qualité de l'air**. Lyon, França, Université Lyon 1, 2002. Notas de aula.