



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Roseana Martins Ribeiro

Análise do desempenho da ventilação natural de acordo com as diretrizes referentes às aberturas na ABNT NBR 15.575 e em Códigos de Obras e Edificações no Brasil

Florianópolis - SC

2022

Roseana Martins Ribeiro

Análise do desempenho da ventilação natural de acordo com as diretrizes referentes às aberturas na ABNT NBR 15.575 e em Códigos de Obras e Edificações no Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Profa. Michele Fossati, Dra.
Coorientador: Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.

Florianópolis – SC

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Martins Ribeiro, Roseana

Análise do desempenho da ventilação natural de acordo com as diretrizes referentes às aberturas na ABNT NBR 15.575 e em Códigos de Obras e Edificações no Brasil / Roseana Martins Ribeiro ; orientador, Michele Fossati, coorientador, Martin Ordenes Mizgier, 2022.

162 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Desempenho da Ventilação Natural. 3. ABNT NBR 15575. 4. Código de Obras e Edificações. I. Fossati, Michele. II. Ordenes Mizgier, Martin. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Roseana Martins Ribeiro

Análise do desempenho da ventilação natural de acordo com as diretrizes referentes às aberturas na ABNT NBR 15.575 e em Códigos de Obras e Edificações no Brasil

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Juliana Oliveira Batista Dr.(a)
Universidade Federal de Alagoas

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo obtido pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Paolo Colosso, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Profª. Michele Fossati, Dra.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis – SC

2022

Dedico este trabalho à minha mãe, meu pai,
meu irmão e ao meu afilhado Deysson.

AGRADECIMENTOS

O que seria de nós sem apoio, aquele abraço apertado, palavra amiga e incentivadora? A minha resposta é: não sei. Tive a sorte e tenho gratidão porque esses aspectos não me faltaram, recebi muito afeto e estímulo a acreditar mais em mim a cada dia, e isso me fortaleceu para finalizar a etapa tão sonhada e desafiadora que foi o mestrado.

Para chegar até onde estou, muitas pessoas me ajudaram das mais diferentes formas e meu coração se enche de alegria em poder retribuir no dia-a-dia e nomeá-las aqui. Agradeço aos meus pais, Rosária e Bartolomeu, que sempre são meu porto seguro e de incentivo para eu conquistar meus objetivos, sou grata por me ensinarem a ser humilde, perseverante, além de tantas outras virtudes. Ao meu irmão Roberto também pelo seu suporte e carinho. Amo vocês imensamente!

Agora, quando lembro de minha história em Florianópolis a pessoa que mais se fez presente nos meus dias foi sem dúvida o Fernando, meu amigo de alma, é incrível como a gente se completou de uma maneira tão linda, tanto pessoal quanto profissionalmente e, fico tão contente que tenhamos nos encontrado e permanecido na vida um do outro. Você que sempre me contagiou com sua energia ímpar, com seu apoio, carinho, abraços, deixava com certeza meus dias mais leves. A minha grande gratidão por toda reciprocidade e aprendizado, te amo miguito!

Agradeço à Marina, minha “kirida” vizinha (como assim nos chamávamos), pela amizade, calma e parceria no dia-a-dia. À Gislaíne e Kellen também por suas amizades, vocês fizeram Floripa ainda mais divertida. À Dani por todo seu carinho, compreensão, receitas e boas energias, obrigada amiga, aprendi muito contigo!

Sou grata ao meu namorado Ilton por todo amor, companheirismo, bom humor, atenção e encorajamento a eu ser melhor a cada dia e, que apesar da distância esteve sempre presente, muitíssimo obrigada, amo você!

À minha orientadora Michele que com toda sua paciência, atenção e competência me auxiliou nesse processo. Ao meu coorientador Martin pelo aprendizado, em especial sobre a ventilação natural, conteúdo que mergulhei mais a fundo e que tive o prazer de ministrar no estágio docência em sua disciplina de conforto térmico.

Obrigada à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). Agradeço ainda a todos que direta e indiretamente também contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional ao longo dessa jornada.

*“Você não pode mudar o vento, mas pode ajustar
as velas do barco para chegar onde quer.”*

(Confúcio)

RESUMO

Ao se projetar, é necessário considerar o contexto climático regional e analisar as variáveis climáticas. Em países como o Brasil, evidencia-se a ventilação natural como uma das estratégias bioclimáticas mais recomendadas nos projetos arquitetônicos do ponto de vista do conforto térmico. Além do estudo climático, os profissionais recorrem a diretrizes legislativas e normativas de modo a alcançar melhores resultados projetuais com intuito de satisfazer os usuários. Contudo, regulamentações construtivas como o Código de Obras e Edificações e a Norma de Desempenho Habitacional carecem de mais informações relacionadas às aberturas destinadas à ventilação natural, uma vez que essas regulamentações consideram apenas a área do piso para o dimensionamento das mesmas, além de não haver menção aos fatores complementares de configuração das aberturas que influenciam diretamente no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos. Diante disso, o presente trabalho possui como objetivo geral analisar o desempenho da ventilação natural, do ponto de vista do conforto térmico em uma Habitação de Interesse Social brasileira, considerando o dimensionamento de aberturas estabelecido pelos Códigos de Obras e Edificações brasileiros e pela Norma de Desempenho Habitacional – ABNT NBR 15575:2021. Para tanto, a pesquisa compreendeu cinco etapas: (1) escolha e análise das regulamentações construtivas; (2) seleção e caracterização do modelo para estudo de caso; (3) avaliação qualitativa do desempenho da ventilação natural por meio da metodologia de Toledo (2006); (4) realização dos experimentos na mesa d'água; e (5) elaboração de recomendações projetuais e sugestões para regulamentações construtivas. As alterações de configuração de aberturas realizadas resultaram em um total de 24 testes, sendo 3 relacionados ao caso base (em planta baixa, um experimento para cada direção do vento: nordeste, leste e sudeste); 18 experimentos em planta baixa (grupo 1) e 3 análises em corte (grupo 2). Por meio dos resultados fica evidente a influência tanto da configuração das aberturas, quanto do ângulo de incidência dos ventos na distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos do modelo analisado. Tal influência permitiu identificar as áreas que carecem de ventilação natural, seja pela ausência de circulação de ar significativa, seja pela ocorrência de zonas de estagnação de ar. Constatar as zonas mais sensíveis a essa carência de ventilação natural alerta aos profissionais pela busca de soluções que otimizem a ventilação natural nos ambientes internos e promovam o conforto térmico dos ocupantes. Visto que, a depender da configuração de abertura estabelecida, a disposição dos móveis do ambiente, bem como a área ocupada pelo usuário de acordo com a localização do escoamento do ar, será diferente a cada caso de teste proposto. Nesse contexto, elaborou-se recomendações projetuais para habitações conforme a análise dos resultados e literatura clássica, além de sugestões para regulamentações construtivas.

Palavras-chave: Ventilação Natural. Código de Obras e Edificações. Norma de Desempenho.

ABSTRACT

When designing, it is necessary to consider the regional climatic context and analyze the climatic variables. In countries like Brazil, natural ventilation is evidenced as one of the most recommended bioclimatic strategies in architectural projects from the point of view of thermal comfort. In addition to the climatic study, professionals resort to legislative and normative guidelines in order to achieve better design results with the aim of satisfying users. However, construction regulations such as the Building and Construction Code and the Housing Performance Standard lack more information related to openings intended for natural ventilation since these regulations only consider the floor area for their sizing, and there is no mention of complementary factors for the configuration of openings that directly influence the performance of natural ventilation in indoor environments. In view of this, the general objective of this study is to analyze the performance of natural ventilation, from the point of view of thermal comfort, in a Brazilian Social Interest Housing, considering the sizing of openings established by the Brazilian Building and Construction Codes and by the Housing Performance Standard – ABNT NBR 15575:2021. To this end, the research comprised five stages: (1) choice and analysis of building regulations; (2) selection and characterization of the model for the case study; (3) qualitative evaluation of natural ventilation performance by means of Toledo's (2006) methodology; (4) conducting experiments on the water table; and (5) elaboration of design recommendations and suggestions for building regulations. The changes in the configuration of openings resulted in a total of 24 tests, 3 related to the base case (floor plan, and one experiment for each wind direction: northeast, east and southeast); 18 floor plan experiments (group 1) and 3 sectional analyses (group 2). Through the results, it is evident the influence of both the configuration of the openings and the angle of incidence of the winds on the distribution of airflow in the internal environments of the analyzed model. This influence allowed us to identify the areas that lack natural ventilation, either by the absence of significant air circulation, either by the occurrence of air stagnation zones. The identification of the most sensitive areas to this lack of natural ventilation alerts professionals to search for solutions that optimize natural ventilation in internal environments and promote the thermal comfort of the occupants. Since, depending on the established opening configuration, the arrangement of the furniture in the environment, as well as the area occupied by the user according to the location of the air flow, will be different for each proposed test case. In this context, design recommendations for dwellings were elaborated according to the analysis of the results and classical literature, as well as suggestions for constructive regulations.

Key Words: Natural Ventilation. Building Code. Performance Standard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de ar em ambientes internos: (a) abertura de entrada de ar maior do que a de saída, e (b) abertura de entrada de ar menor do que a de saída	17
Figura 2 – Detalhes dos casos analisados	18
Figura 3 – Área útil de janelas destinada à ventilação natural de acordo com sua tipologia ...	19
Figura 4 – Área útil de ventilação da janela basculante de acordo com a inclinação de abertura	20
Figura 5 – Efeito da localização das aberturas em paredes opostas em uma edificação térrea	21
Figura 6 – Modos de ventilação, (a) ventilação cruzada e (b) ventilação unilateral	22
Figura 7 – Modelo e ângulos de incidência analisados em relação ao eixo Y	23
Figura 8 – Diferentes porosidades das portas internas	23
Figura 9 – Mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental do departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC	28
Figura 10 – Ensaio de modelos em planta baixa analisando o impacto da variação das dimensões das aberturas: (a) 0,60m; (b) 1,00m; (c) 2,00m	29
Figura 11 – Protótipos desenvolvidos com diferentes configurações de aberturas	30
Figura 12 – escoamento de fluídos dentro do modelo 1 da figura 12: (a) simulação computacional com CFD; (b) experimento na mesa d'água	30
Figura 13 – escoamento de fluídos dentro do modelo 3 da figura 12: (a) simulação computacional com CFD; (b) experimento na mesa d'água	31
Figura 14 – Fluxo de ar: (a) simulação CFD; (b) Fluxovento, e (c) mesa d'água.....	32
Figura 15 – Planta baixa do pavimento tipo do edifício 1	33
Figura 16 – Diagrama esquemático de níveis de percurso	35
Figura 17 – Diagrama esquemático de séries e paralelos	35
Figura 18 – Ensaio na mesa d'água com escoamento na direção nordeste no edifício 1	35
Figura 19 – Esquema de escoamento no apartamento 1 do edifício 1	36
Figura 20 – Diagrama de níveis de percurso do apartamento 1 do edifício 1 na direção NE ..	36
Figura 21 – Diagrama de séries e paralelos do apartamento 1 do edifício 1 na direção NE	36
Figura 22 – Esquema da Metodologia de Avaliação Multicritérios da Ventilação Natural	37
Figura 23 – Histórico de Normas de Desempenho	42
Figura 24 - Etapas metodológicas	53
Figura 25 – Projeto representativo para a casa unifamiliar térrea com possibilidade de ampliação.....	57

Figura 26 – Mesa d’água do LabCon da UFSC	68
Figura 27 – Habitação de interesse social: (a) HIS representativa definida por Montes (2016) e, (b) Caso base com as características de configuração de aberturas conforme a ABNT NBR 15575	70
Figura 28 – Base do modelo físico reduzido: (a) base modulada da planta baixa no AutoCAD; (b) base modulada da planta baixa em acrílico; (c) base modulada do corte no AutoCAD; (d) base modulada do corte em acrílico	76
Figura 29 – Modelo físico reduzido com peças de encaixe: (a) planta baixa; (b) exemplo das peças que representam as paredes com numeração e reentrância em parte inferior e (c) Corte C.1 que representa porta fechada e bandeira aberta	77
Figura 30 – Posicionamento do modelo físico reduzido na mesa d’água em planta baixa conforme ângulo de incidência do vento: (a) nordeste 45°; (b) leste 90° e (c) sudeste 135°	78
Figura 31 – Posicionamento do modelo físico reduzido na mesa d’água: corte 1	79
Figura 32 – Mapa do Brasil e linha do tempo com os anos de vigência dos COEs das capitais brasileiras e de Piracicaba, SP e Governador Valadares, MG.....	81
Figura 33 – Sistema fixo: planta baixa do caso base.....	87
Figura 34 – Experimentos na mesa d’água com o modelo do caso base e respectiva representação gráfica do movimento do ar: (a) ângulo de incidência de 45°; (b) ângulo de incidência de 90°; (c) ângulo de incidência de 135°	89
Figura 35 – Sistema fixo - configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta dos quartos: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC e (c) teste 1OD	92
Figura 36 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 45°: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC; e (c) teste 1OD	94
Figura 37 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 90°: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC; e (c) teste 1OD	96
Figura 38 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 135°: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC; e (c) teste 1OD.....	97
Figura 39 Sistema fixo - configuração das aberturas externas em paredes adjacentes à porta dos quartos: (a) teste 1AL; (b) teste 1AC e (c) teste 1AD.....	102

Figura 40 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 45°: (a) teste 1AL; (b) teste 1AC; e (c) teste 1AD	103
Figura 41 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 90°: (a) teste 1AL; (b) teste 1AC; e (c) teste 1AD	105
Figura 42 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 135°: (a) teste 1AL; (b) teste 1AC; e (c) teste 1AD	106
Figura 43 – Planta baixa do modelo de referência com marcação do corte	110
Figura 44 – Experimentos na mesa d’água com aberturas em corte e respectiva representação gráfica do movimento do ar: (a) corte 1; (b) corte 2; (c) corte 3	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Percentual de abertura de janelas com e sem desconto de caixilhos	20
Quadro 2 – Frequência sazonal dos ventos da cidade de Maceió - AL.....	39
Quadro 3 – Percentual de abertura de referência para ventilação	44
Quadro 4 – Quantidade de municípios com e sem COE no Brasil	49
Quadro 5 – Cidades selecionadas e suas respectivas Zonas Bioclimáticas.....	54
Quadro 6 – Classificação das aberturas em relação ao sistema fixo do MASQ Vento.....	58
Quadro 7 – Parâmetros de análise do escoamento do ar interno do sistema dinâmico do MASQ Vento.....	59
Quadro 8 – Ponderações para o padrão de escoamento (1º nível).....	61
Quadro 9 – Cidades e suas frequências de ocorrência de ventos por estação do ano	62
Quadro 10 – Potencial sazonal (frequência de ocorrência) dos ventos regionais por estação do ano e nas direções nordeste, leste e sudeste.....	64
Quadro 11 – Desejabilidade sazonal da ventilação natural	65
Quadro 12 – Ponderação de desejabilidade sazonal da ventilação natural.....	65
Quadro 13 – Classificação dos desempenhos.....	67
Quadro 14 – Grupo 01 de experimentos: matriz e configurações das variáveis em planta baixa	73
Quadro 15 – Grupo 02 de experimentos: matriz e configurações das variáveis em corte	74
Quadro 16 – Quantidade de experimentos	75
Quadro 17 – Quantidade de COEs por período e região brasileira	82
Quadro 18 – Parâmetro mínimo de desempenho térmico quanto ao percentual de abertura destinado à ventilação.....	83
Quadro 19 – Classificação das aberturas dos quartos no caso base	87
Quadro 20 – Níveis de percurso nos experimentos no caso base.....	90
Quadro 21 – Abrangência do escoamento do ar no caso base.....	91
Quadro 22 – Velocidade do escoamento do ar: caso base.....	92
Quadro 23 – Classificação das aberturas dos quartos nos testes em paredes opostas.....	93
Quadro 24 – Níveis de percurso nos experimentos com aberturas em paredes opostas	99
Quadro 25 – Abrangência do escoamento do ar com a configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta.....	100
Quadro 26 – Velocidade do escoamento do ar: grupo 1 de experimentos com configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta dos quartos.....	101

Quadro 27 – Classificação das aberturas dos quartos nos testes em paredes adjacentes	102
Quadro 28 – Níveis de percurso nos experimentos com aberturas em paredes adjacentes....	108
Quadro 29 – Abrangência do escoamento do ar com a configuração das aberturas externas em paredes adjacentes à porta	109
Quadro 30 – Velocidade do escoamento do ar: grupo 1 de experimentos com configuração das aberturas externas em paredes adjacentes à porta dos quartos	109
Quadro 31 – Classificação das aberturas dos quartos nos testes em corte	110
Quadro 32 – Níveis de percurso nos experimentos em corte	112
Quadro 33 – Abrangência do escoamento do ar nos cortes.....	113
Quadro 34 – Velocidade do escoamento do ar: grupo 2 de experimentos com configuração das aberturas em corte.....	114
Quadro 35 – Síntese dos Índices de Desempenho Global	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
BCA	<i>Building Code of Australia</i>
BNH	Banco Nacional da Habitação
CE	Comissão de Estudos
CFD	<i>Computer Fluid Dynamics</i>
COE	Código de Obras e Edificações
CTE	<i>Código Técnico de la Edificación</i>
DNP	Diagrama de Níveis de Percurso
DSP	Diagrama de Séries em Paralelo
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
ENTAC	Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
HIS	Habitação de Interesse Social
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBC	<i>International Building Code</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabCon	Laboratório de Conforto Ambiental
MAM	Metodologia de Avaliação Multicritério
MASQ	Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural
NATHERS	<i>Nationwide House Energy Rating Scheme</i>
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PMV	Voto Médio Previsto
Projeteee	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
P _{v,APP}	Percentual de Abertura para Ventilação do Ambiente de Permanência Prolongada
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SAsCC	Serviço de Assistência à Construção Civil

SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UH	Unidade Habitacional
VN	Ventilação Natural
VUP	Vida Útil de Projeto
ZB	Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES	15
2.1.1. Influência da configuração das aberturas no desempenho da ventilação natural .	16
2.1.2. Ventilação natural em Habitação de Interesse Social	24
2.1.3. Avaliação qualitativa do desempenho da ventilação natural em edificações.....	26
2.1.3.1. O equipamento mesa d'água	28
2.1.3.2. Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural pela Ação do Vento (MASQ – VENTO).....	33
2.1.3.2.1. Sistema fixo	33
2.1.3.2.2. Sistema dinâmico	34
2.1.3.3. Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural (MAM - VN)....	37
2.1.3.3.1. Padrão de escoamento de ar nos ambientes internos	37
2.1.3.3.2. Potencial sazonal dos ventos regionais	38
2.1.3.3.3. Desejabilidade sazonal da ventilação natural	39
2.1.3.3.4. Índices de Desempenho Global e Parciais	40
2.2. REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS E SUA RELAÇÃO COM A VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES	40
2.2.1. Cenário histórico de normas de desempenho de edificações	42
2.2.2 Norma de Desempenho Habitacional ABNT NBR 15575: desempenho térmico	43
2.2.3. Código de Obras e Edificações	46
2.2.3.1. Panorama Mundial.....	46
2.2.3.2. Contexto nacional brasileiro.....	48
2.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	51
3. METODOLOGIA	53
3.1. ANÁLISE DAS REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS	53
3.1.1. Critério de seleção dos Códigos de Obras e Edificações	53
3.1.2. Verificação dos parâmetros relacionados ao vão de abertura dos COEs e da ABNT NBR 15575.....	55

3.2. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MODELO PARA ESTUDO DE CASO ..	56
3.3. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL: MASQ-VENTO E MAM-VN	57
3.3.1. Método de Análise Simplificado e Qualitativo por ação do Vento – MASQ Vento	58
3.3.1.1. Sistema fixo	58
3.3.1.2. Sistema dinâmico	59
3.3.2. Metodologia de Avaliação Multicritérios da Ventilação Natural – MAM VN	60
3.3.2.1. Padrão de escoamento de ar nos ambientes internos	60
3.3.2.2. Potencial sazonal dos ventos regionais.....	61
3.3.2.3. Desejabilidade sazonal da ventilação natural	64
3.3.2.4. Índices de Desempenho Global e Parciais	66
3.4. REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NA MESA D'ÁGUA.....	67
3.4.1. Equipamento utilizado: caracterização da mesa d'água	67
3.4.2. Casos analisados: caso base e configurações das variáveis.....	69
3.4.2.1. Definição do caso base.....	69
3.4.2.2. Configurações das variáveis a partir da HIS representativa	71
3.4.3. Definição dos modelos físicos reduzidos	75
3.4.4. Ensaios na mesa d'água	78
3.5. ELABORAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PROJETAIS E SUGESTÕES PARA REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS	80
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1. ANÁLISE DAS REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS.....	81
4.1.1. COEs selecionados para análise	81
4.1.2. Verificação dos parâmetros referentes ao vão de abertura: análise comparativa dos COEs com a Norma de Desempenho	82
4.2. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL	86
4.2.1. Caso base da Habitação de Interesse Social.....	86
4.2.1.1. MASQ – Vento	86
4.2.1.1.1. Sistema fixo	86
4.2.1.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas.....	87
4.2.1.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso	90
4.2.1.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento.....	90
4.2.1.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento	91

4.2.2. Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Opostas à porta dos quartos	92
4.2.2.1. MASQ – Vento	92
4.2.2.1.1. Sistema fixo	92
4.2.2.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas.....	93
4.2.2.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso	98
4.2.2.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento.....	99
4.2.2.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento	100
4.2.3. Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à porta dos quartos	101
4.2.3.1. MASQ – Vento	101
4.2.3.1.1. Sistema fixo	101
4.2.3.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas.....	102
4.2.3.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso	107
4.2.3.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento.....	108
4.2.3.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento	109
4.2.4. Grupo 02 de experimentos: configuração das aberturas em Corte	110
4.2.4.1. MASQ – Vento	110
4.2.4.1.1. Sistema fixo	110
4.2.4.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas.....	111
4.2.4.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso	112
4.2.4.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento.....	112
4.2.4.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento	113
4.2.5. Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural - MAM VN.....	114
4.3. RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS E SUGESTÕES PARA REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS	117
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	124
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE A - PLANILHAS PARA CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO.....	135
APÊNDICE B - PLANILHAS PARA CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO	136

APÊNDICE C - PLANILHA COM O CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO DO CASO BASE	137
APÊNDICE D - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE CURITIBA – PR (ZB 1)	138
APÊNDICE E - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE PIRACICABA – SP (ZB 2).....	139
APÊNDICE F - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE SÃO PAULO – SP (ZB 3).....	140
APÊNDICE G - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE BRASÍLIA – DF (ZB 4).....	141
APÊNDICE H - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE GOVERNADOR VALADARES - MG (ZB5)	142
APÊNDICE I - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE GOIÂNIA (ZB 6).....	143
APÊNDICE J - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE TERESINA - PI (ZB 7).....	144
APÊNDICE K - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE RIO DE JANEIRO - RJ (ZB 8)	145
ANEXO A – MODELO DE FICHA DE CÁLCULO PARA PARA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO PARCIAIS DE DIREÇÃO DE VENTO	146
ANEXO B – MODELO DE FICHA DE CÁLCULO PARA PARA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO	147
ANEXO C – DADOS DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO NORDESTE NO APARTAMENTO 1 DO EDIFÍCIO 1.....	148
ANEXO D – DADOS DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DO APARTAMENTO 1 DO EDIFÍCIO 1.....	149

1. INTRODUÇÃO

É sabido que projetos arquitetônicos e urbanísticos devem ser realizados de acordo com o contexto regional no qual serão inseridos, a fim de permitir que a atuação profissional possa ser mais contextualizada social, econômica e ambientalmente. Dessa maneira, é importante otimizar o vínculo entre o espaço edificado, as pessoas e o meio ambiente, de modo a proporcionar integração no desenvolvimento e com foco na promoção de ambientes adequados à vida humana e à sua manutenção.

No que diz respeito ao aspecto ambiental, há diversos estudos relacionados às variáveis ambientais que influenciam na tomada de decisões projetuais, visto que a análise de tais conceitos contribui para projetos adequados climaticamente aos locais que fazem ou farão parte. Uma dessas variáveis é a ventilação natural, que se caracteriza pelo movimento do ar, e que apresenta três funções complementares: (1) renovação do ar do ambiente; (2) remoção da carga térmica da edificação e (3) auxílio no resfriamento fisiológico dos usuários do espaço (OLGYAY, 1963; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010; MONTENEGRO, 2019).

No Brasil, a ventilação natural é a segunda estratégia bioclimática mais importante, atrás apenas do sombreamento, e capaz de substituir e/ou complementar o condicionamento artificial do ar em muitas situações, uma vez que a maioria das capitais exige o uso desse artifício no decorrer de todo o ano, contudo, há cidades que requerem a utilização da ventilação natural apenas no verão. Sua utilização é de grande relevância às pessoas e às edificações, em virtude de seus benefícios higiênicos e térmicos. Esses aspectos ganham ainda mais importância pela maior parte do território brasileiro ser classificado com o clima quente e úmido, o que torna a utilização da ventilação natural de extrema relevância. Mas para alcançar tais benefícios, é imprescindível analisar as características dos ventos locais (velocidade, frequência de ocorrência e direção), bem como a desejabilidade desses ventos durante as estações do ano, uma vez que nos períodos quentes recomenda-se o uso da ventilação natural para garantir exigências higiênicas e térmicas e, nas épocas frias para atingir as exigências higiênicas. (RIVERO, 1986; LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

É relevante ressaltar que as exigências higiênicas ganharam ainda mais importância diante do panorama de isolamento social ocasionado pela COVID-19, que assola o mundo desde março de 2020, período em que a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou a disseminação da doença como pandemia (FARIAS, 2020). Pesquisas como de Morawska e Milton (2020) identificaram a importância da ventilação natural na redução da transmissão aérea da COVID-19. Foi demonstrado que ambientes fechados apresentam grande potencial para inalação do vírus em gotículas respiratórias microscópicas, porém, quando as aberturas

permitem a passagem de ar dentro do espaço interno as micro gotículas respiratórias são arrastadas facilmente para fora do ambiente, o que permite a renovação do ar. Tais dados reforçam a importância da ventilação natural para a saúde das pessoas no ambiente construído.

No que concerne às exigências térmicas, Frota e Schiffer (2003) destacam que o incremento da ventilação natural nos ambientes internos possibilita trocas de calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar interno, contribuindo dessa forma para o conforto térmico dos usuários.

Os fatores supracitados são a base para auxiliar na determinação das características de projetos arquitetônicos, uma vez que as decisões projetivas influenciam no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos (ALMEIDA *et al.*, 2020; FU, HAN, 2020). Essas decisões estão relacionadas à dimensão do ambiente, à disposição dos móveis no espaço, divisão interna, orientação da edificação aos ventos predominantes, bem como com a configuração das aberturas de determinado espaço. Esta última se refere à localização da abertura (parede oposta ou adjacente à porta), posição (centralizada, diagonal ou lateral), área e, tipo de esquadria utilizada (basculante, correr, abrir, guilhotina etc.). Entretanto, nas normativas brasileiras e nas legislações municipais, apenas a área da abertura é mencionada, apesar dos outros aspectos também interferirem diretamente no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos (CÂNDIDO, 2006; BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2010).

Além disso, Tibúrcio (2017) destaca que dentre os fatores que influenciam no desempenho da ventilação natural, as janelas podem ser o único artifício que os usuários possuem para controlar as circunstâncias microclimáticas do ambiente, por isso, a configuração destas, no que se refere à sua disposição, área, localização e tipologia são aspectos a serem considerados nos projetos de arquitetura e regulamentações construtivas.

Por isso, torna-se necessário integrar esses aspectos para que haja diretrizes legislativas eficazes relacionadas à ventilação natural. E que estas possam guiar os profissionais da melhor maneira, pois quando se trata de projeto arquitetônico é necessário que nos estudos iniciais também sejam utilizadas legislações locais atualizadas, visto que uma legislação eficiente objetiva tornar o processo projetual mais eficaz e não limitar o projeto de arquitetura (FERNANDES, 2009).

Entretanto, apesar dos benefícios da ventilação natural e das características que otimizam seu desempenho, as regulamentações construtivas são carentes de diretrizes que abordem os aspectos supracitados, se limitando apenas à diretriz que se refere ao dimensionamento da abertura em relação à área do piso. Além disso, de acordo com Lin e

Chuah (2011) e Corbella e Corner (2015) o potencial de uso da ventilação natural nos projetos de arquitetura não são frequentemente explorados, em decorrência por exemplo, do fornecimento e uso excessivo de sistemas de climatização artificial nos ambientes internos.

Para otimizar a promoção de bem-estar dos usuários através de estratégias bioclimáticas é ideal que haja conciliação entre aspectos construtivos com as particularidades climáticas locais, de maneira a proporcionar um ambiente construído que satisfaça as exigências dos ocupantes (CORBELLA; CORNER, 2015). Contudo, esse bem-estar não é prioridade quando se trata de Habitações de Interesse Social (HIS), pois frequentemente “na pressa de se ganhar dinheiro com construções que atendam à população carente, aspectos qualitativos são relevados e postos em segundo plano, ou simplesmente ignorados” (MORELLO; SATTLER, 2004, p. 01). Bonduki (2014) destaca ainda que, as características locais são em sua maioria desconsideradas, apesar de serem fundamentais para obter moradias com conforto ambiental. Reis e Lay (2010) acrescentam que além dos fatores quantitativos para atender ao maior número famílias, é relevante que as questões referentes à qualidade da HIS também devam ser consideradas, uma vez que o projeto deve atender às necessidades dos ocupantes.

Algumas dessas questões qualitativas tratam da carência de estratégias que melhorem a qualidade interna do ar dessas Unidades Habitacionais (UH), bem como do conforto térmico dos usuários e desempenho térmico da edificação. Bach e Veiga (2020) realizaram um diagnóstico de HIS em Rio Grande – RS e constataram que os maiores problemas dessas UH estavam relacionados ao mofo e umidade, os quais poderiam ser resolvidos com estratégias passivas de ventilação e iluminação natural.

As HIS expressam importância no setor residencial do Brasil, mas a demanda das unidades habitacionais de forma padronizada atende apenas o mínimo das necessidades dos ocupantes, além de não considerarem o contexto climático regional onde são inseridas, ou seja, não levam em conta, por exemplo, as características de orientação do projeto no lote, e a iluminação e ventilação natural não são exploradas como deveriam (COSTA, 2011; SANTOS, BATISTA, 2019). Por isso, é de suma importância que estratégias bioclimáticas sejam incorporadas nos projetos de habitação de interesse social, particularmente no que tange ao desempenho da ventilação natural nos ambientes internos. Soluções destinadas a essas melhorias devem ser exploradas e valorizadas em virtude dos inúmeros benefícios desse recurso natural.

De modo a suprir essa carência e melhorar o desempenho térmico habitacional, existem duas normas relacionadas à temática e utilizadas para a presente pesquisa. A primeira

é a norma ABNT NBR 15220:2005 que tange sobre o Desempenho Térmico de Edificações, que em sua parte 3, estabelece diretrizes construtivas para Habitações de Interesse Social (HIS), bem como o zoneamento bioclimático do Brasil, que divide o país em oito Zonas Bioclimáticas (ZBs), definidas como “regiões geográficas homogêneas quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano” (ABNT, 2005, p. 05). Ressalta-se que o zoneamento bioclimático brasileiro está sendo revisto desde 2012, onde a proposta busca aperfeiçoar a normativa com a apresentação de mais zonas bioclimáticas que expressem a diversidade dos climas do país no que diz respeito ao desempenho térmico e energético de edificações (RORIZ, 2012).

A segunda é a Norma de Desempenho Habitacional – ABNT NBR 15575, em vigor desde 2013, e que em 2020 passou por um processo de revisão nas partes de desempenho acústico, lumínico, térmico e durabilidade. Essa norma apresenta diretrizes relacionadas à promoção de segurança, habitabilidade, sustentabilidade e níveis de desempenho que abrangem o desempenho térmico, lumínico e acústico. No que diz respeito ao desempenho térmico, foi aprovada uma emenda, em janeiro de 2021, com modificações nas partes 1 de Requisitos Gerais (ABNT, 2021b), parte 4 relacionada aos Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (ABNT, 2021c) e parte 5, referente aos Requisitos para os Sistemas de Coberturas (ABNT, 2021d). Diante dos aspectos normativos, o alvo da pesquisa em questão diz respeito à ventilação natural, que é abordada na parte 4 da normativa, particularmente no que se refere ao percentual de abertura destinado à ventilação. Esse fator apresenta para as ZBs brasileiras os mesmos percentuais de aberturas tanto na versão da norma de 2013 quanto na versão aprovada em 2021. A ABNT NBR 15575 tem suas diretrizes baseadas na ABNT NBR 15220, em especial no que tange ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro e suas respectivas características.

Além das Normas de Desempenho (ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575) a nível nacional, existem Normas Prescritivas a nível municipal, como os Códigos de Obras e Edificações (COE), que também estabelecem requisitos que buscam a qualidade do ambiente construído. De acordo com a ABNT NBR 15575 (ABNT, 2021), a diferença entre elas é quanto ao atendimento das exigências do usuário, ou seja, as Normas de Desempenho interpretam essas exigências e as transformam em requisitos e critérios a serem atendidos pelos projetistas, sendo dessa forma, consideradas complementares às Normas Prescritivas. Estas por sua vez, apresentam parâmetros baseados no uso aprovado de produtos ou procedimentos, almejando atender de maneira indireta as exigências dos usuários.

Conforme o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2018, [s.p.]), Código de Obras e Edificações consiste em um “instrumento que permite à Administração Municipal exercer o controle e a fiscalização do espaço edificado e seu entorno, garantindo a segurança e a salubridade das edificações”. Contudo, a análise desse controle e fiscalização não será tratada na presente pesquisa, e sim os parâmetros relacionados à ventilação natural abordados de maneira geral na legislação, como vão de aberturas.

É importante que todos os municípios brasileiros possuam COE como um dos instrumentos urbanísticos a serem utilizados pelos profissionais da construção civil. Entretanto, essa totalidade ainda não foi alcançada, visto que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), dos 5.570 municípios do Brasil, 3.798 (68,2%) possuem COE, ou seja, 1.772 municípios não são contemplados. Apesar da porcentagem apresentada ser considerável, a existência do COE no município não garante seu efetivo uso, mas, possuí-lo é um dos primeiros passos para melhoria construtiva, tanto em relação ao incentivo do uso pelos profissionais, quanto à atualização legislativa junto aos setores responsáveis diante das características sociais, políticas, econômicas e climáticas locais.

No que se refere aos aspectos climáticos, é relevante averiguar se o que a lei estabelece é adequado ao contexto local. Por muito tempo os Códigos de Obras e Edificações brasileiros foram replicados nos municípios sem possuírem uma análise crítica em relação à adequação de seus parâmetros quanto às características regionais, acarretando a presença de cidades com obras baseadas em códigos desatualizados quanto aos debates contemporâneos (CUNHA, 2011).

Como exemplo, tem-se o COE da cidade de Curitiba – PR (localizada na ZB 1, sul do Brasil) e o de Teresina – PI (situada na ZB 7, nordeste brasileiro) que recomendam para o vão destinado à ventilação a mesma proporção de 1/6 da área de piso do respectivo ambiente. Ou seja, cidades com características climáticas distintas apresentam o mesmo valor sobre esse aspecto. A replicabilidade dos COEs interfere diretamente no desempenho da ventilação natural nas edificações e, conseqüentemente, no conforto térmico dos ocupantes e desempenho térmico edifício, uma vez que as características legislativas semelhantes podem não ser adequadas a diferenças regionais climáticas.

Reforça-se que a justificativa é pautada na carência de parâmetros relacionados ao desempenho da ventilação natural em COEs brasileiros e na ABNT NBR 15575:2021, os quais referem-se apenas à área de abertura, não considerando outros aspectos relacionados a esse desempenho, como a configuração das aberturas, orientação das mesmas em relação aos ventos dominantes, ventilação cruzada no ambiente (abertura de entrada e saída de ar), entre

outros. Sierra e Tenorio (2015), salientam ainda que atualizar as legislações auxilia em resultados transformadores na área da construção civil e permite que o desenvolvimento legislativo seja mais eficaz. Posto isto, evidencia-se a relevância de complementar os parâmetros existentes nos COEs e normas brasileiras ademais da área de abertura. Dessa forma, a temática se apresenta favorável na contribuição do desempenho da ventilação natural em edificações habitacionais brasileiras.

Diante do exposto, a presente pesquisa apresenta a seguinte pergunta: qual configuração de abertura apresenta melhor desempenho da ventilação natural para promover as exigências térmicas em uma habitação de interesse social representativa, levando em consideração a área já estabelecida pelos COEs e ABNT NBR 15575?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho da ventilação natural, do ponto de vista do conforto térmico em uma Habitação de Interesse Social brasileira, considerando o dimensionamento de aberturas estabelecido pelos Códigos de Obras e Edificações brasileiros e pela Norma de Desempenho Habitacional – ABNT NBR 15575:2021.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as diretrizes relacionadas às aberturas para ventilação natural em Códigos de Obras e Edificações de municípios brasileiros e na ABNT NBR 15575:2021;
- Avaliar o impacto de diferentes configurações das aberturas e ângulos de incidência dos ventos no desempenho da ventilação natural, incorporando a ventilação cruzada, por meio de experimentos na mesa d'água, de modo a verificar qualitativamente a distribuição do fluxo de ar na parte interna dos ambientes.
- Elaborar recomendações projetuais e sugestões para regulamentações construtivas a partir da análise dos resultados obtidos e da literatura clássica referentes aos aspectos de desempenho da ventilação natural.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro possui caráter introdutório que apresenta uma abordagem geral do conteúdo da pesquisa, o contexto do problema a ser investigado, justificativa do tema, objetivos e, estrutura do trabalho.

O segundo capítulo consiste na revisão bibliográfica, que inicialmente refere-se à ventilação natural em edificações, com informações acerca do impacto das configurações de aberturas no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos, expõe sobre essa estratégia passiva em HIS e apresenta métodos de análise qualitativa do desempenho do fluxo de ar. Em segundo momento, o capítulo dois aborda sobre as regulamentações construtivas e as diretrizes que dizem respeito à ventilação natural em habitações.

O capítulo três corresponde à metodologia da pesquisa e divide-se em cinco etapas, além de expor os procedimentos que foram realizados para atingir os objetivos propostos. O quarto capítulo apresenta os resultados e discussão da pesquisa. Em seguida, o quinto capítulo consiste nas considerações finais do trabalho em questão. Por fim, há as referências, apêndices e anexos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta duas seções: a primeira trata sobre a ventilação natural em edificações, abordando inicialmente a influência da configuração das aberturas no desempenho da ventilação natural, contribuição da ventilação natural em HIS e discorre sobre avaliação qualitativa do desempenho dessa variável ambiental.

Na segunda parte, está exposto um panorama sobre as regulamentações construtivas (Códigos de Obras e Edificações, ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575) e seus parâmetros relacionados com a ventilação natural.

2.1. VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES

A ventilação consiste na movimentação do ar e pode ser tanto natural quanto mecânica. Mas, no que se refere à ventilação natural, esta pode ser produzida em função da diferença de pressão ocasionada por meio de dois sistemas físicos: (1) térmico, que gera o efeito chaminé proporcionado pela diferença de temperatura entre ar do ambiente interno e externo; (2) eólico, decorrente da ação dos ventos por meio da conversão da energia cinética do vento em pressão estática sobre o envelope da edificação. Essa variável ambiental apresenta três funções que se complementam, sendo elas: conservar a qualidade do ar nos ambientes internos através da renovação do ar; remover a carga térmica edilícia, devido aos ganhos de calor externos e internos – desempenho térmico; e estimular o resfriamento fisiológico dos ocupantes – conforto térmico (OLGYAY, 1963; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010; MARQUES DA SILVA, 2010; CHU *et al.*, 2015; MONTENEGRO, 2019).

Quando se trata de recurso natural, a ventilação representa um importante artifício que permite que os espaços sejam mais agradáveis e saudáveis, de modo que seu uso seja otimizado ou reduzido de acordo com as condições climáticas locais. Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), depois do sombreamento a ventilação natural é a estratégia bioclimática mais importante no Brasil. Ela é eficaz em temperaturas entre 20° C e 32° C, visto que acima ou abaixo disso os ganhos térmicos por convecção não são desejáveis. É necessário também que a umidade relativa do ar esteja entre 15% e 75% em temperaturas entre 27° C e 32° C, para que a estratégia proporcione conforto térmico aos usuários. Cândido *et al.* (2010) reforça que a maior parte do Brasil possui clima quente e úmido, e que essa estratégia passiva se mostra eficiente para obtenção de conforto térmico.

Conforme Rivero (1986), a utilização da ventilação natural é fundamental por questões térmicas e higiênicas, apresentando diferentes necessidades no inverno e verão. Ou seja, as

exigências térmicas são contempladas apenas quando a temperatura do meio externo está mais amena do que a do interior do ambiente. Em contrapartida, as exigências higiênicas, estão relacionadas com a renovação de ar no ambiente e deve ser aplicada ao longo do ano de modo a minimizar contaminações. No planejamento do projeto arquitetônico é importante analisar a necessidade da ventilação natural em diferentes estações do ano, isto é, no inverno utilizá-la para garantir condições higiênicas e no verão otimizá-la para permitir que as exigências tanto térmicas quanto higiênicas sejam alcançadas.

Em relação ao ambiente construído, é importante verificar a disponibilidade dos ventos regionais, analisar a velocidade, frequência de ocorrência e direção dos ventos, para que estratégias projetuais adequadas sejam aplicadas, tais como orientação do projeto, escolha do tamanho, tipologia, posicionamento e localização das aberturas, componentes externos da construção (brises, persianas etc.), além da análise do entorno vegetado e construído. Esses aspectos visam promover ambientes agradáveis, pois quando um ambiente possui ventilação inadequada logo é percebida pelo sistema olfativo humano, quando este identifica odores ou quando percebe que o espaço está abafado (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010; KEELER; BURKE, 2010).

Dentre os processos de ventilação natural por diferença de pressão (térmico: efeito chaminé e eólico: ações dos ventos), o presente trabalho possui enfoque na ventilação natural por ação dos ventos, além de considerar que as aberturas possam ser controladas pelos usuários de acordo com a necessidade pessoal desejada. Lukiantchuki (2015) salienta que a ventilação por ação dos ventos é produzida em decorrência das diferenças de pressão que ocorrem entre as aberturas de entrada de ar (localizadas em zonas de alta pressão – barlavento – face que incide os ventos) e saída de ar (situadas em áreas de baixa pressão – sotavento). Esse tipo de ventilação classifica-se como unilateral e cruzada.

2.1.1. Influência da configuração das aberturas no desempenho da ventilação natural

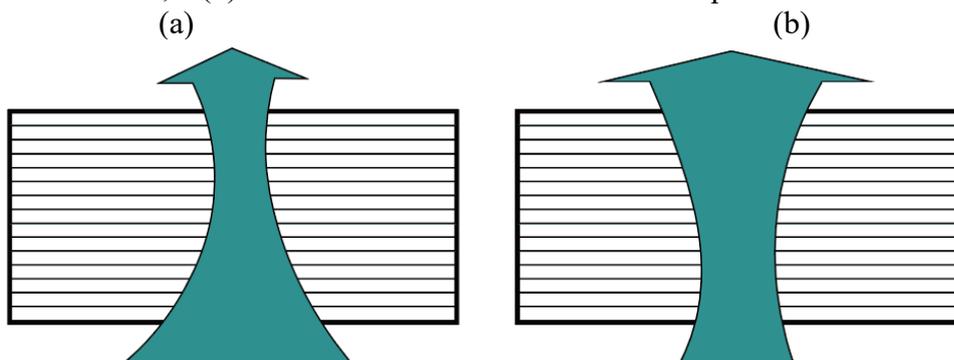
O desempenho da ventilação natural sofre influência das condições externas e internas do meio, ou seja, as externas referem-se à forma urbana, tipologia do edifício e contexto microclimático. Em relação às condições internas, estão presentes fatores como o *layout* do ambiente e configuração das aberturas, o que inclui particularidades relativa às portas e janelas. Pode-se entender a configuração das aberturas por meio de seus aspectos intrínsecos, como, a sua dimensão, tipologia das janelas, localização e, como esses fatores influenciam direta e indiretamente na distribuição do ar no ambiente interno. Além disso, os modos de

ventilação natural (cruzada ou unilateral) também interferem no escoamento do fluxo de ar no espaço interno.

Gao e Lee (2011) ressaltam que, diante dos fatores internos, a configuração das aberturas possui papel fundamental no desempenho da ventilação natural. Em sua pesquisa, os autores avaliaram a influência da configuração das aberturas no desempenho da ventilação natural em unidades residenciais em Hong Kong, por meio de medições em campo e validação do modelo em simulações em Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computer Fluid Dynamics* – CFD). Os parâmetros analisados incluíam oito posições de janelas, duas posições de portas, quatro orientações de edifícios (norte, sul, leste e oeste) e três direções de vento (30°, 90° e 270°, considerando norte = 0°). Para determinar o desempenho da ventilação natural foi utilizada a Idade Média do Ar (*Mean Age of Air* - MAA), que se baseia no tempo médio de percurso do ar desde a abertura de entrada até a de saída. Os resultados demonstraram que o desempenho da ventilação natural foi mais sensível quando houve alteração da posição das janelas, seguido da orientação da edificação e depois pela posição das portas. Já no que diz respeito a análise dos parâmetros de maneira integrada, averiguou-se que variar dois parâmetros (posições das janelas e orientação do edifício) apresentaria impacto positivo no desempenho da ventilação natural, contudo, modificar três parâmetros de entrada não exprime melhorias em virtude dos efeitos contrários de mudança no posicionamento das portas.

Givoni (1936, *apud*, FROTA; SCHIFFER, 2003) faz a relação entre o tamanho da abertura de entrada e saída de ar. Ou seja, quando a abertura de entrada é maior do que a de saída (figura 1a), a velocidade do ar tende a ser menor, porém a distribuição interna se apresenta de maneira mais uniforme. Em contrapartida, quando a abertura de entrada de ar é menor do que a de saída (figura 1b), a velocidade é maior, mas a distribuição do ar internamente é irregular.

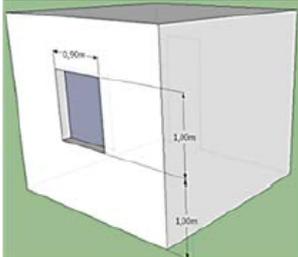
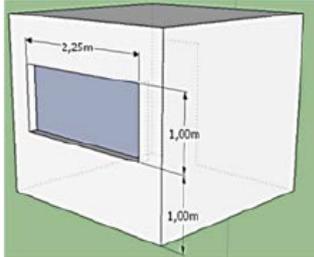
Figura 1 – Fluxo de ar em ambientes internos: (a) abertura de entrada de ar maior do que a de saída, e (b) abertura de entrada de ar menor do que a de saída



Fonte: Adaptado de Givoni (1936, *apud*, FROTA; SCHIFFER, 2003)

Ainda referente ao dimensionamento das aberturas, Sach e Lukiantchuki (2017) analisaram a sensibilidade da área de abertura da janela no desempenho da ventilação natural no ambiente interno. Para tanto, determinou-se um caso base a partir da análise de três Códigos de Obras e Edificações das cidades de Foz do Iguaçu, São Carlos e Maringá, onde levantaram as dimensões das aberturas para quartos e salas, de acordo com a legislação do município. No estudo comparativo foram observados valores diferentes entre os COEs, e diante disso, as autoras optaram pela escolha dos maiores valores presentes na legislação em relação à área do ambiente, pé direito e área de abertura. Para o dimensionamento das aberturas considerou-se dois tamanhos: um de acordo com o COE (10% da área de piso), e outro de acordo com a ABNT NBR 15220:2005 (25% da área de piso). A figura 2 apresenta essa e outras informações referentes ao modelo de referência e ao modelo de caso 01.

Figura 2 – Detalhes dos casos analisados

Cases	REFERENCE CASE - A = 10% of the area of the floor	CASE 01 - A = 25% of the area of the floor
Images		
Data of the Project	Width of the window = 0,90m Height of the window = 1,0m Window sill = 1,0m Area of the window = 0,90m ² (10% - area of the floor) Area of the environment = 9,00m ² High Ceiling = 2,70m	Width of the window = 2,25m Height of the window = 1,0m Window sill = 1,0m Area of the window = 2,25m ² (25% - area of the floor) Area of the environment = 9,00m ² High Ceiling = 2,70m

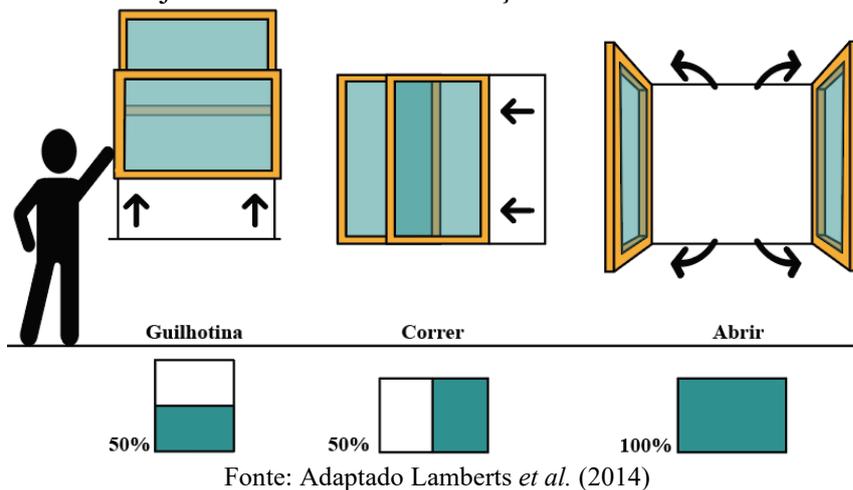
Fonte: Sach e Lukiantchuki (2017)

Além da área de abertura, Sach e Lukiantchuki (2017) analisaram a influência do ângulo de incidência na distribuição do escoamento de ar interno, variando esse ângulo em 0°, 45°, 90°, 135° e 180° na face à barlavento. Conforme os resultados obtidos, observou-se que o fluxo de ar interno sofria influência da dimensão da janela, visto que, uma abertura de entrada maior permite que o ar perca menos carga localizada, tendo como consequência ar espalhado mais homogeneamente dentro do ambiente e com maiores taxas de renovação de ar por hora. Em relação ao ângulo de incidência, verificou-se que os melhores desempenhos de ventilação natural foram aqueles onde os ventos incidiam a 0° e 45° sobre a fachada.

Destaca-se que muitas pesquisas abordam o dimensionamento das aberturas de entrada e saída de ar em suas análises de ventilação, além de expor a importância desse fator nas edificações, mas outros aspectos também impactam no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos (GAUTAM *et al.*, 2019; TIBÚRCIO, 2017).

Os outros fatores são por exemplo as tipologias das janelas, onde deve-se ter em mente que cada tipo apresenta uma área útil efetiva de acordo com seu mecanismo de abertura, como observado na figura 3, onde janelas do tipo guilhotina e de correr possuem 50% do seu vão destinados à ventilação natural (sem descontar os caixilhos), enquanto a janela de giro possui 100% de seu vão livre para ventilação (sem descontar os caixilhos). Diante disso, a seleção da tipologia da janela também deve ser vista como uma etapa importante no processo de projeto arquitetônico, uma vez que a área de vão livre destinada à ventilação natural de cada janela irá impactar diretamente na quantidade e qualidade de ar do ambiente interno, e consequentemente no desempenho das funções da ventilação natural (renovação do ar, conforto térmico dos usuários e desempenho térmico da edificação).

Figura 3 – Área útil de janelas destinada à ventilação natural de acordo com sua tipologia

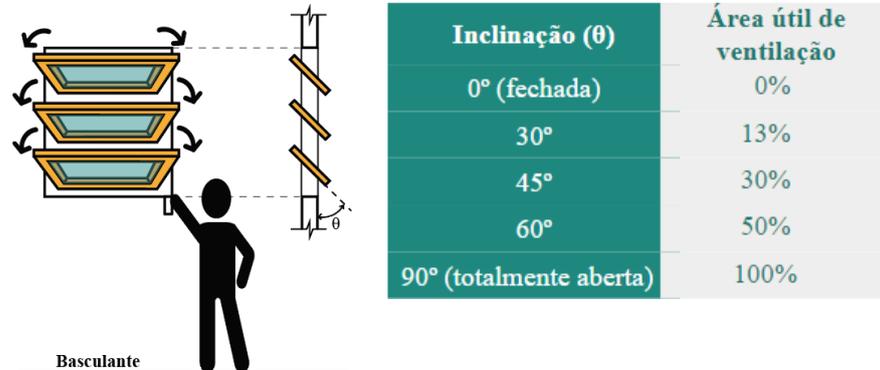


O mercado da construção civil possui variadas tipologias e a escolha de determinado tipo dependerá da função específica de cada ambiente, de aspectos ambientais relacionados à iluminação, ventilação natural, controle acústico, bem como de fatores estéticos, custos, privacidade, integração com o meio externo e segurança dos usuários (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010; LAMBERTS *et al.*, 2014; TIBÚRCIO, 2017).

Além das tipologias supracitadas, existem também aquelas que possuem ângulos em sua abertura, onde as áreas efetivas destinadas à ventilação natural são de acordo com o ângulo de inclinação de abertura da esquadria, como as basculantes (figura 4), maxim-ar e janelas com venezianas móveis. Bittencourt e Cândido (2010) evidenciam que tipologias que apresentam venezianas móveis podem ser elementos direcionadores do fluxo de ar, guiando-o para cima ou para baixo segundo a preferência do usuário. Dessa forma, a depender da escolha, haverá impactos variados no que se refere à distribuição do ar no ambiente.

Conforme a ABNT NBR 10821 (ABNT, 2017) que trata sobre as Esquadrias para edificações, o uso de janela basculante só é permitido exclusivamente para ambientes internos.

Figura 4 – Área útil de ventilação da janela basculante de acordo com a inclinação de abertura



Fonte: Adaptado Lamberts *et al.* (2014)

Outro aspecto importante a considerar é quanto aos caixilhos que compõem as janelas, uma vez que para o cálculo da área efetiva da abertura deve-se desconsiderá-los. O anexo II do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) trata sobre o percentual de abertura destinado à ventilação natural de acordo com a esquadria (BRASIL, 2012). Alguns exemplos estão expostos no quadro 1, onde observa-se que quando são descontados os caixilhos, o vão de abertura sofre perda em sua área, o que impacta diretamente na área de vão livre de abertura.

Quadro 1 – Percentual de abertura de janelas com e sem desconto de caixilhos

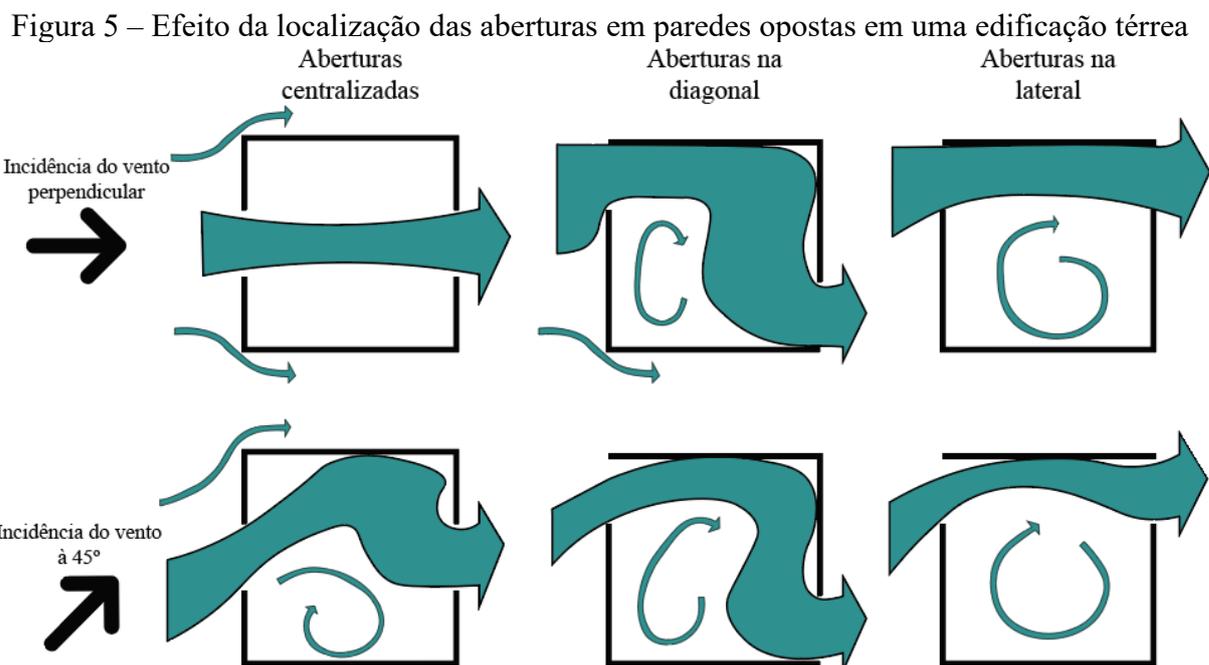
Tipo de Janela	Porcentual de abertura para ventilação natural - janelas com caixilhos	Porcentual de abertura para ventilação natural - janelas com desconto de caixilhos	Diferença em pontos porcentual entre janelas com e sem caixilhos
Guilhotina dupla (2 folhas móveis e 1 fixa)	50 %	40 %	10 %
De correr (ou deslizante) 2 folhas	50 %	45 %	5 %
Abrir 90° (ou de giro) 1 ou 2 folhas	100 %	90 %	10 %
Basculante (inclinação de 90°)	100 %	90%	10 %

Fonte: Adaptado de BRASIL (2012)

Além do mecanismo de abertura, é relevante admitir a possibilidade de controle da janela, particularmente em regiões de clima com muita variação de temperatura, de modo que os ocupantes do espaço tenham autonomia na regulação da esquadria, abrindo parcial ou totalmente de acordo com suas necessidades e condições climáticas externas (ROETZEL *et al.*, 2010; TIBÚRCIO, 2017). No caso de janelas para o período frio do ano, Heiselberg, Svidt e Nielsen (2001) reforçam que as tipologias com possibilidade de abertura na parte superior

da esquadria podem fornecer distribuição interna do ar sem atingir a zona ocupada pelos usuários. Além disso, a velocidade do ar será baixa, de maneira que reduzirá desconfortos térmicos dos ocupantes ao mesmo tempo que permitirá a renovação do ar do ambiente.

Outro fator importante que impacta no desempenho da ventilação natural interna é quanto à localização das aberturas no ambiente. Conforme Evans (1983, *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010), analisar onde situar as aberturas de entrada do ar se mostra como uma eficiente estratégia na definição da direção do fluxo de ar no ambiente interno, bem como nos campos de pressão produzidos próximos às aberturas. Na figura 5, é possível notar a influência do ângulo de incidência do vento na face a barlavento e a localização das aberturas no ambiente, onde a condição em que as aberturas estão situadas diagonalmente apresentam maior varredura do fluxo de ar no espaço interno. Vale destacar que a configuração da abertura dependerá também da função do ambiente e distribuição dos móveis no espaço, uma vez que a situação em que as aberturas se encontram lateralmente poderá ser a favorável em determinada necessidade projetual e, desfavorável em outros casos.

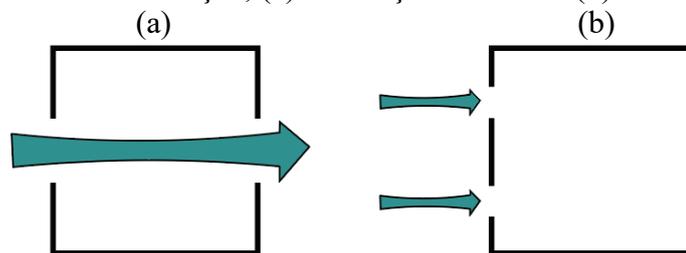


Fonte: Adaptado de Givoni (1976, *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010)

Nesse contexto, é necessário prever a função do ambiente e conseqüentemente a posição do usuário dentro do espaço, de modo que a localização da abertura esteja no local de permanência do usuário, ou seja, averiguar se as atividades do ocupante serão desempenhadas frequentemente em pé, sentado (como em salas de aula, sala de estar e jantar), deitado (no caso de quartos), com o propósito de contribuir no conforto térmico das pessoas a partir da configuração das aberturas (TIBÚRCIO, 2017).

Dentre as condicionantes relacionadas à ventilação natural, deve-se recordar também do modo de ventilação, que se classifica em: ventilação cruzada e ventilação unilateral (figura 6). A primeira se refere às aberturas localizadas em diferentes paredes (opostas ou adjacentes) uma à outra, o que permite que o ar cruze o ambiente. Em contrapartida, a ventilação unilateral possui aberturas em apenas uma face, limitando a circulação de ar no espaço. Ressalta-se que a ventilação cruzada tem melhor probabilidade de fornecer maior taxa de ar de ar no ambiente interno do que a ventilação unilateral (ZHAI; MANKIBI; ZOUBIR, 2015; PAN *et al.*, 2019).

Figura 6 – Modos de ventilação, (a) ventilação cruzada e (b) ventilação unilateral



Fonte: Adaptado de Rossi (2016)

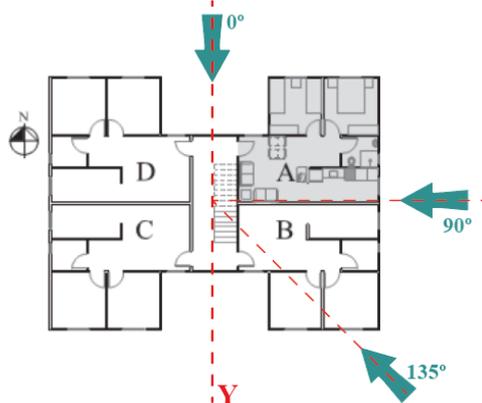
Omrani *et al.* (2017) reforçam que o modo de ventilação é um dos principais fatores que afetam o desempenho da ventilação natural bem como o conforto térmico dos usuários. Em sua pesquisa, os autores analisaram o efeito do modo de ventilação natural no conforto térmico dos ocupantes e no desempenho da ventilação natural de um apartamento localizado no quinto pavimento de uma edificação residencial de 36 andares localizada na cidade de Brisbane, na Austrália. O estudo utilizou medições *in loco* em escala real para identificar as condições térmicas do ambiente por meio de modelos de conforto como o Voto Médio Previsto (PMV) e Temperatura Efetiva Padrão. Integrado a essa etapa, foram investigados a relação entre a velocidade do vento de referência, fluxo e distribuição do ar no ambiente interno e o efeito da direção do vento para a ventilação cruzada e unilateral. Os autores constataram que quando aplicada a ventilação cruzada, mais de 70% do tempo as condições térmicas internas se encontravam dentro da zona de conforto. Entretanto, na condição de ventilação unilateral, apenas 1% do tempo se apresentava dentro da zona. No que se refere à distribuição do fluxo de ar interno, percebeu-se que a proporção da velocidade do ar foi duas a quatro vezes superior para a situação de ventilação cruzada, quando comparada com o modo de ventilação unilateral. Outro aspecto averiguado se deu quanto à velocidade do ar interno, que sofria influência de acordo com a direção do vento de referência, uma vez que a velocidade mais alta ocorria quando o vento incidia perpendicular às aberturas. Em contraponto, a velocidade era mínima quando o vento incidia de forma paralela às aberturas.

Diante dos aspectos encontrados, os autores identificaram que no estudo de caso analisado, a ventilação cruzada apresentou melhor desempenho.

Conforme Tibúrcio (2017), a ventilação cruzada é um aspecto que poucas vezes não é evidenciado nos projetos arquitetônicos pelos profissionais, visto que podem ter disponível apenas uma parede destinada à abertura de entrada de ar, onde a porta se comporta como a abertura de saída de ar. Essa condição pode limitar a ventilação cruzada do ambiente para os horários em que o ocupante estiver com a porta aberta. Diante disso, é relevante analisar o impacto da porosidade das portas internas (porta aberta, porta com bandeira e porta com elemento de abertura em sua parte inferior), uma vez que manter a porta fechada oferece privacidade ao usuário ao mesmo tempo que permite circulação de ar no espaço.

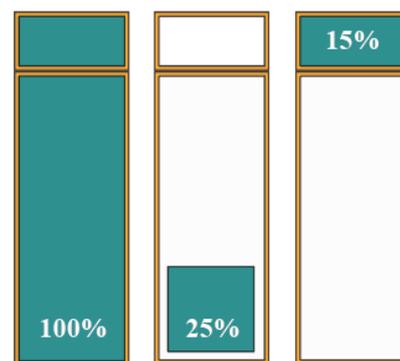
Diante disso, esse impacto foi verificado por Tibúrcio e Bittencourt (2019), onde analisou-se a influência da porosidade das portas internas no desempenho da ventilação natural em uma edificação residencial multifamiliar representativa (figura 7) dentre as tipologias existentes no Brasil. Por meio da figura 8, observa-se as porosidades das portas internas estudadas em relação à área total da porta: 100% de porosidade (porta aberta e bandeira aberta), 25% de porosidade (venezianas situadas na parte inferior da porta), e 15% de porosidade (apenas a bandeira aberta). Além da porosidade das portas internas, considerou-se três ângulos de incidência dos ventos (0° , 90° e 135° - figura 8) sobre a face da edificação.

Figura 7 – Modelo e ângulos de incidência analisados em relação ao eixo Y



Fonte: Adaptado de Tibúrcio e Bittencourt (2019)

Figura 8 – Diferentes porosidades das portas internas



Fonte: Adaptado de Tibúrcio e Bittencourt (2019)

A metodologia dos autores baseou-se em estudo paramétrico por meio de simulações computacionais com o programa PHOENICS VR 3.6.1. Em etapa posterior, realizou-se análise comparativa dos modelos com diferentes configurações, a fim de avaliar qualitativa e quantitativamente o impacto dos parâmetros estudados no desempenho da ventilação natural. Como resultado, os autores constataram que os valores de velocidade de ar se apresentaram maiores no caso com porosidade de 100% da porta, em comparação com aqueles de 15% e 25% de

porosidade. Fato evidenciado, uma vez que uma maior abertura permitiu mais passagem de ar. Ademais, em relação ao ângulo de incidência dos ventos, verificou-se que a distribuição do ar se apresentou mais uniforme na parte interna dos apartamentos quando incidido a 135°. Os resultados demonstraram a relevância da configuração das aberturas na distribuição do ar interno, e que além dos aspectos analisados na pesquisa, outros fatores também devem ser levados em consideração no estudo do desempenho da ventilação natural, como o dimensionamento da abertura, localização, relação entre área de abertura e saída de ar, dentre outros.

Elshafei *et al.* (2017) reforçam que as alterações referentes às aberturas podem contribuir no conforto térmico dos usuários no ambiente interno. Em sua pesquisa, os autores realizaram avaliações experimentais e numéricas por meio de simulações em CFD e medições *in loco* (para validação das simulações) em apartamentos do campus da Universidade de Ciência e Tecnologia Egito-Japão, localizados em New Borg El-Arab, Alexandria, Egito, para analisar a influência da ventilação natural no conforto térmico em edificações residenciais. Os resultados demonstraram condições de desconforto térmico em decorrência da falta de circulação de ar no ambiente por conta da geometria da edificação. Diante disso, os resultados exprimem a demanda por alterações de projeto nas aberturas (dimensão da janela, inclusão de janela e cortina) de modo a contribuir no conforto térmico dos ocupantes. Acrescenta-se ainda que, após a aplicação das modificações dos parâmetros identificados, houve redução na temperatura do ar em 2,5% e aumento na velocidade do ar em até seis vezes.

2.1.2. Ventilação natural em Habitação de Interesse Social

Por volta da década de 30 do século XX, ocorreu no Brasil a crise da habitação social e, a partir desse momento teve início um sucessivo processo de separação social-urbano que refletiu no déficit habitacional que é presente até hoje. Para suprir a demanda habitacional, os meios utilizados pelas empresas construtoras são focados na redução de custos, além de atender apenas os requisitos mínimos das necessidades dos usuários, o que prejudica a qualidade das edificações (BAIARDI, 2006; MARROQUIM, 2017).

A construção de moradias foi realizada por meio de programas criados pelo Ministério das Cidades, como por exemplo, as Habitações de Interesse Social do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Entretanto, visando reduzir os custos envolvidos, essas habitações populares não apresentam qualidade desejável, sendo verificado desde o período burocrático-militar no Brasil, do qual Baiardi (2006, p. 01) discorre que há:

[...] uma excessiva padronização das unidades habitacionais, baixa qualidade arquitetônica e metragem quadrada reduzida ao mínimo, com pouca

eficiência e nenhuma identidade. O conforto térmico-acústico é ruim e desempenho dos materiais a desejar. Os empreendimentos dessa época são em geral, uma agressão ambiental e urbanística.

Morais e Labaki (2017) afirmam que outro aspecto significativo do projeto de HIS é a desconsideração do clima onde a habitação será implantada, e que apesar do conhecimento das particularidades regionais do Brasil, os projetos são replicados em diferentes locais independente do contexto climático. A implantação aleatória da UH no lote reflete na deficiência de iluminação e ventilação natural, uma vez que uma implantação mais eficaz resultaria no melhor aproveitamento dessas estratégias passivas. Então, quando esses fatores não são levados em conta, as questões relacionadas à salubridade do ambiente, conforto térmico do usuário e aumento no consumo de energia são agravados. Santesso *et al.* (2017) ressaltam que aproveitar essas estratégias é de suma importância na etapa inicial do projeto da habitação, devido aos seus benefícios ambientais, sociais e econômicos.

A ventilação natural interna por ação dos ventos em três edifícios multifamiliares do PMCMV de Campinas - SP, foi analisada por Moraes e Labaki (2017), onde verificaram, por meio de simulação em CFD, o desempenho da ventilação natural a partir da incidência de três ângulos de incidência dos ventos, 0°, 90° e 135°. Para o estudo, foram consideradas todas as aberturas efetivas das edificações, exceto a porta de entrada do apartamento. As autoras concluíram que a implantação oblíqua ou diagonal da edificação no lote em função dos ventos dominantes influenciou em melhores resultados em relação às velocidades médias internas das tipologias analisadas. Além disso, evidenciaram que a padronização das unidades compromete a ventilação natural, posto que se o projeto dos apartamentos fosse planejado de maneira mais independente no que se refere ao posicionamento e quantidade de aberturas, haveria maior probabilidade de melhor distribuição do fluxo de ar interno.

Bach e Veiga (2020) identificaram em seu estudo os fatores que influenciam na habitabilidade das habitações de famílias de baixa renda que são atendidas pelo Serviço de Assistência à Construção Civil (SAsCC) no Rio Grande do Sul - RS. Os autores relatam que os maiores problemas encontrados em HIS são devido ao uso deficiente de estratégias passivas como a ventilação e iluminação natural são quanto ao surgimento de mofo e umidade, que podem comprometer tanto a estrutura da edificação quanto a saúde dos ocupantes. Apresentam ainda que outras adversidades são decorrentes da degradação dos materiais de construção da habitação em função do tempo de uso sem a presença de manutenções e/ou reformas. Para a obtenção desses resultados, os autores desenvolveram uma pesquisa através de análise documental, visitas em campo, e utilização de metodologias de

avaliação de pós ocupação com entrevistas e questionários que apresentavam parâmetros de satisfação das pessoas, eficiência energética e estágio de debilidade das edificações.

Em relação aos aspectos que influenciam a ventilação natural e seus parâmetros intrínsecos em habitações, Santos, Carvalho e Batista (2019), analisaram o desempenho térmico de HIS localizadas em Maceió – AL, com ênfase nos fatores relacionados à ventilação natural, levando em conta o padrão de uso das edificações e as particularidades construtivas originais e posteriores às reformas. Os autores elegeram a UH que apresentava maior descaracterização para empregarem a avaliação prescritiva para o desempenho térmico, e para realizarem estudos do escoamento do fluxo do ar através de ensaios analógicos no equipamento mesa d'água. Por meio das análises, e em relação à ventilação natural, foram averiguados fatores que prejudicam a ventilação natural no estudo de caso, tais como: escolha das aberturas em dimensões reduzidas; posicionamento de aberturas uma frente à outra, provocando menor percurso do vento no ambiente e menor taxa de renovação do ar; e ventilação cruzada dependente da abertura das portas internas. Acrescenta-se que, a presença de profissionais que possuem conhecimento técnico acerca do conforto ambiental no desenvolvimento de reformas contribuiria em soluções mais satisfatórias aos usuários do ambiente.

Diante do exposto, é importante realizar a previsão do desempenho da ventilação natural, visto que se trata de um elemento primordial para potencializar a eficiência de projeto em relação à distribuição de ar no ambiente interno. Desse modo, a análise prévia dessa estratégia pode identificar problemas que impactam no escoamento do ar para que sejam avaliadas possíveis soluções para esses problemas (MORAIS; LABAKI, 2017).

2.1.3. Avaliação qualitativa do desempenho da ventilação natural em edificações

O desempenho da ventilação natural nos espaços internos pode ser analisado através de muitos meios, dentre eles está a utilização de *softwares* para simulações computacionais, que empregam o *Computer Fluid Dynamics* (Dinâmica dos Fluidos Computacional – CFD), e por meio de experimentos que podem ser realizados em equipamentos como o túnel de vento e a mesa d'água. Dessa forma, é possível compreender a distribuição do fluxo de ar interno e externo para analisar o que poderia ser ajustado no projeto arquitetônico, de modo a auxiliar no planejamento (fase inicial) e desenvolvimento projetual (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Além das ferramentas supracitadas, pesquisas recentes como de Almeida *et al.* (2020) analisaram o uso de aplicativo virtual (*Wind tunnel free*) para estudo da ventilação natural em ambientes internos. Os autores discorrem que o aplicativo é uma alternativa de avaliar essa

estratégia bioclimática ainda na fase de início projetual, uma vez que o dispositivo possui fácil acesso e apresenta plataforma intuitiva. Contudo, é indicado que o aplicativo seja utilizado de maneira racional uma vez que o mesmo possui limitações, tais como, a impossibilidade de inserção de velocidade do fluido e desconsidera a altura das aberturas e entorno.

Ressalta-se que as ferramentas apresentadas possuem limitações, as quais apresentam vantagens e desvantagens, e a escolha de uma ou outra dependerá do objetivo da pesquisa, conhecimento do pesquisador sobre os meios que serão utilizados, além dos recursos disponíveis para alcançar o propósito do trabalho (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2010).

Em relação às simulações computacionais em CFD, Chen (2004) evidenciam o seu potencial na avaliação qualitativa e quantitativa do escoamento do ar nos ambientes, entretanto, é demandado conhecimento específico sobre a mecânica dos fluidos para utilizá-lo, bem como um computador que apresente alta capacidade de processamento e memória. Os fatores de demanda de uso não tornam o CFD uma ferramenta acessível para em etapas iniciais de projeto.

No que concerne ao túnel de vento, Bittencourt e Cândido (2010) relatam que é um meio preciso de avaliação da ventilação natural no espaço construído, embora necessite, para sua construção, um amplo ambiente físico, equipamentos específicos e mão de obra especializada no manuseio, o que o torna pouco acessível. Lukiantchuki (2015) acrescenta que com o equipamento há possibilidade de produzir verificações qualitativas e quantitativas, além de possuir confiabilidade em pesquisas relacionadas à ventilação natural tanto em edificações quanto no meio urbano, sendo de grande relevância ao projetista na etapa de concepção projetual, embora o equipamento esteja presente apenas em laboratórios especializados.

Em relação à mesa d'água, esta é uma ferramenta simplificada que permite visualizar o fluxo de ar em modelos físicos reduzidos, e fundamenta-se nos princípios de que a água e o ar apresentam a dinâmica dos fluidos semelhantes, embora possuam densidade e viscosidade diferentes. O equipamento mostra-se acessível, com baixo custo e didático para análise qualitativa da ventilação natural em edificações tanto para pesquisa quanto para o ensino e será melhor detalhado no item 2.1.3.1.

Dentre as ferramentas mencionadas, este trabalho tratará especificamente da mesa d'água como meio para realização dos ensaios, visto que é a ferramenta mais acessível ao conhecimento específico da pesquisadora e do manuseio durante seu uso, quando comparada com as ferramentas apresentadas (CFD e túnel de vento). Ademais, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) possui o equipamento no Laboratório de Conforto Ambiental no

departamento de Arquitetura e Urbanismo, o que corrobora na escolha da mesa d'água para o desenvolvimento do trabalho.

Além das ferramentas supracitadas há também o Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural pela Ação do Vento (MASQ – Vento) e a Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural (MAM – VN), ambos desenvolvidos por Toledo (2006) e que foram utilizadas na presente pesquisa juntamente com o equipamento mesa d'água, apresentados a seguir.

2.1.3.1. O equipamento mesa d'água

A preferência pelo uso da mesa d'água no presente estudo (figura 9) deve-se ao fácil manuseio e manutenção do equipamento, além da visualização imediata do escoamento do fluxo, reprodução satisfatória de seus movimentos do fluido, bem como facilidade de uso da ferramenta por estudantes e profissionais. Royan e Vaidya (2020) reforçam que a mesa d'água é acessível para visualização do escoamento do ar, sendo um meio para avaliação qualitativa da ventilação natural, além de ser um equipamento alternativo em relação às ferramentas analíticas como modelagem em CFD.

Figura 9 – Mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental do departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC



Fonte: Autora (2021)

O equipamento permite apenas análise bidimensional do fenômeno tridimensional que é a ventilação natural (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2010; SILVA; SALAZAR, 2019; TOLEDO; PEREIRA, 2003). Além da análise bidimensional da ventilação natural, o equipamento possui outras limitações como, inviabilidade de quantificar grandezas relacionadas à dinâmica dos fluidos (velocidades, coeficientes de pressão etc.) e inviabilidade de avaliar a ventilação natural por diferença de temperatura. Apesar dessas limitações, a ferramenta é satisfatória quanto à análise qualitativa da ventilação natural em edificações,

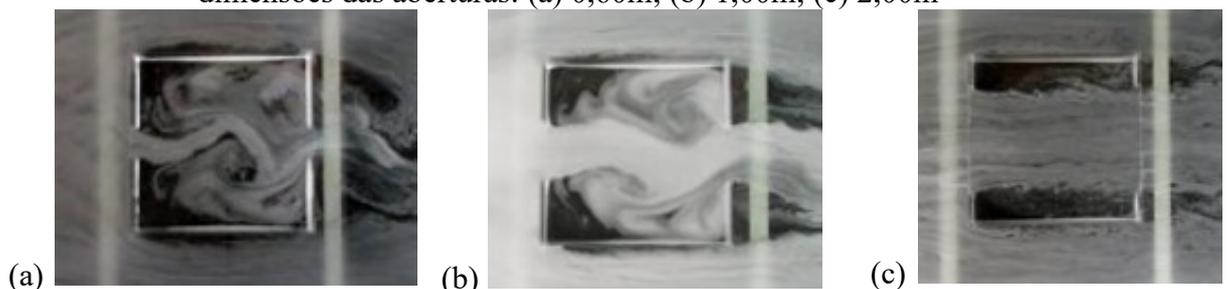
sendo possível estudar aspectos como implantação, orientação, volumes propostos, dimensionamento e posicionamento de aberturas, dentre outros (ROLIM, 2019).

Esse equipamento possibilita visualizar o comportamento do fluxo de ar nas partes internas e externas de determinada edificação. Esse fluxo de ar é representado pelo escoamento de água, onde esta se encontra misturada com um indicador (detergente para gerar contraste) para formação de espuma que permite visualizar bidimensionalmente o comportamento do fluido nas maquetes (modelo físico reduzido) situado no plano de ensaio da mesa d'água.

Com isso, é possível analisar qualitativamente a ventilação natural por meio da observação da distribuição do escoamento do fluido interno e passagem do mesmo pelas aberturas de entrada e saída de ar (TOLEDO; PEREIRA, 2003; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

A análise qualitativa da ventilação natural em mesa d'água, foi verificada na pesquisa de Rossi *et al.* (2019). As autoras demonstraram o potencial de uso do equipamento como uma opção viável de análise da ventilação natural e sua influência nos parâmetros edilícios, bem como na orientação de decisões projetuais na fase inicial. A pesquisa auxiliou, dentre outros fatores, na decisão do dimensionamento das aberturas. Na figura 10 estão apresentados alguns dos resultados obtidos nos experimentos realizados, onde analisou-se a influência das dimensões das aberturas na distribuição do fluxo de ar no ambiente interno a partir da incidência do vento perpendicular à parede a barlavento. Na figura 10 os modelos apresentam aberturas de entrada e saída de mesma dimensão. É notável a variação do percurso do fluido no modelo, ressaltando que quanto menor a abertura, mais turbulenta se deu a movimentação do ar na parte interna do modelo (figuras 10a e 10b), e em contrapartida, quanto maior a abertura, mais laminar se caracterizou o escoamento (figura 10c). Considera-se que com outro ângulo de incidência do fluxo de ar sobre a superfície, o fluido poderia se comportar de maneira diferente, e conseqüentemente, alterar a distribuição do escoamento de ar interno.

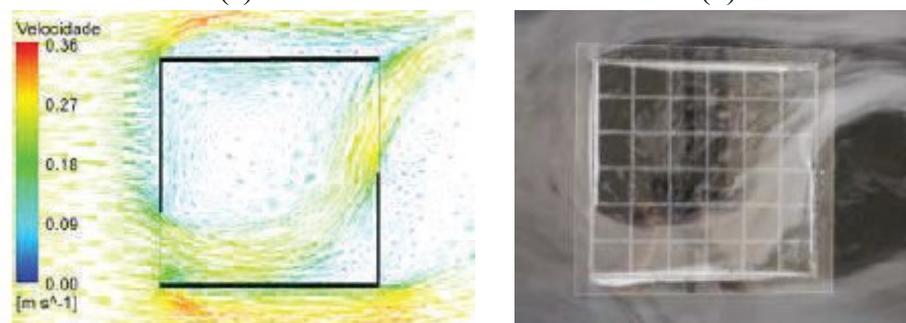
Figura 10 – Ensaio de modelos em planta baixa analisando o impacto da variação das dimensões das aberturas: (a) 0,60m; (b) 1,00m; (c) 2,00m



Fonte: Rossi *et al.* (2019)

Em outro teste realizado pelos autores (figura 13), verifica maior semelhança no comportamento do fluxo do fluido interno nas ferramentas comparadas. O modelo 3 observado na figura 13 apresenta aberturas localizadas em paredes opostas e posicionadas diagonalmente. Além disso, o vão de entrada de ar é $1/3$ da extensão da parede, enquanto a abertura de saída de ar é $1/2$, ou seja, a abertura de entrada de ar é menor do que a de saída do fluido.

Figura 13 – Escoamento de fluídos dentro do modelo 3 da figura 12: (a) simulação computacional com CFD; (b) experimento na mesa d'água



Fonte: Gularte *et al.* (2018)

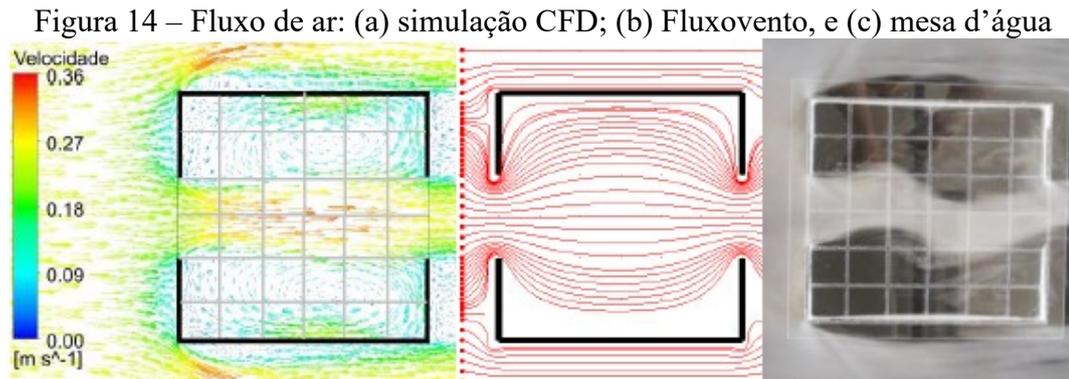
Em virtude das visualizações e análises realizadas, os autores concluíram que o tamanho e posição das aberturas são importantes para o desempenho da ventilação natural no ambiente interno. Ademais, as duas ferramentas apresentaram resultados semelhantes e satisfatórios quanto ao escoamento do fluido dentro do modelo, o que permitiu atestar características de escoamento do ar com turbulência, zonas de pressão positiva e negativa e áreas com acréscimo de velocidade ocasionado pelo efeito Venturi¹.

Evidencia-se também que tanto os resultados experimentais quanto os numéricos permitem grau de confiança diante das características de escoamento na mesa d'água. Dessa forma, a comparação das simulações em CFD com os ensaios na mesa d'água validam a eficácia do equipamento para análise qualitativa da ventilação natural.

Pesquisa semelhante que também valida o uso do equipamento, além de analisar o fluxo de ar interno nos ambientes, pode ser verificada em Xavier *et al.* (2020), que realizaram as visualizações da ventilação natural por meio de ferramentas simplificadas (simulação computacional no *software* Fluxovento e experimentos na mesa d'água) comparadas com

¹ Baseia-se no princípio de Bernoulli, onde descreve que a pressão do fluido aumenta à medida que sua velocidade reduz. Esse efeito ocorre quando o fluxo de ar tende a apresentar maior velocidade ao circular por passagens mais estreitas, gerando dessa maneira, uma pressão negativo no processo de passagem. (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

ferramentas mais complexas e confiáveis (CFD por meio do *software* CFX), como observa-se em um dos casos analisados exposto na figura 14, onde as aberturas de entrada e saída de ar são opostas e uma frente à outra com 1/3 de dimensão em relação à extensão da parede. Os autores discorrem que o modelo da figura 14 apresenta maiores taxas de ventilação, em especial na zona central de maior expressividade do fluxo de ar, contudo, atinge de forma reduzida as áreas laterais do ambiente.



Fonte: Gularte *et al.* (2018)

O trabalho de Xavier *et al.* (2020), averigua se as ferramentas simplificadas demonstram confiabilidade do escoamento do ar nos projetos de arquitetura. Os resultados evidenciaram que houve compatibilidade entre as simulações CFD e os ensaios realizados na mesa d'água, e demonstrou que a utilização dessa ferramenta é acessível ao ensino inicial e entendimentos dos princípios fundamentais sobre ventilação natural em modelos simples, sem necessitar da complexidade do CFD. Contudo, no caso do Fluxovento, obteve-se diferenças consideráveis e que podem provocar dificuldade na compreensão da ventilação natural. Os autores ressaltam ainda que em modelos que exijam maior detalhamento da utilização da ventilação natural com estratégia passiva, é importante o uso de meios mais complexos, como simulações em CFD para obter informações precisas sobre determinada edificação. Destaca-se que a precisão de simulações em CFD já foi validada por diversas pesquisas, como na de Elshafei *et al.* (2017) apresentada anteriormente no item 2.1.1, onde as simulações computacionais foram validadas por meio de medições em campo.

Em relação ao material utilizado para produção de modelos físicos reduzidos, observou-se que nos trabalhos de Rossi *et al.* (2018), Gularte *et al.* (2018) e Xavier *et al.* (2020) foi adotado o acrílico transparente de 2mm cortado a laser. O corte das peças realizado a laser possibilita grau de precisão à produção da maquete e, de acordo com Xavier *et al.* (2020) o material facilita a visualização do escoamento do fluido, é resistente e impermeável. Além disso, os trabalhos apresentados consideraram o regime de escoamento laminar com direção permanente como adotado por Toledo e Pereira (2003).

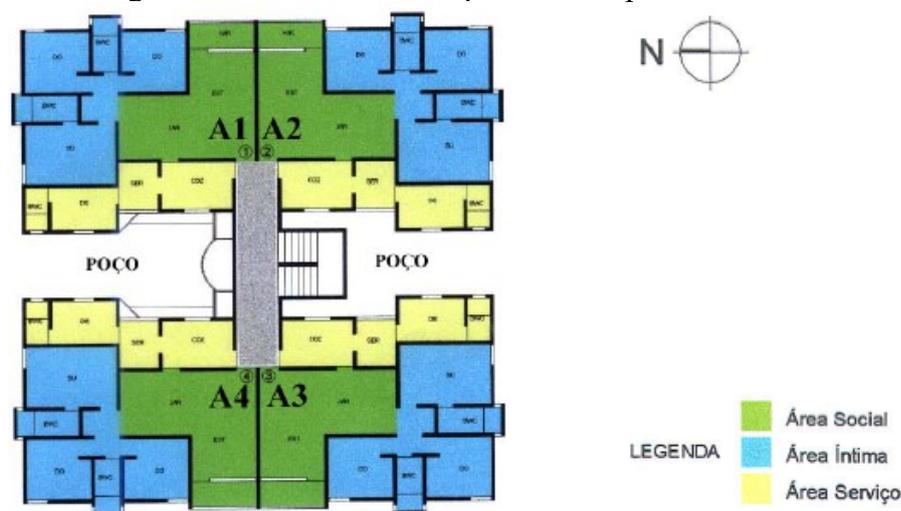
2.1.3.2. Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural pela Ação do Vento (MASQ – VENTO)

Esse método de avaliar o desempenho da ventilação natural pela ação do vento em edificações foi desenvolvido por Toledo (2006). A análise simplificada do método leva em consideração somente o fluxo bidimensional e o regime de escoamento externo laminar e permanente. Já a parte qualitativa do método se refere à ausência de medições, ou seja, não são medidos nem estimados valores relacionados às vazões ou velocidades do ar. O método divide-se em dois sistemas de análise: o sistema fixo (refere-se aos atributos geométricos da edificação e seus componentes) e o sistema dinâmico (diz respeito à maneira como o fluxo de ar se comporta no interior e exterior da edificação analisada por ação do vento).

2.1.3.2.1. Sistema fixo

Relacionado com as particularidades geométricas da edificação (tipológicas), bem como de seus componentes, ou seja, sistema que corresponde à análise das características referentes principalmente às aberturas: (1) tipo – janela, porta e passagem; (2) orientação solar das aberturas externas – norte, sul, leste e oeste; (3) dimensão relativa em relação à largura da parede onde estão situadas, podendo ser grande (maior que 2/3), média (maior que 1/3 e até 2/3) e pequena (até 1/3); (4) posição relativa referente às aberturas internas próximas – diagonal, centralizada e lateral; e (5) localização relativa das aberturas externas e internas em paredes opostas ou adjacentes. Na figura 15 está exposto um dos quatro edifícios analisados (edifício 1) localizados em Maceió – AL, onde A representa o apartamento com seu respectivo número para facilitar a identificação (TOLEDO, 2006).

Figura 15 – Planta baixa do pavimento tipo do edifício 1



Fonte: Toledo (2006)

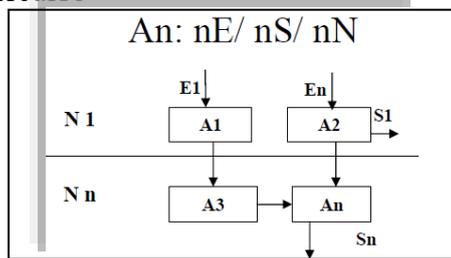
O autor constatou que em relação ao sistema fixo de aberturas nos quatro apartamentos do edifício 1 diferenciam-se somente na orientação solar das aberturas externas, uma vez que os apartamentos são iguais. No total, são 10 aberturas internas (1 passagem e 9 portas), e 13 aberturas externas (1 porta e 12 janelas), onde as aberturas dos quartos e da sala de estar/jantar estão voltadas para a mesma orientação, à leste no A1 e A2 e à oeste no A3 e A4; a abertura da suíte está à norte em A1 e A4 e sul em A2 e A3; janelas da cozinha, área de serviço, dormitório empregada e banheiro de serviço estão voltados para os poços abertos. No que se refere às outras características analisadas das aberturas, como exemplo, o setor íntimo possui as portas internas dos quartos e suíte localizadas em paredes adjacentes e posicionadas na diagonal em relação às janelas dos respectivos ambientes.

Por meio dessa análise realizada tanto no edifício 1 quanto nos demais edifícios e apartamentos da pesquisa de Toledo (2006), o autor identificou as semelhanças e divergências entre as quatro edificações diante dos aspectos supracitados, visto que a verificação das aberturas quanto à sua orientação, quantidade e posicionamento mostra-se como uma etapa fundamental no estudo do fluxo de ar nos ambientes internos e externos.

2.1.3.2.2. Sistema dinâmico

Consiste no comportamento do fluxo de ar no exterior e interior da edificação analisada por ação do vento, ou seja, é constituído pela (1) identificação das aberturas de entrada e saída de ar; (2) pelos níveis de percurso, isto é, por quantos e quais ambientes o ar percorre; e (3) pela abrangência do escoamento, onde a área do fluido é calculada no *software* Autodesk AutoCAD e classificada em muito ampla - superior a 80% da área de piso, ampla - entre 60 e 80%, média - entre 40 e 60%, restrita - entre 20 e 40% e muito restrita - inferior a 20%; e (4) velocidade do escoamento, identificada através de filmagens e categorizada em muito acelerada, acelerada, normal (quando semelhante à velocidade externa), lenta e muito lenta. A determinação do sistema dinâmico se deu conforme a análise das aberturas externas de entrada (E) e de saída (S), níveis de percurso (N) e de ramais (R) realizada para cada direção de vento. Para tanto, desenvolveram-se ferramentas gráficas, como os Diagramas de Níveis de Percurso (DNP), figura 16, e Diagramas de Séries e Paralelos (DSP), figura 17. Este último sucede do DNP e trata do escoamento do fluxo pelos ambientes (TOLEDO, 2006).

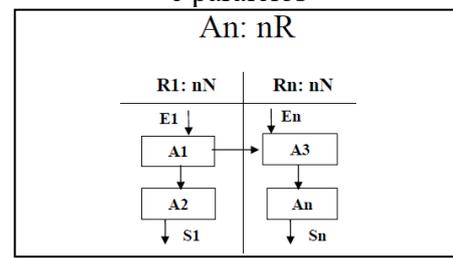
Figura 16 – Diagrama esquemático de níveis e de percurso



A – Apartamento | E – entrada | S – saída | N – níveis de percurso

Fonte: Toledo (2006)

Figura 17 – Diagrama esquemático de séries e paralelos

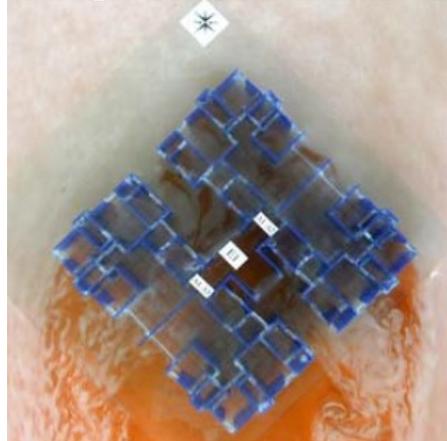


A – Apartamento | E – entrada | S – saída | R – ramal | N – níveis de percurso

Fonte: Toledo (2006)

Através da figura 18 observa-se um dos ensaios na mesa d'água realizados por Toledo (2006). Esse experimento demonstra o escoamento do fluxo de ar dentro dos ambientes do edifício 1 quando o vento incidente na face a barlavento está à nordeste. Os resultados certificam que a distribuição do ar passa por todos os espaços da edificação, entretanto, o apartamento 3 situado a sotavento depende que as aberturas do apartamento 2 estejam livres para passagem de ar. O autor evidencia que apesar do apartamento 1 situar-se a barlavento, o escoamento do fluido se mostrou inferior quando comparado aos apartamentos 2 e 4.

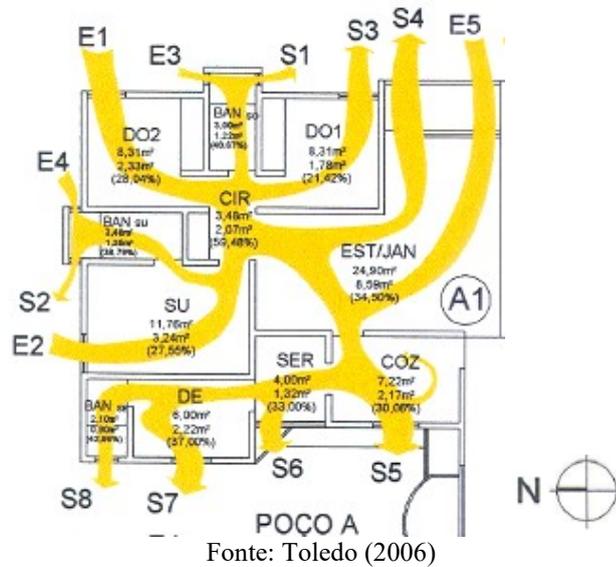
Figura 18 – Ensaio na mesa d'água com escoamento na direção nordeste no edifício 1



Fonte: Toledo (2006)

Dentre os quatro apartamentos presentes no edifício 1, escolheu-se o apartamento 1 para demonstração do método e análise dos resultados. Por meio da figura 19 verificou-se que diante da condição de ventos incidentes à nordeste o referido apartamento apresentou cinco entradas de ar (5E), sendo três a barlavento (DO₂, SU e EST/JAN) e duas laterais/barlavento (BAN_{SO} e BAN_{SU}); e oito saídas de ar (8S), referentes a duas saídas a barlavento (DO₁ e EST/JAN) - algo caracterizado como inesperado pelo autor - duas laterais/barlavento (BAN_{SO} e BAN_{SU}) e quatro pelo poço A (COZ, SER, DE e BAN_{SE}).

Figura 19 – Esquema de escoamento no apartamento 1 do edifício 1



No que concerne à abrangência do escoamento, o autor evidenciou circunstâncias inesperadas. Os banheiros social e de serviço apresentaram abrangência do escoamento média, ou seja, superior aos outros ambientes que foram classificados com abrangência restrita. Em relação à velocidade do fluxo, esta foi identificada como lenta nos espaços da sala de estar/jantar, dormitório 2, banheiro social, cozinha, área de serviço e dependência da empregada; e muito lenta no dormitório 1, suíte, banheiros da suíte e área de serviço. Além disso, os DNP e DSP do apartamento 1 estão expostos nas figuras 20 e 21, onde pode-se analisar os níveis de percurso de escoamento ar entre os ambientes.

Figura 20 – Diagrama de níveis de percurso do apartamento 1 do edifício 1 na direção NE

A1: 5E/ 8S/ 5N

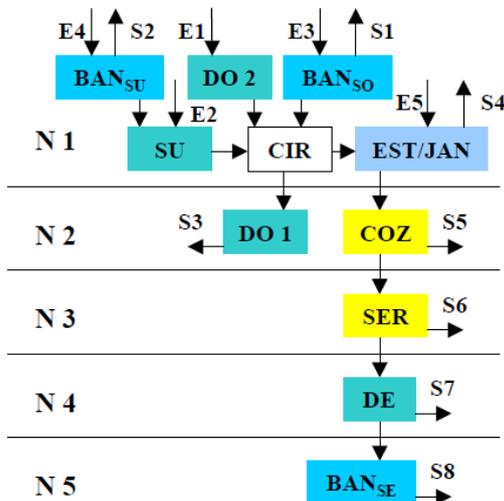
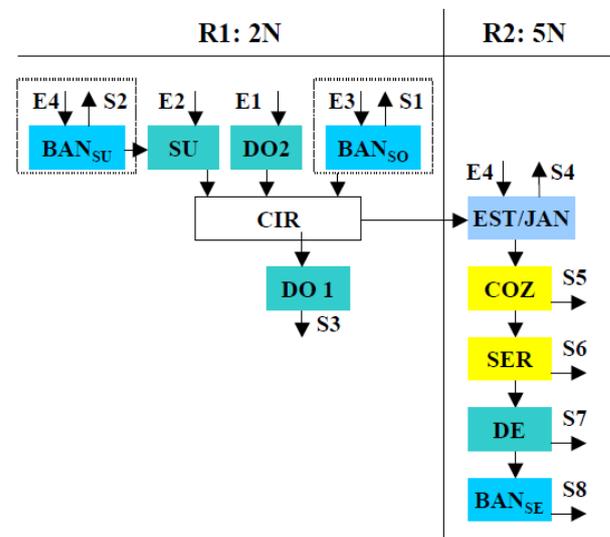


Figura 21 – Diagrama de séries e paralelos do apartamento 1 do edifício 1 na direção NE

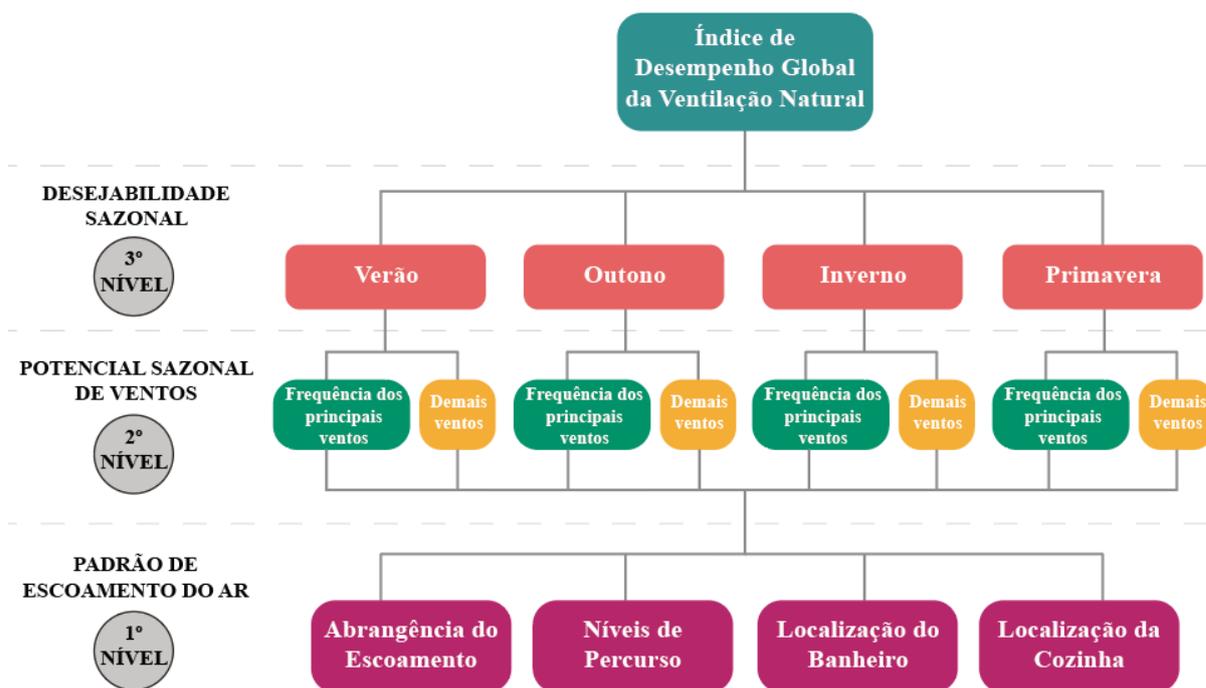
A1: 2R



2.1.3.3. Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural (MAM - VN)

A segunda maneira de avaliação do desempenho da ventilação natural, e complementar ao MASQ-VENTO, diz respeito à Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural (MAM - VN), fundamentada nas metodologias multicritérios de apoio à decisão (ENSSLIN *et al.*, 2001, apud, TOLEDO, 2006) e na METOBIO elaborada por Oliveira (1993, apud, TOLEDO, 2006). Por meio da figura 22, observa-se as três etapas de análise dessa metodologia: (1) padrão de escoamento do ar; (2) potencial sazonal dos ventos; e (3) desejabilidade sazonal da ventilação natural. Após a verificação desses três níveis, obtém-se como resultado o Índice de Desempenho Global da Ventilação Natural (IDG-VN), que é dividido em índices parciais de direção de vento (IDP-Vento) e de estação (IDP-Estação). Os valores desses índices são alcançados por meio do uso de planilhas eletrônicas presentes nos anexos A e B. O autor ressalta que as planilhas apresentam boa viabilidade operacional e que os índices foram muito úteis nas comparações entre seus objetos de estudo.

Figura 22 – Esquema da Metodologia de Avaliação Multicritérios da Ventilação Natural



Fonte: Adaptado de Toledo (2006)

2.1.3.3.1. Padrão de escoamento de ar nos ambientes internos

O primeiro nível descreve o padrão de escoamento do ar sugerido ao uso residencial, o qual possui quatro classes de avaliação: abrangência do escoamento, níveis de percurso e localização de banheiros e cozinha.

Para o estabelecimento desses critérios de análise, Toledo (2006) caracterizou uma situação ideal no padrão de escoamento do ar para uso em residências, mas isso como base em

suas pesquisas bibliográficas relacionadas à temática. A situação ideal é aquela em que apresenta três aspectos: (1) o escoamento de ar compreende a maior área dos ambientes; (2) existem poucos níveis de percursos internos do fluxo de ar; e (3) localização da cozinha e banheiros devem possuir sistemas de ventilação (natural ou mecânico) independentes, ou estarem localizados nas zonas de saída do ar. Diante disso, foram atribuídos pesos de acordo com o grau de impacto desses fatores: 40% para abrangência do escoamento; 25% em níveis de percurso; 20% para localização dos banheiros e 15% para localização da cozinha. O autor ressalta que as quatro categorias de análise possuem sete Níveis de Impacto (NI). Além disso, cada NI possui uma Função de Valor (FV) de pontuação direta. Evidencia-se que a FV apresenta duas escalas de pesos distintos: uma para a abrangência do escoamento e níveis de percurso, e outra para a localização do banheiro e cozinha. Já nos outros níveis (2º e 3º), os valores são apenas ponderados.

2.1.3.3.2. Potencial sazonal dos ventos regionais

Esse segundo nível é formado pelos ventos que apresentam maior frequência em cada estação do ano, bem como a adição residual dos outros ventos com frequências menores. Para essa análise é necessário realizar ponderações entre os ventos mais frequentes por direção (que devem ser mais de 90% do total), com os ventos residuais (com frequência inferior a 10%).

Para tanto, Toledo (2006) selecionou os ventos de maior ocorrência anual, em seguida realizou a soma das ocorrências mensais para as oito orientações solares para então estabelecer o respectivo percentual de ocorrência relativa conforme os dados totais do ano. Posteriormente, o autor estabeleceu o percentual relativo de ocorrência dos ventos de acordo com os dados anuais, a fim de considerar os ventos de maior ocorrência a cada trimestre, onde calculou nova média de frequência dos ventos (desconsiderando épocas de vento calmo), que constituem as médias sazonais, conforme apresentado no quadro 2. Através da análise dos dados obtidos, observa-se que a frequência de ocorrência dos ventos no verão, por exemplo, foi parecida com a da primavera, apesar de apresentar pequena diferença percentual.

Quadro 2 – Frequência sazonal dos ventos da cidade de Maceió - AL

VERÃO												Total
DEZ	JAN	FEV	DEZ	JAN	FEV	DEZ	JAN	FEV	DEZ	JAN	FEV	
51,01	49,64	37,23	21,19	28,6	41,39	20,47	14,47	12,62	2,05	4,33	4,59	95,86
	Leste			Sudeste			Nordeste			Sul		4,14
	45,96			30,39			15,85			3,66		
OUTONO												Total
MAR	ABR	MAI	MAR	ABR	MAI	MAR	ABR	MAI	MAR	ABR	MAI	
34,20	38,38	40,03	15,54	26,84	36,92	32,28	19,26	11,17	7,01	5,2	2,1	89,64
		Sudeste		Sul			Leste			Nordeste		10,36
		37,54		26,43			20,90			4,77		
INVERNO												Total
JUN	JUL	AGO	JUN	JUL	AGO	JUN	JUL	AGO	JUN	JUL	AGO	
40,47	41,94	48,42	35,12	43,01	30,56	13,00	7,73	15,12	2,27	0,73	1,48	93,28
		Sudeste		Sul			Leste			Nordeste		6,72
		43,61		36,23			11,95			1,49		
PRIMAVERA												Total
SET	OUT	NOV	SET	OUT	NOV	SET	OUT	NOV	SET	OUT	NOV	
27,71	41,41	51,33	48,10	37,84	19,85	5,38	13,08	23,18	1,25	4,83	2,24	92,07
	Leste			Sudeste			Nordeste			Sul		7,93
	40,15			35,26			13,88			2,77		

Fonte: Toledo (2006)

2.1.3.3.3. Desejabilidade sazonal da ventilação natural

Conforme Toledo (2006), a utilização dessa estratégia passiva poderá ser desejável ou indesejável, ou seja, é desejável e necessária para promover a qualidade do ar interno, e pode ser tanto desejável quanto indesejável quando se refere as condições de conforto térmico e resfriamento da estrutura da edificação, em todas as situações as condições externas do ar devem estar propícias ao atendimento das funções da ventilação natural. Essas informações se assemelham aos princípios percorridos por Rivero (1986) quando aborda sobre as exigências higiênicas e térmicas de acordo com a estação do ano.

Para análise da desejabilidade sazonal da ventilação natural sugere-se averiguar dados de temperatura e umidade do ar de acordo com a estação do ano, além de utilizar o programa Analysis Bio para verificar o percentual dado a ventilação natural como estratégia passiva a ser considerada nos projetos. Dessa maneira, o autor considera faixas de temperatura com classificações diferentes: peso maior para temperaturas entre 29 e 32° C (ventilação prioritária para o conforto térmico); peso médio entre 27 e 29° C (favorece a evaporação do suor); e peso menor nas faixas de temperatura entre 23 e 25° C, e 20 a 22 ° C (auxilia na redução de umidade sobre os materiais de construção) (TOLEDO, 2006). Gao e Lee (2011) reforçam que a análise de dados meteorológicos deve ser considerada para avaliação do desempenho da ventilação natural, uma vez que esses dados podem sofrer alterações com o tempo.

No estudo de Toledo (2006) encontrou-se discordância entre os dados de temperatura e umidade do ar com os percentuais recomendados de ventilação natural no programa Analysis Bio. Entretanto, ponderou-se os valores encontrados e obteve-se as porcentagens de desejabilidade de ventilação natural para Maceió: 40% para verão, 25% para outono e primavera e, 10% para o inverno. A ponderação foi realizada de maneira proporcional para

cada estação do ano e de acordo com a desejabilidade requerida de ventilação natural pelo período.

2.1.3.3.4. Índices de Desempenho Global e Parciais

A avaliação dos fatores anteriores resultará no Índice de Desempenho Global da Ventilação Natural. Para tanto, Toledo (2006) elaborou duas planilhas eletrônicas: (1) a primeira para determinação dos Índices de Desempenho Parciais de Direção de Vento (IDP-Vento) composta por partes relacionadas aos valores e pesos das subcategorias presente na análise que leva em conta a abrangência do escoamento, níveis de percurso, localização de banheiros e localização da cozinha – anexo A e; (2) a segunda planilha destina-se aos Índices de Desempenho Parciais de Estação (IDP-Estação) e para os Índices de Desempenho Globais da ventilação natural (IDG-VN), constituída de setores de avaliação que consideram o padrão de escoamento do ar, potencial de ventos e desejabilidade sazonal da ventilação natural - anexo B.

Os IDG-VN, IDP-Vento e o IDP-Estação, são classificados em sete Níveis de Impacto (NI), ou seja, sete diferentes pontuações de acordo com os resultados obtidos na planilha eletrônica elaborada por Toledo (2006): (1) resultados entre 9 e 10 classificam-se como ótimos; (2) entre 8 e 9, muito bom; (3) entre 7 e 8, bom; (4) entre 5 e 7, razoável; (5) entre 4 e 5, ruim; (6) entre 2 e 4, muito ruim; e (7) entre 0 e 2, péssimo.

Nos anexos C e D estão demonstrados os valores dos índices do apartamento 1 do edifício 1 para a orientação nordeste, onde verifica-se todos os aspectos de análise utilizados para obtenção dos índices supracitados. Observa-se que o IDG do apartamento exemplificado foi de 5,97, que o classifica como desempenho razoável.

2.2. REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS E SUA RELAÇÃO COM A VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES

No século XVIII nas grandes cidades, o crescimento populacional intensificou-se devido à industrialização, ocasionando posterior preocupação em relação ao saneamento da cidade, bem como ao conforto ambiental nos ambientes de trabalho e moradia, visto que as condições costumavam ser precárias (GALVÃO, 2016). Em situações de insalubridade é inevitável o aparecimento de problemas de saúde nas pessoas, uma vez que a disseminação de doenças pode ocorrer de maneira rápida, em especial nos espaços sem infraestrutura básica de iluminação e ventilação natural.

De acordo com Fuente (2013), além dos aspectos estéticos, estruturais e funcionais da edificação, é de suma importância também garantir qualidade de uso dos ambientes, e para

tanto, é necessário considerar aspectos que contribuam na relação entre saúde no habitat, ou seja, melhorar a habitualidade do espaço, como exemplo, por meio da aplicação de estratégias que utilizam recursos naturais, como a luz e o vento. Porém, caso não haja a consideração da integração desses fatores, haverá a Síndrome do Edifício Doente, que causará desconfortos e doenças (irritação ocular e/ou nas vias aéreas, sonolência ou insônia, entre outras) nos ocupantes do espaço.

Diante do contexto preocupante em ambientes precários, iniciaram-se os primeiros estudos médicos no continente Europeu, especialmente na França, país onde a atenção voltava-se à disseminação de enfermidades decorrente da presença de meios inadequados de trabalho, moradia, espaços públicos, água e ar. Ressalta-se ainda a influência das pesquisas médicas na elaboração das legislações francesas, uma vez que a partir das informações científicas foram elaboradas orientações de como poderiam ser construídas moradias mais adequadas e que reduzissem os índices de doenças. Além disso, essas orientações inspiraram legislações de muitos países, inclusive as do Brasil (ROLNIK, 1997).

Galvão (2016) reforça que, em decorrência dessa conjuntura, foram criadas normas e legislações sobre a qualidade do espaço construído e do meio urbano. Ademais, foram desenvolvidos indicadores de desempenho que permitem guiar os profissionais na aplicação do conforto ambiental nos projetos arquitetônicos e urbanísticos. Contudo, isso ocorreu a passos lentos, visto que a elaboração legislativa e normativa demanda tempo e muito estudo.

As regulamentações construtivas tendem a apresentar parâmetros em comum, como procedimentos administrativos e executivos referentes a projetos e obras, abordagem sobre responsabilidades e obrigações dos envolvidos (profissional, proprietário e município), licenciamento, regularização, alvará de construção, bem como parâmetros relacionados à salubridade, conforto, segurança dos ocupantes etc. Apesar de pontos semelhantes referentes aos supracitados, as legislações necessitam de parâmetros específicos diante da realidade local, de modo que possam ser desenvolvidas novas leis (ou atualização das existentes) que visem o bem-estar do usuário e qualidade das edificações.

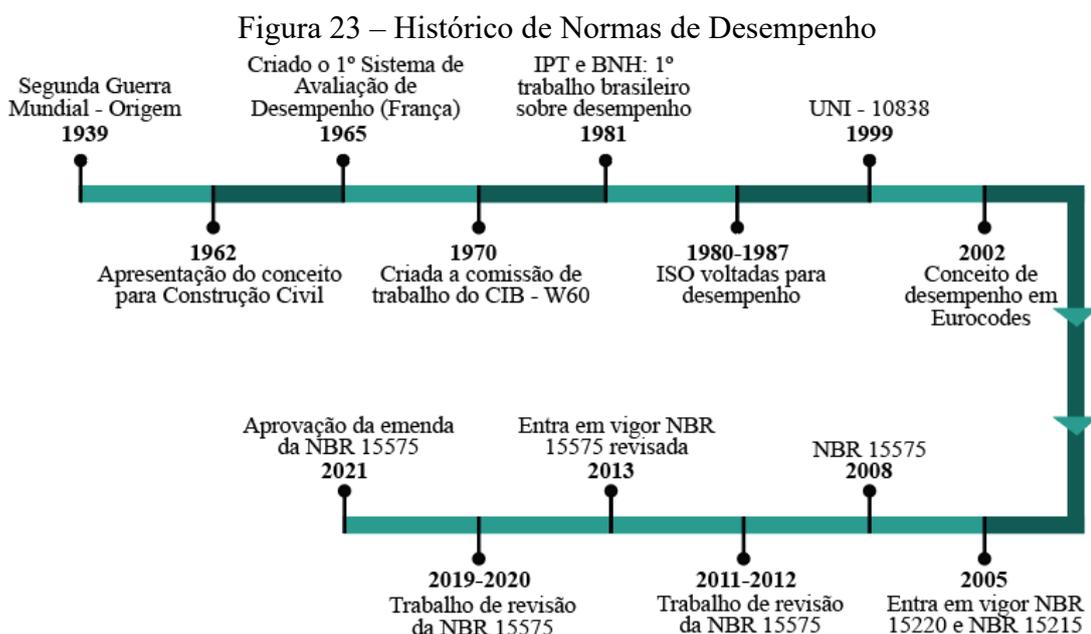
Na construção civil, os regulamentos edilícios são uma das ferramentas que contribuem na obtenção de níveis mínimos de satisfação dos usuários, em relação, por exemplo, aos parâmetros relacionadas à ventilação natural. Contudo, o desempenho desejado de ventilação natural em edificações pela ação do vento não é adequadamente definido pelas normas brasileiras, apesar de os fatores intervenientes nesse processo e os padrões desejáveis de ventilação natural para alguns usos serem conhecidos (TOLEDO, 2006).

De acordo com Tibúrcio (2017), muitas nações apresentam normas de desempenho de edificações e/ou Códigos de Obras que devem ser analisados em relação à adequação regional. Em virtude do exposto, essa seção aborda mais enfaticamente aspectos sobre as Normas de Desempenhos brasileira (15220 e 15575) e COEs.

2.2.1. Cenário histórico de normas de desempenho de edificações

Em relação ao desempenho térmico edílico, é importante verificar fatores que o influenciam, como a propriedade térmica dos materiais (que devem se adequar às condições locais), as trocas térmicas realizadas entre o meio interno e externo, bem como os dados climáticos regionais (inclui temperatura do ar, umidade do ar, características dos ventos em relação à sua direção e velocidade, dentre outros). Nesse contexto, há diretrizes normativas que relacionam os fatores supracitados, e que podem auxiliar os profissionais no entendimento e aplicação das recomendações existentes nos regulamentos edílios.

A definição de desempenho de edificações estava sendo estudada desde a década de 60, e voltava-se para o desenvolvimento teórico. No Brasil, esse conceito teve sua evolução a partir da década de 80, em particular por conta de trabalhos realizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para o Banco Nacional de Habitação (BNH), e em seguida para a Caixa Econômica Federal (BORGES, 2008; KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014). Na figura 23, observa-se o histórico de normas de desempenho ao longo do tempo, desde a origem do conceito de desempenho até processos de revisão de normas. É interessante salientar que atualizações normativas visam melhorias na qualidade das construções para que os usuários possam usufruir espaços que atendam às suas exigências.



Fonte: Adaptado de NGI Consultoria *apud* Coutinho (2014)

Em relação às regulamentações que abordam recomendações sobre o desempenho térmico no setor da construção civil, Netto e Czajkowski (2016) discorrem que países como Alemanha, Canadá, Itália e Espanha foram os primeiros nesse quesito. No caso do Brasil, duas das normas que regulam o desempenho edilício é a ABNT NBR 15220, que diz respeito ao Desempenho Térmico de Edificações, e a ABNT NBR 15575 que será detalhada mais adiante.

A ventilação natural (alvo de estudo) é um dos aspectos que contribuem no desempenho térmico da edificação por meio da remoção da carga térmica do mesmo, além de que, quanto melhor o desempenho térmico, maior será a probabilidade de os usuários do ambiente interno estarem em conforto térmico, visto que os fatores estão relacionados. Nesse contexto, analisar as normativas diante desse fator é de suma importância para a qualidade do ambiente construído.

2.2.2 Norma de Desempenho Habitacional ABNT NBR 15575: desempenho térmico

Nomeada como Norma de Desempenho Habitacional, a ABNT NBR 15575 em vigor desde 2013 teve emenda aprovada em 14 de janeiro de 2021 na parte referente ao desempenho térmico. A Norma de Desempenho tem suas diretrizes baseadas na ABNT NBR 15220, em especial no que tange ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro e suas respectivas recomendações diante das particularidades climáticas locais. Santos, Carvalho e Batista (2019), ressaltam que essas recomendações são de extrema importância, em especial para HIS, visto que essas unidades habitacionais possuem sua qualidade comprometida em decorrência da reprodução massiva de soluções simplificadas, que na maioria das vezes não atendem às exigências dos ocupantes, além de comprometer a vida útil da edificação.

A ABNT NBR 15575 é de extrema importância para o setor da construção civil, uma vez que objetiva o estabelecimento de avaliações sistemáticas das tecnologias e sistemas construtivos habitacionais, fundamentado em requisitos e critérios de desempenho dispostos em normas técnicas brasileiras. Carvalho *et al.* (2020) ressaltam que, apesar de não possuir força de lei, as normas técnicas possuem obrigatoriedade assegurada pelo Código de Defesa do Consumidor (Lei 8078, de 11.09.1990). Ou seja, com a presença de normas construtivas, as pessoas possuem a garantia de aquisição de um empreendimento que tenha requisito mínimo de desempenho edilício.

A ABNT NBR 15575 divide-se em seis partes de acordo com os sistemas que constitui a edificação, apresentando requisitos para: (1) requisitos gerais; (2) sistemas estruturais; (3) sistemas de pisos; (4) sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE); (5)

sistemas de coberturas; e (6) sistemas hidrossanitários. Apresenta ainda as exigências dos usuários, que servem como referência para os parâmetros normativos, onde o desempenho térmico se encontra dentro do critério de habitabilidade (ABNT, 2021).

Diante das seis partes que compõe a norma, são as partes 1 (requisitos gerais), 4 (SVVIE) e 5 (sistemas de cobertura) que estão relacionadas com o desempenho térmico edifício. E, mais especificamente, nos SVVIE estão expostas as recomendações referentes às aberturas (aspecto que influencia na ventilação natural e foco da pesquisa em questão).

A versão aprovada em 2021 da Norma de Desempenho Habitacional (ABNT, 2021) apresenta como requisito que os Ambientes de Permanência Prolongada (APPs), como salas, cozinhas e dormitórios, possuam aberturas com dimensões apropriadas para contribuir com a ventilação natural interna dos ambientes residenciais. Para tanto, como critério de análise, há o percentual de abertura para ventilação ($P_{v, APP}$), conforme quadro 3. Vale ressaltar que as recomendações normativas diante desse critério são válidas quando não existirem legislações locais específicas (como COEs, códigos sanitários, dentre outros) que abordem essa diretriz. Dessa forma, se a cidade onde está situada a UH estudada não possuir legislação diante desse quesito, os APPs devem apresentar $P_{v, APP}$ conforme a ABNT NBR 15575.

Quadro 3 – Percentual de abertura de referência para ventilação

ZBs 1 a 7	$P_{v, APP} \geq 7,0\%$ da área de piso
ZB 8 - região Norte do Brasil	$P_{v, APP} \geq 12,0\%$ da área de piso
ZB 8 - região Nordeste e Sudeste do Brasil	$P_{v, APP} \geq 8,0\%$ da área de piso

ZB é a zona bioclimática, definida pela ABNT NBR 15220-3.
 NOTA 1 Exclusivamente na aplicação desta tabela, APPs relativos à quarto com closet podem considerar como área de piso ($A_{p, APP}$) somente o espaço delimitado pela ocupação do quarto, excluindo-se a área do closet.
 NOTA 2 Unidades habitacionais com APPs que adotarem valores de percentual de abertura para ventilação inferiores aos limites desta tabela devem ser avaliadas por meio do Procedimento de Simulação Computacional, estabelecido no item 11.4 da ABNT NBR 15575-1.

Fonte: Adaptado de ABNT (2021)

A ABNT NBR 15575 estabelece ainda que o procedimento de simulação computacional é recomendado em casos em que unidades habitacionais assumam valores de percentual de abertura para ventilação natural inferiores aos estabelecidos no quadro 3 para os APPs.

Tibúrcio (2017) evidencia que a norma não aborda a ventilação natural de forma específica, visto que em geral apresenta apenas recomendações referentes à área de abertura, como verificado no quadro 3. A autora comenta que para o avanço normativo a metodologia de desempenho deve ser integrada às práticas projetuais, analisando em primeiro momento as exigências dos usuários e, em seguida as características de uso da edificação, bem como de

suas condições de exposição, de modo a estabelecer requisitos de desempenho a serem cumpridos no que tange à segurança, habitabilidade e sustentabilidade (*apud* NICOLINI, 2015). Nota-se que essas informações reforçam a importância da lista de exigências dos usuários presente na ABNT NBR 15575, visto que o foco é o bem-estar dos ocupantes a partir de melhorias construtivas.

A ABNT NBR 15575 também confere responsabilidades técnicas para os envolvidos presentes tanto durante o projeto e processo executivo (projetistas, fornecedores, construtores, incorporadores), quanto no uso e manutenção de determinada edificação (ABNT, 2021). Dessa maneira, objetiva-se que o desempenho estabelecido no prazo de Vida Útil de Projeto (VUP) seja garantido durante as diferentes fases do projeto.

Essas responsabilidades são de grande importância nas etapas de projeto e manutenção da edificação. Pesquisas como de Hippert e Longo (2019) mostram a necessidade em desenvolver projetos de maneira colaborativa e integrada desde a sua fase inicial, visando soluções que atendam a todos os envolvidos, bem como aos requisitos estabelecidos pela norma. Os autores concluem que a análise do desempenho deve estar presente em todas as etapas, visto que a metodologia se baseou na revisão da literatura e entrevistas com profissionais de arquitetura e estrutura, de modo que puderam analisar a carência de integração dos envolvidos em diferentes etapas do processo.

Muitos estudos estão voltados para análise de regulamentações, como na pesquisa realizada por Netto e Czajkowski (2016), que realizaram uma comparação entre o conjunto de normas do Instituto Argentino de Normalização e Certificação (IRAM) e brasileiras (ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575). Em um dos resultados da pesquisa, os autores identificaram que para o verão, os valores referentes à transmitância térmica das paredes são duas vezes mais exigentes (maior isolamento térmico) no IRAM do que nas normas brasileiras, e no inverno esse valor é 3,5 vezes maior. Além disso, são recomendadas propostas de contribuição na aplicação do desempenho térmico habitacional. Uma dessas recomendações é quanto à adaptação gradual do uso normativo por meio de adoção de uma estratégia de implementação por etapas, isto é, que o rigor normativo seja reduzido e que sejam estabelecidos novos prazos para a implementação efetiva. Para tanto, acredita-se que é interessante organizar planos de ação entre órgãos de autoridade e profissionais, bem como promover a realização de cursos, palestras, entre outros. Os autores também discorrem que seria interessante a iniciativa de exigência do cumprimento das diretrizes na fase de aprovação do projeto arquitetônico no órgão municipal responsável. Ressaltam ainda que seria

fundamental que houvesse formação e qualificação de uma equipe para essa função, com o intuito de orientar e sanar dúvidas dos profissionais.

Outros pesquisadores como Kern, Silva e Kazmierczak (2014), também produziram uma comparação normativa, onde verificaram o *Código Técnico de la Edificación* (CTE) espanhol e a Norma de Desempenho Habitacional brasileira. Os autores contribuíram com algumas estratégias a serem consideradas no Brasil, que foram utilizadas na implantação do CTE, tais como implementação gradual, criação de meio de comunicação entre os responsáveis pela norma e os usuários, programas de divulgação, discussão com os principais fornecedores de cada área envolvida, dentre outros.

Complementar às Normas de Desempenhos a nível nacional, os municípios também devem utilizar os Códigos de Obras e Edificações a nível local, de modo que o fazer projetual seja mais integrado a diversos fatores e etapas. Entretanto, Nicolini (2015) discorre que em muitos códigos, o nível de satisfação das pessoas é posto a cargo do projetista, sem definir, no entanto, os parâmetros necessários de desempenho térmico.

Cabe ressaltar que o papel das legislações e normativas brasileiras são de grande relevância para a sociedade, uma vez que atuam direta e indiretamente na qualidade de vida das pessoas e dos espaços. Viver em ambientes adequados e cada vez melhores é uma meta compartilhada por muitos. As atualizações normativas contribuem no alcance da meta supracitada, entretanto, existem lacunas em suas diretrizes, em especial no que diz respeito à carência da consideração de mais fatores que influenciam no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos, além do já estabelecido índice de piso comumente empregado.

2.2.3. Código de Obras e Edificações

Além das Normas de Desempenhos, os Códigos de Obras e Edificações também são ferramentas fundamentais na construção civil, visto que buscam alcançar o bem-estar dos usuários por meios de parâmetros regulatórios. Contudo, Cândido (2006) salienta que algumas diretrizes, como as relacionadas à otimização da ventilação natural nas edificações, não são enfatizadas em COEs brasileiros, mas que poderiam ser, visto que o projeto das aberturas impacta diretamente na distribuição do ar no ambiente, além de se apresentarem como protetores de intempéries como chuva, ruídos e radiação solar em excesso.

2.2.3.1. Panorama Mundial

Muitas pesquisas são realizadas no âmbito das regulamentações construtivas, que abordam aspectos relacionados à revisão e atualização das mesmas de modo a alcançar rigor legislativo e normativo, como o caso verificado por Aroonruengsawa, Auffhammer e Sanstad

(2012). Os autores analisaram os 48 estados dos Estados Unidos, entre os anos de 1970 a 2006, averiguando, dentre outros fatores, a variação temporal e espacial da implementação/revisão do código de obras. De acordo com os estudos realizados, os códigos de obras variaram seu rigor e aplicação segundo o estado a qual pertence. Ou seja, foram apresentados os anos de implementação dos códigos de obras nos estados do país entre os anos de 1970 a 2006, e verificaram nesse recorte que algumas regiões tiveram seus códigos revisados desde o ano de 1972, como o caso do estado de Montana, e outros desde 1978 como o estado da Califórnia, Colorado, Geórgia, Los Angeles, Nova Iorque, dentre outros. Em contrapartida, alguns estados pouco tiveram revisão/implementação em sua legislação, tendo ocorrido nos anos 2000, como os estados de Alabama, Idaho, Kentucky e Pensilvânia.

Muitos países possuem preocupação contínua em atualizar suas regulamentações construtivas, de maneira que representem o contexto atual do país. Como exemplo, evidencia-se o Código de Obras Internacional (*International Building Code - IBC*) dos Estados Unidos, e o Código de Obras da Austrália (*Building Code of Australia - BCA*). Esse último apresenta atualizações anuais desde 2003 (CUNHA, 2011).

O IBC em sua versão mais recente de 2018 inclui várias diretrizes relacionadas à sustentabilidade, além de aspectos referentes à ventilação (Código de Instalações Mecânicas dos Estados Unidos), bem como à economia de energia (Código de Conservação de Energia dos Estados Unidos), e conservação de água. Os parâmetros estabelecidos nesses códigos são decorrentes de códigos percursos dos padrões atuais de sustentabilidade, como o Título 24 da Califórnia (*California's Title 24*) de 1978 e o Código Modelo de Energia (*Model Energy Code*) de 1983 (CHING; SHAPIRO, 2017). Em relação ao *California's Title 24*, Dutton e William (2014), discorrem que as diretrizes do documento objetivam equilibrar a energia relacionada ao fornecimento de ventilação com melhorias na qualidade do ar no ambiente interno, com o intuito de reduzir a concentração de contaminantes.

Em relação ao BCA australiano, Berry e Marker (2015) comentam que há rigor na revisão das regulamentações, entretanto, os consecutivos governos da Austrália possuíam interesses conflitantes que levaram a abordagens políticas divergentes, o que resultava em deficiência na aplicação da norma. Os autores concluem que apesar de haver benefícios significativos quando são realizadas revisões no código, a mudança de fato para uma habitação eficiente pode demorar a ser alcançada em virtude da liderança política e divergências existentes.

No que concerne aos aspectos relacionados às aberturas, a Austrália possui um sistema de classificação do projeto arquitetônico de maneira geral, o Esquema de Classificação de

Energia Nacional (*Nationwide House Energy Rating Scheme – NATHERS*), onde pode ser avaliado o potencial de aquecimento e refrigeração habitacional de acordo com o clima característico, atribuindo-se estrelas que vão de 0 estrela (a edificação não diminui o desconforto por frio e calor) e 10 estrelas (probabilidade maior da edificação não necessitar de resfriamento ou aquecimento artificial). A classificação se dá em razão de fatores como: implantação e orientação solar do projeto, dimensão da habitação, *layout*, construção e materiais utilizados na cobertura, paredes, janelas, piso, além de especificar as aberturas em relação à orientação solar que mais favoreça o sombreamento e ventilação natural (CLUNE; MORRISSEY; MOORE, 2012; TIBÚRCIO, 2017).

Pan e Garmston (2012) destacam que o estudo dos aspectos referentes à construção civil pode auxiliar no progresso tanto das normas quanto no seu uso. E que por mais que em muitos países as normativas estejam mais rigorosas, o não cumprimento delas é realidade presente no dia a dia, no entanto, é um fator a ser combatido para melhoria das edificações.

2.2.3.2. Contexto nacional brasileiro

No Brasil, as ideias higienistas ocorridas em meados do século XIX e início do século XX, estavam associadas à busca por uma cidade mais limpa e com moradias mais dignas. O período higienista influenciou na elaboração do que se conhece hoje como Código de Obras, sofrendo alterações de nomenclatura e diretrizes ao longo do tempo, em virtude da desigual e acelerada expansão das cidades. Além disso, a legislação também sofreu influência de estratégias de controle da edificação, que buscava obtenção de maiores lucros na aplicação do que foi investido no setor construtivo. Esses dois aspectos, um ligado às condições mínimas de habitabilidade e outro relacionado à garantia de lucro na construção, ainda pode ser visto nos instrumentos urbanísticos municipais e em discussões acerca desse tema (CUNHA, 2011).

No que se refere à conceituação de Código de Obras e Edificações, o IBAM (2018) aborda que o código é um instrumento que possibilita que a Administração Municipal realize fiscalização das construções e seu entorno de maneira controlada, de modo a garantir segurança e salubridade aos ambientes. Acrescenta ainda que os parâmetros construtivos presentes na legislação devem ser integrados e complementados com outros instrumentos urbanísticos. Além disso, Bahia e Guedes (2012, p. 27), discorrem que o objetivo geral do COE trata de:

Orientar os costumes construtivos, regulando o espaço edificado por meio de normas técnicas para a práticas da construção, assim como ordenando a sua implantação nos lotes, a fim de garantir a solidez, a segurança, a salubridade,

a habitabilidade, a acessibilidade, a eficiência energética e a sustentabilidade das edificações e obras.

Nicolini (2015, p. 35) ressalta que o Código de Obras “é campo de interesse de beneficiários diretos, especialmente projetistas, técnicos, construtores e demais usuários que lidam diretamente com processos de elaboração de projetos, licenciamento e regularidade das edificações”. Observa-se uma série de envolvidos que utilizam a referida legislação, então, é relevante que a mesma esteja adequada à realidade da cidade, para que as pessoas possam considerar a consulta em códigos atualizados e adequados à localidade, como exemplo aos parâmetros relacionados à ventilação natural, pois conforme Cândido (2006), os aspectos que se referem à configuração das aberturas poderiam estar presentes nas recomendações de COEs, com o intuito de otimizar a ventilação natural nos ambientes internos das edificações.

Um dos parâmetros referentes a essa estratégia passiva comumente usados pelas regulamentações construtivas, como os COEs, é o índice de piso (área das aberturas externas é uma porcentagem da área do piso do respectivo ambiente) para o dimensionamento das aberturas destinadas à ventilação e iluminação. Contudo, esse critério não é satisfatório para a ventilação natural pela ação do vento, visto que não considera outros aspectos que deveriam estar envolvidos no processo, como a análise de ventos regionais e as orientações mais favoráveis à sua captação do ar (TOLEDO, 2006).

De modo geral, os COEs recomendam para o vão destinado às aberturas valores de 1/6, 1/8, 1/10 e 1/12 em relação à área de piso, variando a fração de acordo com APP e ambientes de permanência transitória, porém, muitas dessas legislações não especificam se metade desse vão deva ser destinado à ventilação natural. Além disso, o vão de abertura sofre influência entre outros fatores, da tipologia da esquadria que for adotada, e essa especificidade não consta na lei.

Em relação a dados quantitativos, de acordo com o IBGE (2019), o Brasil possui 5.570 municípios. A quantidade de cidades que possuem ou não COE está demonstrada no quadro 4, no qual pode-se observar que o percentual de COEs presentes nas regiões brasileiras chega a quase 70%, o que pode ser um valor considerável, mas ainda não satisfatório. Apesar de determinada cidade ser contemplada com a referida legislação, possuí-la não assegura a sua efetiva utilização.

Quadro 4 – Quantidade de municípios com e sem COE no Brasil

Quantidade total de municípios brasileiros	Quantidade de municípios com COE		Quantidade de municípios sem COE	
	Valor numérico	Valor em %	Valor numérico	Valor em %
5.570	3.798	68,2	1.772	31,8

Fonte: Adaptado de IBGE (2019)

Entretanto, é de suma importância que a totalidade de COEs nos municípios seja alcançada, em virtude de ser um dos principais instrumentos usados pelos profissionais e uma das regulamentações que visam a melhoria do setor da construção civil, visto que se mostra também como uma das primeiras legislações que estudantes da graduação têm contato durante seus estudos. Porém, como ainda não se possui integralmente esse valor, o foco volta-se para o aprimoramento (revisão) dos COEs existentes, de modo sejam melhorados e atualizados.

Reforça-se que a elaboração e revisão dos Códigos de Obras e Edificações destina-se para a melhoria dos espaços, bem como da qualidade de vida dos cidadãos da cidade (IBAM, 2018). Perante a necessidade de atualização e revisão dos COEs brasileiros, em 2012 foi lançado um Guia Técnico que oferece “orientações atualizadas ao Município com vistas à elaboração ou revisão do Código Municipal de Obras e Edificações e dos procedimentos de controle da atividade de construção” (BAHIA; GUEDES, 2012, p. 13). Este guia expõe informações que permitem aos profissionais refletirem sobre eficiência energética, edificação sustentável, gestão, controle e fiscalização, de maneira a relacionar as informações expostas com à realidade local.

Diante disso, ressalta-se a importância pela busca do respeito às particularidades de cada região perante aspectos sociais, econômicos, políticos, culturais, ambientais e climáticos. Tendo em consideração as questões climáticas, é necessário verificar a adequação da legislação diante das características regionais. Uma vez que os COEs brasileiros sofreram replicação nos municípios, sem passarem, no entanto, por análises críticas referentes à conformidade de suas diretrizes quanto aos aspectos locais. Como consequência, há cidades atuais que utilizam códigos desatualizados frente às discussões contemporâneas (CUNHA, 2011). A replicabilidade legislativa ocorrida dessa forma influencia de maneira direta no conforto térmico dos usuários e desempenho térmico edilício, dado que as especificidades de cada região é o diferencial para a promoção de projetos mais adequados climaticamente.

Cada região brasileira e mundial enfatiza determinados aspectos em seu Código de Obras de acordo com critério que possui maior aplicabilidade relacionada ao contexto natural, cultural, social ou histórico da região. Ou seja, locais que em seu contexto natural sofrem com desastres ambientais, como terremotos ou inundações, desenvolveram em seus códigos critérios que enfatizam a segurança estrutural, assim como a cidade de Tóquio e Miami (CUNHA, 2011).

2.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Por meio da revisão bibliográfica demonstrou-se a importância do estudo da ventilação natural e regulamentações construtivas, o que conferiu um aporte teórico para o desenvolvimento do trabalho. Além disso, essa etapa auxiliou na análise da metodologia de Toledo (2006) que busca avaliar qualitativamente o desempenho da ventilação natural, que serviu como base e que foi utilizada em uma das etapas metodológicas da presente pesquisa.

Dessa maneira, procurou-se selecionar a forma que melhor se adequa ao estudo em questão diante das limitações das ferramentas, métodos, materiais utilizados e modelos investigados. Ou seja, através das pesquisas apresentadas percebeu-se que é possível compreender a distribuição do fluxo de ar interno nos ambientes, inclusive por meio de experimentos realizados na mesa d'água, de maneira a analisar o que poderia ser ajustado no projeto arquitetônico, servindo como auxiliar no planejamento (fase inicial), desenvolvimento projetual, bem como no desempenho qualitativo da ventilação natural.

Nota-se ainda que parte das pesquisas trouxeram análises da ventilação natural através da integração de mais de uma variável, como localização, posicionamento, orientação das aberturas aos ventos dominantes, dentre outras, apontando que o desempenho desse recurso natural é dependente da análise conjunta dessas variáveis. Contudo, perante esses aspectos, existe uma problemática relacionada às regulamentações construtivas, uma vez a preocupação pela ventilação natural em espaços residenciais se limita apenas ao índice de piso para o dimensionamento das aberturas, não considerando outros fatores referentes à configuração de aberturas (como os supracitados) que são de extrema relevância na qualidade da distribuição de ar nos espaços internos.

A carência de diretrizes nas regulamentações construtivas que englobem mais fatores referentes à ventilação natural habitacional pode refletir diretamente na qualidade de vida das pessoas nos ambientes internos, uma vez que tem possibilidade de impactar na sensação de conforto e salubridade das residências. Além disso, a existência de legislações e normativas eficazes contribuem em melhorias no setor construtivo, onde servem como guia ao profissional durante o processo projetual, desde a fase inicial de projeto, até a etapa de execução da obra.

O intuito das regulamentações construtivas é de garantir qualidade nos espaços construídos através do estabelecimento de parâmetros mínimos de salubridade, conforto e segurança, então é de suma importância que esses parâmetros sejam atualizados e condizentes com a realidade climática local.

Diante dos benefícios da ventilação natural, da problemática das legislações e normativas referentes à configuração das aberturas para otimização da ventilação natural, bem como da análise do desempenho dessa estratégia passiva, o presente trabalho se torna relevante em contribuir com a temática em questão.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa apresenta uma metodologia organizada em cinco etapas: (1) escolha e análise das regulamentações construtivas; (2) seleção e caracterização do modelo para estudo de caso; (3) avaliação qualitativa do desempenho da ventilação natural por meio da metodologia de Toledo (2006); (4) realização dos experimentos na mesa d'água; e (5) elaboração de recomendações projetuais e sugestões para regulamentações construtivas. A figura 24 apresenta o esquema das etapas metodológicas para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 24 - Etapas metodológicas



Fonte: Autora (2021)

3.1. ANÁLISE DAS REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS

As regulamentações construtivas analisadas de forma mais específica nesse trabalho foram os Códigos de Obras e Edificações brasileiros e a Norma de Desempenho Habitacional ABNT NBR 15575. Para tanto, dividiu-se essa fase em: (1) critério de seleção dos COEs; e (2) verificação dos parâmetros relacionados ao vão de abertura dos COEs e da ABNT NBR 15575. Dessa maneira, objetivou-se averiguar a situação legislativa e normativa em relação a esse critério.

3.1.1. Critério de seleção dos Códigos de Obras e Edificações

Em virtude do grande número de COEs presentes no país, criou-se um critério de seleção, onde foram listadas todas as capitais dos estados do Brasil, e em seguida classificadas

de acordo com a Zona Bioclimática brasileira. Posteriormente, buscou-se os COEs nos sítios eletrônicos das prefeituras municipais, de modo a coletar os arquivos para análise. O critério de seleção das cidades teve como objetivo englobar tanto cidades presentes nas oito ZBs, quanto nas cinco regiões geográficas brasileiras (Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul), de modo a ter um alcance territorial maior em relação à verificação das diretrizes nos diversos climas.

O método de seleção não possui finalidade de amostra estatística, visto que a escolha das regiões se deu quanto à distribuição dentro do território brasileiro, além da disponibilidade de documentos e legislações dos municípios, tendo como foco as capitais dos estados, uma vez que as informações são mais acessíveis.

O total de COEs selecionados foi 29, o que inclui o de todas as 27 capitais brasileiras, mais os das cidades de Piracicaba – SP (ZB 2) e Governador Valadares – MG (ZB 5). A inclusão dessas duas cidades ocorreu devido ao fato de nenhuma capital brasileira estar presente nas ZBs 2 e 5, visto que um dos critérios de seleção dos códigos era abranger todas as ZBs brasileiras. O quadro 5 apresenta as cidades que tiveram seus COEs analisados, e suas respectivas ZBs.

Quadro 5 – Cidades selecionadas e suas respectivas Zonas Bioclimáticas

Cidade/UF	ZB	Cidade/UF	ZB
Curitiba – PR	1	Boa Vista – RR	8
Piracicaba - SP	2	Porto Velho - RO	
Florianópolis - SC	3	Rio Branco - AC	
Belo Horizonte - MG		Manaus – AM	
Porto Alegre - RS		Natal – RN	
São Paulo - SP	4	Maceió – AL	
Brasília – DF		Aracaju – SE	
Governador Valadares - MG	5	João Pessoa - PB	
Campo Grande - MS	6	Recife – PE	
Goiânia – GO		Salvador – BA	
Cuiabá – MT	7	São Luís – MA	
Palmas – TO		Fortaleza – CE	
Teresina – PI		Rio de Janeiro - RJ	
Belém – PA	8	Vitória – ES	
Macapá – AM			

Fonte: Autora (2021)

Parte-se do princípio de que cidades presentes na mesma ZB apresentem características climáticas semelhantes, então, outras cidades que atendam os critérios supracitados poderiam ser incluídas. Contudo, para a seleção das duas cidades que não são capitais dos estados brasileiros (Piracicaba – SP e Governador Valadares - MG) adotou-se um novo critério de seleção, o número de habitantes, para que desse modo os resultados possam

atender mais pessoas. Para tanto, consultou-se a relação das 330 cidades presentes na ABNT NBR 15220:2005 e cujos climas foram classificados conforme a ZB. Posteriormente, foram verificadas as cidades que fizessem parte da ZB 2 e 5 e, em seguida consultado o número de habitantes de cada uma delas. A partir disso, definiu-se cidades que apresentavam os maiores números de habitantes. Ademais, a obtenção de informações de fácil acesso também foi levada em consideração na seleção, ou seja, cidades que apresentavam alto número populacional, mas que não possuíam COE ou arquivos climáticos em formato .CSV (utilizado em etapas posteriores) foram descartadas. Então, a seleção e análise dos critérios para a escolha seguiu para a próxima cidade da lista com maior número de habitantes, até serem obtidas as cidades de Piracicaba e Governador Valadares.

3.1.2. Verificação dos parâmetros relacionados ao vão de abertura dos COEs e da ABNT NBR 15575

Ribeiro e Fossati (2020), ressaltam que diante do parâmetro referente ao vão de abertura, os COEs e outras legislações equivalentes devem ser consultadas em primeiro momento pelos profissionais, e caso não possuam esse parâmetro, os valores recomendados pela ABNT NBR 15575 devem ser atendidos. Em decorrência disso, evidenciou-se que seria necessário realizar uma análise comparativa entre a ABNT NBR 15575 e os COEs, para identificar a conjuntura legislativa e normativa.

Perante o exposto, averiguou-se as diretrizes referentes ao referido aspecto e presentes tanto nos COEs quanto na ABNT NBR 15575. A busca destinou-se à tipologia residencial com foco nos Ambientes de Permanência Prolongada. A pesquisa dentro das legislações e norma se deu por palavras-chave que fazem referência ao aspecto em questão, como: vão livre, vão de abertura, área efetiva, área de ventilação, dentre outras. Essa variedade de palavras na busca é devido ao fato de que as legislações muitas vezes adotam termos diferentes, então a partir da variação de uma mesma palavra, pode-se identificar os itens com mais assertividade.

Posteriormente, verificou-se que a área efetiva mínima destinada ao vão de ventilação recomendada pela ABNT NBR 15575 é indicada em porcentagem (ZB 1 a 7 $\geq 7\%$; ZB 8 norte $\geq 12\%$; e ZB 8 nordeste $\geq 8\%$) e calculada de acordo com a área de piso do respectivo ambiente. Já nos COEs, a área do vão recomenda aparece em forma de fração ($1/6$, $1/8$, $1/10$ e $1/12$), mas também é calculada a partir da área do piso do ambiente. Essa distinção em relação à maneira de apresentação do parâmetro não foi vista como uma adversidade, uma vez que são apenas formas diferentes de abordar o mesmo fator. Além disso, a nomenclatura

estabelecida nessas regulamentações construtivas também são distintas: na ABNT NBR 15575 o aspecto é abordado como área efetiva da ventilação e, nos COEs como área do vão de abertura.

Após as primeiras análises legislativas, observou-se quais dimensões de aberturas são mais presentes nas cidades, para então, encontrar um valor contido na maioria e que pudesse ser utilizado no cálculo das aberturas do modelo físico reduzido apresentado nas próximas etapas metodológicas. Obteve-se que o dimensionamento de 1/6 de área de abertura em relação à área do APP era o mais presente, sendo que metade desse valor devia ser destinado à ventilação natural, ou seja, 1/12 de vão livre de abertura.

3.2. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MODELO PARA ESTUDO DE CASO

Para a definição do modelo habitacional utilizado para análise levou-se em consideração dois fatores: (1) que fosse uma UH representativa no Brasil, de modo que a pesquisa tenha mais abrangência em sua aplicabilidade e, (2) que permita analisar configurações de aberturas diferentes, abordando posicionamento e localização da abertura, porosidade das portas internas, bem como modificação do ângulo de incidência do vento sobre a face a barlavento.

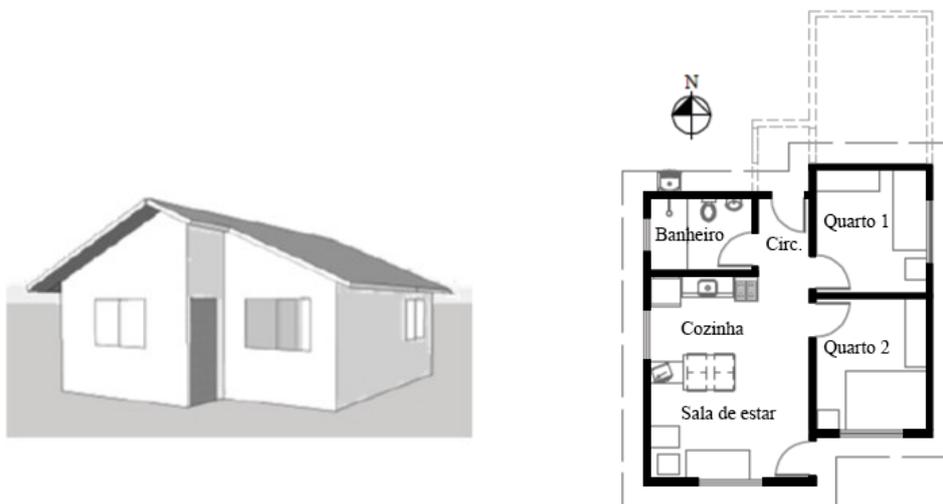
No que concerne à seleção do modelo representativo, analisou-se o trabalho de Montes (2016), onde foram apontadas tipologias representativas de HIS de acordo com a faixa de renda familiar, onde verificou-se 108 projetos arquitetônicos do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Para o nível de renda 1 do PMCMV, definiram-se três tipologias, sendo elas: casa térrea unifamiliar, casa térrea geminada e edifício multifamiliar de quatro ou cinco andares com planta em formato H. Dentre os projetos mencionados, selecionou-se a casa unifamiliar térrea, visto que de acordo com Veiga *et al.* (2020), foi o modelo base de análise utilizado pela Comissão de Estudos CE-002:136.001 para revisão da parte de desempenho térmico da ABNT NBR 15575. Reforça-se que a tipologia selecionada é representativa no território nacional de acordo com a pesquisa realizada por Montes (2016) e, dessa forma, foi considerada como adequada ao estudo.

Acrescenta-se que a equipe responsável pela revisão utilizou esse modelo base nas simulações computacionais para determinar as escalas dos níveis de desempenho térmico. Contudo, não foi analisado o desempenho da ventilação natural nessa unidade habitacional com variação da configuração de aberturas e ângulo de incidência dos ventos. Diante disso, admite-se que a escolha por essa tipologia habitacional representativa possa trazer

contribuições para a análise do desempenho da ventilação natural, uma vez que serão analisados outros parâmetros na mesma tipologia.

As características relacionadas à essa UH foram definidas por Montes (2016) como uma habitação isolada com área de 38,58 m², que possui dois quartos, um banheiro, sala de estar e cozinha integrados, que podem ser observados na figura 25. Em relação às aberturas, apresentam os seguintes aspectos: portas externas (2 portas de 0,80m X 2,10m); portas internas (3 portas de 0,80m X 2,10m); pé-direito de 2,50m; janelas da sala de estar e quartos (1,50m X 1,00m / 1,10m, 2 folhas de correr); janela da cozinha (1,20m X 1,00m / 1,10m, 2 folhas de correr); e janela do banheiro (0,80m X 0,60m / 1,50m, basculante).

Figura 25 – Projeto representativo para a casa unifamiliar térrea com possibilidade de ampliação



Fonte: Adaptado de Montes (2016)

As tipologias estudadas por Montes (2016) tendem a apresentar baixo desempenho térmico, de modo que o estudo da ventilação natural nesse cenário torna-se importante para contribuir no conforto térmico dos usuários e desempenho térmico da edificação (TIBÚRCIO, 2017).

3.3. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL: MASQ-VENTO E MAM-VN

Para essa fase foram utilizados o método e a metodologia propostos por Toledo (2006), que desenvolveu o Método de Análise Simplificado e Qualitativo por ação dos ventos (MASQ-VENTO), baseado no comportamento do escoamento do ar, e uma Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural (MAM-VN), baseada nas metodologias multicritérios.

A escolha para utilização do método e metodologia propostos pelo autor se deu em virtude dos resultados satisfatórios obtidos em sua pesquisa, bem como nas sugestões feitas pelo autor para trabalhos futuros, onde uma delas se refere à aplicação do método em diferentes tipologias das que ele adotou. Diante disso, considerou-se viável e relevante a utilização das avaliações propostas. Ressalta-se que Toledo (2006) realizou a pesquisa em apartamentos de quatro edifícios habitacionais, então, algumas etapas de sua metodologia utilizadas nessa tipologia específica foram retiradas e/ou adaptadas para a UH de habitação de interesse social analisada no presente estudo.

3.3.1. Método de Análise Simplificado e Qualitativo por ação do Vento – MASQ Vento

O método está dividido em duas etapas que representam os fatores que influenciam na ventilação natural em edificações, sendo eles, o sistema fixo e o sistema dinâmico, apresentados a seguir.

3.3.1.1. Sistema fixo

Para análise dessa etapa foram considerados apenas os aspectos relacionados à configuração de aberturas e à orientação solar das mesmas, visto que se adequa ao alvo do estudo, a HIS. Salienta-se que os aspectos desconsiderados dessa etapa do método de Toledo (2006), como as características geométricas da edificação e seus componentes foram avaliados pelo autor de forma comparativa com os quatro edifícios, como uma forma de verificar as divergências entre seus objetos de estudo. Então, como na presente pesquisa avalia-se somente uma tipologia habitacional, e esta não foi comparada com outras, julgou-se cabível a desconsideração dos fatores supracitados.

Diante disso, no quadro 6 estão apresentados de maneira sintetizada, apenas os fatores que fazem parte da avaliação da presente pesquisa, onde aponta-se características relacionadas às aberturas, assim como a orientação solar das aberturas em análise, seu tipo, localização e posicionamento, bem como seu tamanho relativo em função da parede na qual está situada.

Quadro 6 – Classificação das aberturas em relação ao sistema fixo do MASQ Vento

Classificação das aberturas	
Orientação solar	Norte (N), Nordeste (NE), Leste (L), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O), Noroeste (NO)
Tipo	Porta e Janela
Localização*	Parede oposta (OPO) e Parede adjacente (ADJ)
Posição**	Lateral (L), Centralizada (C) e Diagonal (D)
Tamanho relativo***	Grande, quando maior que 2/3 Média, quando maior que 1/3 e até 2/3 Pequena, até 1/3
*Localização da abertura em relação à porta do respectivo ambiente. **Posição da abertura na parede em que está situada. ***Tamanho relativo da abertura de acordo com a largura da parede onde a janela se situa.	

Fonte: Adaptado de Toledo (2006)

3.3.1.2. Sistema dinâmico

Consideram-se quatro fatores de análise em relação às características do escoamento interno do fluxo de ar por efeito da ação do vento que estão apresentados no quadro 7. Salienta-se que os parâmetros de avaliação foram averiguados nos ambientes internos de todos os setores da unidade habitacional de HIS para cada direção do vento estudada nessa pesquisa (nordeste 45°, leste 90° e sudeste 135°).

Quadro 7 – Parâmetros de análise do escoamento do ar interno do sistema dinâmico do MASQ Vento

Parâmetros de análise do escoamento do ar interno		
1	Identificação das aberturas	De entrada de ar De saída de ar
2	Níveis de percurso	Por quantos e quais ambientes passa o ar desde a abertura de entrada até a de saída
3	Abrangência do escoamento	Muito ampla (superior a 80% da área do piso) Ampla (entre 60 e 80%) Média (entre 40 e 60%) Restrita (entre 20 e 40%) Muito restrita (inferior a 20% da área de piso)
4	Velocidade do escoamento	Muito acelerada Acelerada Normal (semelhante à velocidade externa) Lenta Muito lenta

Fonte: Adaptado de Toledo (2006)

Para realizar os dois primeiros parâmetros (identificação das aberturas e níveis de percurso) expostos no quadro 7 necessitou-se da observação do escoamento de ar, que foi facilitada pela visualização instantânea do fluido sobre a maquete física reduzida.

Toledo (2006) utilizou nessas etapas do sistema dinâmico diagramas de Níveis de Percurso (NP) e diagramas de Séries e Paralelos (SP) em suas investigações, como apresentado na revisão bibliográfica. Contudo, para o presente estudo focado na HIS e diante da limitação de conhecimento específico relacionado à produção de tais diagramas, optou-se em adaptar essas fases com a utilização de esquemas visuais simplificados com breves informações sobre a distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos (apresentando o percurso do fluido, áreas com baixa circulação de ar, espaços com ar estagnado e partes com recirculação de ar), e por meio também da exposição dos níveis de percurso de forma sintetizada em tabelas. Ou seja, cada teste apresenta uma representação gráfica com a identificação das aberturas de entrada e saída de ar, bem como o movimento do fluxo de ar de maneira simplificada nos ambientes internos, além de tabelas que demonstram por quais

ambientes o ar passou desde a abertura de entrada de ar até a de saída. Independente dessa adaptação, a forma de visualização dos resultados foi semelhante, então, considerou-se eficaz a adequação realizada.

No caso da terceira etapa do sistema dinâmico, referente ao cálculo de abrangência do escoamento, utilizou-se a ferramenta de cálculo de área disponível no *software* Autodesk AutoCAD. Ou seja, inicialmente inseriu-se no programa as fotografias dos experimentos da unidade habitacional analisada. Em seguida, com o auxílio da ferramenta de área do AutoCAD, encontrou-se duas áreas para cada um dos ambientes da UH, a primeira correspondente à área total do espaço e, a segunda relativa à área equivalente ao fluido de ar em movimento (espuma) no interior dos quartos. Posteriormente, com a área total do ambiente e de espuma encontradas, utilizou-se a equação 1 para obter a porcentagem proporcional que caracteriza a abrangência do escoamento de ar interior dos ambientes.

$$P = \frac{(E * 100)}{T} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, P é o porcentual de abrangência do escoamento do ar interno; E representa a área de espuma presente no ambiente, desconsiderando áreas de espuma acumulada nas extremidades das faces e áreas com ar estagnado; e T é área total do ambiente.

Em relação à velocidade do escoamento (quarta etapa), esta ocorreu por meio do registro com filmagens, onde realizou-se comparação visual entre a velocidade interna e externa do fluido de ar. Vale ressaltar que nessa fase não houve medição da velocidade do fluxo de ar, o que se realizou, pelo próprio entendimento, foi como se comportava o fluido interno e externo do ar através da observação do movimento do mesmo nos ambientes. Acrescenta-se ainda que visualmente é possível identificar de maneira simplificada a velocidade do fluido diante da classificação apresentada (muito acelerada, acelerada, normal, lenta e muito lenta).

3.3.2. Metodologia de Avaliação Multicritérios da Ventilação Natural – MAM VN

A metodologia é complementar aos MASQ-Vento e está constituída em quatro fases de desenvolvimento: padrão de escoamento de ar nos ambientes internos, potencial sazonal dos ventos regionais, desejabilidade sazonal da ventilação natural e Índices de Desempenho Global e Parciais.

3.3.2.1. Padrão de escoamento de ar nos ambientes internos

Esse nível descreve o padrão de escoamento do ar sugerido ao uso residencial, o qual possui três classes de avaliação: abrangência do escoamento e localização de banheiros e

cozinha. Para essa etapa foram utilizados três fatores de avaliação desse nível que possuem diferentes prioridades (pesos) no cálculo do Índice de Desempenho Global da ventilação natural, onde as ponderações adotadas estão apresentadas no quadro 8.

Quadro 8 – Ponderações para o padrão de escoamento (1º nível)

Ponderações para o padrão de escoamento		
1	65%	Abrangência do escoamento
3	20%	Localização do banheiro
4	15%	Localização da cozinha

Fonte: Adaptado de Toledo (2006)

Observa-se que os pontos mais relevantes são quanto à abrangência do escoamento e aos níveis de percurso, visto que estão associados ao permanente uso da unidade habitacional. Em contrapartida, a localização do banheiro e da cozinha se apresentam menos significativas, uma vez que a possibilidade de causarem influência desagradável são relacionadas às horas em que estão em uso.

3.3.2.2. Potencial sazonal dos ventos regionais

A obtenção do potencial sazonal dos ventos se deu através de duas etapas: (1) identificação das três direções de ventos mais predominantes nas cidades, as quais foram selecionadas para os experimentos e; (2) organização apenas das frequências dos ventos dessas três direções encontradas, uma vez que foram utilizadas em etapas subsequentes.

De modo a alcançar a primeira etapa, utilizou-se a rosa dos ventos das cidades analisadas para obtenção da frequência de ocorrência dos ventos em cada estação do ano e em cada uma das oito direções (norte - N, nordeste - NE, leste - L, sudeste - SE, sul - S, sudoeste - SO, oeste - O e, noroeste - NO). Para tanto, verificou-se os dados através do programa SOL-AR, que necessitou da inserção de arquivos climáticos em formato CSV (*Comma separated values* - Valores separados por vírgulas).

Dentre as 29 cidades que tiveram seus COEs verificados na presente pesquisa, foram selecionadas oito cidades para inclusão nessa etapa, uma para cada Zona Bioclimática brasileira. Como as cidades presentes na mesma ZB apresentam características climáticas semelhantes, considerou-se plausível a análise de oito cidades ao invés das 29.

Para as ZBs que possuíam mais de uma cidade pertencente a ela, utilizou-se como critério de seleção o mesmo na definição das cidades das ZBs 2 e 5, ou seja, aquele relacionado ao maior número de habitantes e fácil obtenção à legislação e arquivos climáticos compatíveis com o programa SOL-AR. Após esta seleção, foram obtidos dados referentes à frequência de ocorrência dos ventos (em porcentagem) em cada estação do ano (quadro 9),

para então serem encontradas as três direções de ventos mais predominantes a serem analisados nos experimentos.

Quadro 9 – Cidades e suas frequências de ocorrência de ventos por estação do ano
(continua)

Cidades e suas frequências de ocorrência de ventos por estação do ano (%)						
Cidade/UF	ZB	Orientações	Estações do ano			
			Primavera	Verão	Outono	Inverno
Curitiba – PR	1	N	3,25	2,68	4,72	6,76
		NE	16,88	11,27	16,26	28,91
		L	50,93	39,01	23,81	29,80
		SE	9,46	17,79	7,14	3,47
		S	2,37	2,54	4,63	1,78
		SO	5,71	3,00	9,48	6,67
		O	5,61	9,25	16,76	9,16
		NO	4,64	9,95	11,81	11,21
Piracicaba - SP	2	N	4,22	5,77	4,76	4,00
		NE	8,63	11,83	10,20	10,72
		L	21,01	26,67	30,32	37,63
		SE	28,53	20,94	18,24	17,13
		S	17,67	7,04	10,56	12,06
		SO	7,84	6,29	6,56	5,03
		O	5,94	10,85	10,51	7,03
		NO	4,31	8,17	6,47	4,80
São Paulo - SP	3	N	1,95	9,20	9,48	4,09
		NE	7,88	8,97	9,66	11,92
		L	30,80	24,88	20,13	22,42
		SE	30,94	27,32	23,05	20,64
		S	13,27	12,77	13,75	8,05
		SO	2,23	1,74	2,56	1,07
		O	4,31	2,96	3,86	2,40
		NO	7,79	11,41	16,08	5,69
Brasília – DF	4	N	10,06	9,62	3,55	1,91
		NE	13,36	18,54	8,63	7,96
		L	21,89	28,87	38,95	49,78
		SE	11,18	10,42	23,72	24,87
		S	6,68	5,49	7,59	6,76
		SO	4,87	6,10	3,23	1,78
		O	9,93	6,34	3,32	1,29
		NO	18,74	10,00	5,21	2,67
Governador Valadares - MG	5	N	14,42	15,49	24,35	21,89
		NE	15,07	13,71	10,87	14,15
		L	23,24	21,31	13,39	18,46
		SE	16,74	17,42	14,47	12,63
		S	5,29	5,49	6,69	4,89
		SO	3,39	3,24	4,22	3,38
		O	3,80	3,19	3,59	3,34
		NO	9,00	10,38	11,05	9,88
Goiânia - GO	6	N	8,72	12,91	6,06	4,98
		NE	8,49	8,78	8,22	8,72
		L	14,75	11,83	22,42	24,78
		SE	21,47	11,92	31,09	30,52
		S	8,40	3,76	6,20	9,79
		SO	7,56	3,15	3,41	6,90
		O	8,21	7,37	5,71	4,67
		NO	12,89	21,60	5,84	4,27

Quadro 9 – Cidades e suas frequências de ocorrência de ventos por estação do ano (conclusão)

Cidades e suas frequências de ocorrência de ventos por estação do ano (%)						
Cidade/UF	ZB	Orientações	Estações do ano			
			Primavera	Verão	Outono	Inverno
Teresina - PI	7	N	23,15	4,86	12,23	8,54
		NE	10,27	4,52	8,48	4,95
		L	11,20	3,55	11,62	6,41
		SE	14,97	5,24	16,84	17,55
		S	8,74	3,68	9,46	15,73
		SO	4,76	2,15	4,78	3,86
		O	5,45	2,28	4,93	2,47
		NO	7,61	1,48	7,58	2,64
Rio de Janeiro - RJ	8	N	1,86	3,90	3,50	2,98
		NE	10,53	13,29	11,95	13,35
		L	21,43	12,25	9,84	11,57
		SE	16,56	15,02	8,81	10,50
		S	9,23	8,87	6,15	5,52
		SO	4,41	3,90	5,26	4,18
		O	19,81	18,45	22,60	19,80
		NO	5,15	9,34	9,70	7,47

Legenda

 Maiores valores de frequência por direção de vento e estação do ano em cada cidade
Fonte: Autora (2021)

Após a coleta das frequências de ocorrência de ventos, destacou-se em amarelo no quadro 9 as três maiores frequências de cada estação do ano e em cada cidade. Em seguida, realizou-se uma contagem do número de repetição de cada direção de vento destacada, obtendo-se a presença de: 8 vezes a direção norte e sul, 17 vezes a nordeste, 28 vezes a leste, 26 vezes a sudeste e, 5 vezes a direção oeste e noroeste. Pode-se perceber que as três direções de ventos que apresentaram maiores valores de frequência de ocorrência e que foram mais comuns entre as cidades são: nordeste, leste e sudeste. Devido a isso, essas direções de vento foram as selecionadas para os experimentos. Mas, vale ressaltar que cada cidade possui direções de ventos mais representativas em cada estação de ano e que poderiam ser consideradas em análises futuras, contudo, adotou-se as três direções de ventos mais presentes nas oito cidades de maneira a abranger a maioria das situações.

Posterior à obtenção das três direções de ventos, produziu-se a segunda etapa desse item, que é organizar os dados de frequência de ocorrência dos ventos em cada cidade nas orientações nordeste, leste e sudeste (quadro 10) e para cada estação do ano, visto que, os dados foram empregados em fases futuras.

Quadro 10 – Potencial sazonal (frequência de ocorrência) dos ventos regionais por estação do ano e nas direções nordeste, leste e sudeste

Cidades e suas frequências de ocorrência de ventos por estação do ano e nas direções NE, L e SE						
Cidade/UF	ZB	Orientações	Estações do ano			
			Primavera	Verão	Outono	Inverno
Curitiba – PR	1	NE	16,88	11,27	16,26	28,91
		L	50,93	39,01	23,81	29,80
		SE	9,46	17,79	7,14	3,47
Piracicaba - SP	2	NE	8,63	11,83	10,20	10,72
		L	21,01	26,67	30,32	37,63
		SE	28,53	20,94	18,24	17,13
São Paulo - SP	3	NE	7,88	8,97	9,66	11,92
		L	30,80	24,88	20,13	22,42
		SE	30,94	27,32	23,05	20,64
Brasília – DF	4	NE	13,36	18,54	8,63	7,96
		L	21,89	28,87	38,95	49,78
		SE	11,18	10,42	23,72	24,87
Governador Valadares - MG	5	NE	15,07	13,71	10,87	14,15
		L	23,24	21,31	13,39	18,46
		SE	16,74	17,42	14,47	12,63
Goiânia - GO	6	NE	8,49	8,78	8,22	8,72
		L	14,75	11,83	22,42	24,78
		SE	21,47	11,92	31,09	30,52
Teresina – PI	7	NE	10,27	4,52	8,48	4,95
		L	11,20	3,55	11,62	6,41
		SE	14,97	5,24	16,84	17,55
Rio de Janeiro - RJ	8	NE	10,53	13,29	11,95	13,35
		L	21,43	12,25	9,84	11,57
		SE	16,56	15,02	8,81	10,50

Fonte: Autora (2021)

3.3.2.3. Desejabilidade sazonal da ventilação natural

Para averiguar esse item nas cidades selecionadas adotou-se duas fases: (1) utilização da plataforma *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (Projetee)*, para verificar a porcentagem requerida da ventilação natural para cada estação do ano em cada uma das oito cidades e; (2) realização de ponderação proporcional a cada estação do ano conforme os resultados obtidos na análise da primeira etapa. Vale salientar que essas ponderações foram aplicadas em etapas posteriores de análises.

Na primeira fase desse nível empregou-se a plataforma *Projetee*, que expõe dados climáticos de mais de 400 cidades do Brasil, além de indicar estratégias de projeto mais adequadas com o contexto climático regional, e detalhes da aplicabilidade de cada uma delas conforme a carta bioclimática de Givoni. Diante disso, uma das estratégias verificadas foi a de ventilação natural por estação do ano, disponível de forma objetiva dentro da plataforma.

Nesse contexto, coletou-se os percentuais requeridos de ventilação natural para cada estação do ano e em cada uma das oito cidades fornecidos dentro da plataforma (desejabilidade sazonal da ventilação natural), conforme apresentado no quadro 11. Através da observação do mesmo, percebeu-se que a estação do verão foi a que apresentou maior

porcentual na maioria das cidades. Um dado evidente, uma vez que nessa época do ano as temperaturas são mais elevadas, e a necessidade por ventilação natural para contribuir no conforto térmico torna-se fundamental, ao contrário de épocas do ano com temperaturas mais baixas, como no caso do inverno, onde é menor a necessidade de ventilação natural para suprir o desconforto térmico por calor.

Quadro 11 – Desejabilidade sazonal da ventilação natural

Desejabilidade sazonal da ventilação natural (%)					
Cidade/UF	ZB	Estações do ano			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Curitiba – PR	1	21	6	4	7
Piracicaba - SP	2	47	19	5	20
São Paulo - SP	3	40	8	4	9
Brasília – DF	4	37	15	9	23
Governador Valadares - MG	5	52	46	19	42
Goiânia - GO	6	53	30	11	30
Teresina – PI	7	55	61	18	19
Rio de Janeiro - RJ	8	60	51	40	59

Fonte: Autora (2021)

Diante do exposto, para a realização da segunda etapa desse nível considerou-se a produção de uma ponderação proporcional a cada estação do ano, ou seja, a estação do ano que apresentou maior porcentual naquela cidade recebeu maior peso, e assim sucessivamente em ordem decrescente os pesos foram dados (quadro 12). Dessa forma, adotou-se uma classificação de pesos: 1ª posição com peso 40 para estação do ano com maior porcentual de desejabilidade da ventilação natural dentro daquela cidade; 2ª posição recebeu peso 30 para a estação seguinte de maior porcentual; 3ª posição com peso 20 e, 4ª posição recebeu peso 10, relativo à estação do ano que apresentou menor porcentual.

Quadro 12 – Ponderação de desejabilidade sazonal da ventilação natural

Ponderação de desejabilidade sazonal da ventilação natural (%)					
Cidade/UF	ZB	Estações do ano			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Curitiba – PR	1	40	20	10	30
Piracicaba - SP	2				
São Paulo - SP	3				
Brasília – DF	4				
Governador Valadares - MG	5	40	30	10	20
Goiânia - GO	6	40	25		25
Teresina - PI	7	30	40		20
Rio de Janeiro - RJ	8	40	20		30

Fonte: Autora (2021)

Destaca-se que na cidade de Goiânia, os percentuais de desejabilidade de ventilação natural para o outono e primavera foram os mesmos conforme análise do quadro 11, por isso, somou-se as ponderações referentes à segunda e terceira posição no grau de peso, que são 30

e 20, e em seguida dividiu-se igualmente a média encontrada entre as estações de outono e primavera, resultando em peso 25 para cada uma delas.

3.3.2.4. Índices de Desempenho Global e Parciais

Para determinar os valores dos índices de desempenho tanto globais quanto parciais, foram utilizadas planilhas de cálculo dos índices de desempenho adaptadas de Toledo (2006). Isto é, após realização das etapas anteriores, foi possível classificar o desempenho da ventilação natural através dos dados coletados e inseridos nas duas planilhas presentes nos apêndices A e B. A primeira planilha refere-se aos Índices de Desempenho Parciais de Direção de Vento (IDP-Vento) formada por três partes e seus respectivos pesos atribuídos: abrangência do escoamento (peso 65), localização do banheiro (peso 20) e localização da cozinha (peso 15), conforme exposto no quadro 8, este referente às ponderações para o padrão de escoamento de ar nos ambientes internos. Destaca-se que os valores dos padrões de escoamento de ar obtidos na planilha do IDP-Vento foram utilizados na segunda planilha, exposta adiante. A segunda planilha concerne aos Índices de Desempenho Parciais de Estação (IDP-Estação) e aos Índices de Desempenho Globais da ventilação natural (IDG-VN), organizada em categorias: padrão de escoamento do ar, potencial de ventos e desejabilidade sazonal da ventilação natural.

As planilhas de cálculo, aqui utilizadas, possuem a maioria dos critérios estabelecidos por Toledo (2006), apresentando apenas dois ajustes na primeira planilha (IDP-Vento), os quais foram considerados para adaptá-la na presente pesquisa. Contextualizando, relembra-se que essa planilha utilizada pelo autor considera a abrangência do escoamento, níveis de percurso, localização de banheiros e localização da cozinha – anexo A. Entretanto, como a UH de HIS analisada no presente estudo se trata de uma habitação menor, ao contrário dos quatro edifícios e 16 apartamentos verificados pelo autor, que possuem dimensão maiores, adotou-se algumas modificações, sendo elas: (1) exclusão da parte de níveis de percurso para efeito de cálculo, uma vez que a HIS da pesquisa em questão possui poucos níveis de percurso do ar desde a abertura entrada até a saída, pois o máximo de ambientes que o ar percorreria seriam três, sendo uma quantidade pequena para inserção na tabela de cálculo diante dos sete níveis de impacto proposto pelo autor; (2) realocação dos 25% que eram destinados aos níveis de percurso conforme planilha do autor, e designá-los à parte de abrangência do escoamento (antes 40% e agora 65% com o acréscimo dos 25% dos níveis de percurso realocados). Destaca-se que os níveis de percurso foram retirados da planilha de cálculo, contudo, eles ainda são analisados dentro do MASQ-Vento na parte do sistema dinâmico.

Os valores finais obtidos nas planilhas possuem níveis de classificação para seu desempenho com diferentes pontuações que vão do ótimo ao péssimo, como exposto no quadro 13. A classificação vai da posição 1 (ótimo) à posição 7 (péssimo), apresentando ainda valores de desempenho aceitáveis que se encontram nas posições 2, 3 e 4 (muito bom, bom e razoável respectivamente). Os desempenhos identificados nas posições 5, 6 e 7 (ruim, muito ruim e péssimo respectivamente) serão inaceitáveis, e aquelas posições que obtiverem a posição 1 ou 2, serão os de melhores desempenhos, classificadas como ótimas.

Quadro 13 – Classificação dos desempenhos

Classificação dos desempenhos		
Posição	Resultado obtido na planilha de cálculo	Nível de classificação
1	9 e 10	Ótimo
2	8 e 9	Muito bom
3	7 e 8	Bom
4	5 e 7	Razoável
5	4 e 5	Ruim
6	2 e 4	Muito ruim
7	0 e 2	Péssimo

Fonte: Adaptado de Toledo (2006)

3.4. REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NA MESA D'ÁGUA

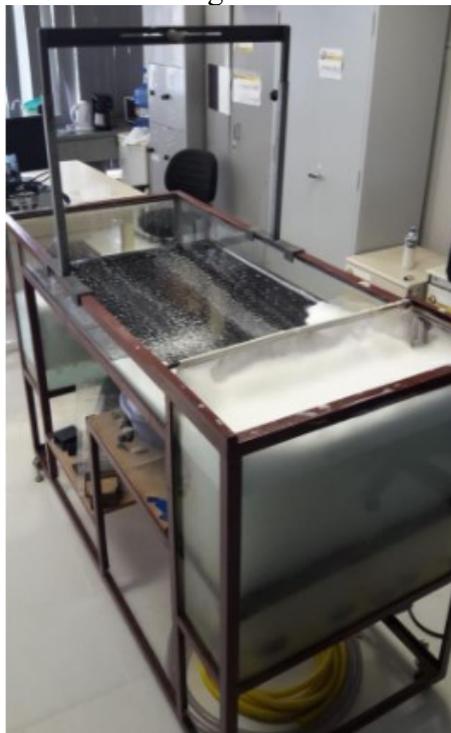
A realização dos experimentos divide-se em quatro etapas: a primeira se refere à caracterização do equipamento mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); a segunda diz respeito aos casos analisados, compreendendo o caso base e configuração das variáveis; a terceira está relacionada à definição dos modelos físicos reduzidos (maquetes) que foram utilizados; e quarta fase relativo aos ensaios realizados na mesa d'água.

3.4.1. Equipamento utilizado: caracterização da mesa d'água

Diante das informações expostas na revisão bibliográfica, descartou-se o uso de *softwares* de simulação computacional e túnel de vento para a pesquisa em questão, visto que o primeiro necessita de conhecimento específico sobre a dinâmica dos fluidos e equipamento de alta capacidade de processamento e memória; o segundo precisa de equipamentos próprios para construção sua construção, amplo espaço físico para sua instalação, além de mão de obra especializada para seu manuseio. As características citadas são limitações encontradas pela pesquisadora, e em virtude disso, optou-se pelo uso da mesa d'água para a realização dos experimentos.

A mesa d'água utilizada (figura 27) para a realização dos ensaios foi a do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). De acordo com Toledo e Pereira (2003), o equipamento possui dimensões gerais externas com medidas de 1,70 m de largura, 0,75 m de largura e 1,17 m de altura. Além disso, ele é formado por uma placa horizontal de vidro com dimensões de 1,20 m de comprimento por 0,71 m de largura, e está fixada em estrutura de perfis metálicos, na qual há o escoamento de água ao longo de seu comprimento, a uma velocidade uniforme definida pelo usuário por meio da escolha de determinada frequência.

Figura 26 – Mesa d'água do LabCon da UFSC



Fonte: Autora (2020)

O equipamento é formado por dois tanques de água localizados nas laterais da mesa d'água com fechamento de vidros transparentes. Um dos tanques corresponde ao tanque inicial (por onde a água vem, o montante) e o outro refere-se ao tanque final (para onde a água escoar, a jusante), com capacidade para 90 litros cada. Entretanto, a mesa d'água funciona com 120 litros de água que são distribuídos entre os dois tanques, sendo 90 litros (capacidade total do tanque para o reservatório inicial e 30 litros (1/3 da capacidade do tanque) para o reservatório final. Esses tanques estão interligados por uma área de ensaio (placa horizontal supracitada) sobre a qual posiciona-se uma maquete física (TOLEDO, 2006).

A mesa d'água possui seu funcionamento em ciclo fechado, ou seja, assim que os tanques de água estão na quantidade ideal, a mesma fica recirculando de um tanque para outro passando pela área de ensaio e conseqüentemente pela maquete disposta sobre a mesa. Mas

para tanto, tem-se o auxílio de bombas e energia elétrica para ativar o bombeamento. Nesse sentido, nota-se que o sistema é formado pelo hidráulico e pelo elétrico.

O sistema hidráulico compõe-se de uma tubulação principal de 1” que interliga os reservatórios pela parte inferior. A tubulação inicia com uma boca de entrada (flange de 1”), protegida por tela, no reservatório jusante e termina em um tubo transversal com vários furos, direcionados para o fundo do reservatório montante. Há dois registros de passagem no sistema: um para a água (1”), situado na tubulação principal; e outro para entrada de ar (3/4”), situado numa derivação da tubulação principal — sendo que ambos estão localizados antes do motor. O sistema elétrico compõe-se de um motor de 0.75 HP de potência e 60 Hz de frequência máxima, que equivale a uma vazão máxima de 9,60 m³/h, e por um inversor de 200 - 240 VAC de potência e 50/60 Hz de frequência máxima — que serve para controlar a vazão. O motor e o inversor impulsionam a água do reservatório jusante para o montante, passando pelo tubo transversal (TOLEDO, 2006, p. 73).

O equipamento também possui um suporte central acima da área de ensaio que permitiu a fixação de *smartphone* para registros fotográficos e filmagens durante os experimentos de visualização do fluido na maquete física reduzida.

Além das características técnicas do equipamento que auxiliaram na compreensão de seu funcionamento, a mesa d’água foi de suma importância para o desenvolvimento de uma das etapas da pesquisa, apresentando alcance satisfatório diante do contexto da temática do presente trabalho, que apesar das limitações da ferramenta supracitadas no item 2.1.3.1, suas vantagens, também apresentadas no item 2.1.3.1, foram compatíveis para alcançar os objetivos.

3.4.2. Casos analisados: caso base e configurações das variáveis

Nesse tópico são apresentados os casos analisados derivados da HIS representativa, esta apresentada no item 3.2 sobre a seleção e caracterização do modelo estudado nessa pesquisa.

3.4.2.1. Definição do caso base

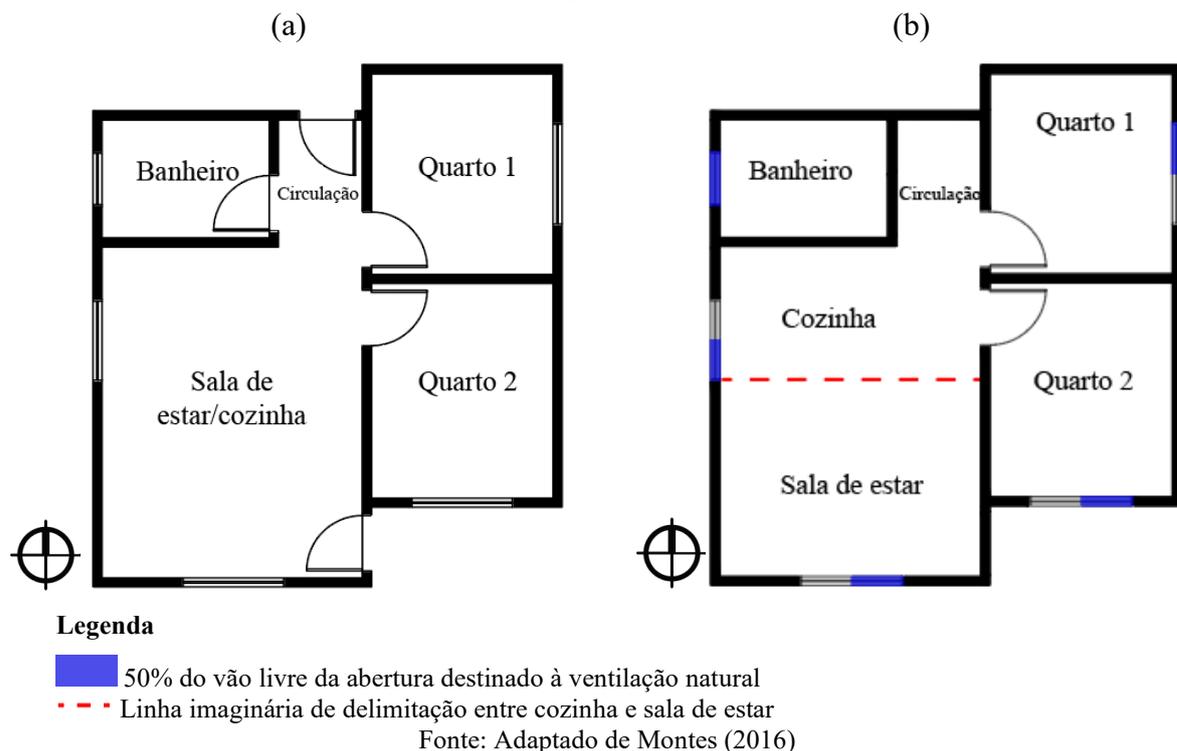
Como supracitado, a presente pesquisa selecionou a HIS representativa obtida por Montes (2016), a mesma utilizada nas simulações computacionais pela Comissão de Estudos CE-002:136.001 para revisão do item de desempenho térmico da ABNT NBR 15575. A referida norma apresenta em seu tópico sobre o procedimento de simulação, como deve ser a modelagem com e sem o uso de ventilação natural. Ou seja, conforme a ABNT NBR 15575, a configuração das aberturas a se adotar durante as simulações computacionais quando se considera o uso da ventilação natural é: portas externas e do banheiro fechadas, portas internas abertas, e todas as janelas abertas. Diante disso, optou-se em utilizar a configuração

de aberturas adotada pela norma para a criação do caso base a ser testado e comparado com os demais testes realizados na mesa d'água.

Na figura 27 pode-se comparar a HIS representativa e o caso base derivado da mesma. Percebe-se que na figura 28a, a cozinha e sala de estar são ambientes integrados, todavia, para o desenvolvimento e otimização da pesquisa em questão criou-se uma linha imaginária para delimitar a área de cozinha e sala de estar da UH (figura 28b), uma vez que esses ambientes foram analisados individualmente em algumas etapas.

Além disso, considerou-se para o caso base a mesma localização e posicionamento das janelas dos quartos utilizada nas simulações computacionais da revisão da ABNT NBR 15575, isto é, nota-se que a abertura externa do quarto 1 está em parede oposta à porta, já no quarto 2, a abertura externa encontra-se em parede adjacente à porta.

Figura 27 – Habitação de interesse social: (a) HIS representativa definida por Montes (2016) e, (b) Caso base com as características de configuração de aberturas conforme a ABNT NBR 15575



Acrescenta-se ainda que, dos 100% de abertura da janela destinados a iluminação e ventilação natural, 50% devem ser destinados à ventilação natural, conforme estabelecido em muitas legislações. Em virtude disso, pode-se observar na figura 26b que os destaques em azuis nas janelas representam o vão livre considerado no experimento do caso base, ou seja, as janelas dos APP possuem 50% de vão livre, destinado à ventilação natural, sendo o lado

esquerdo o vão sem obstrução (considerando-se estar dentro do ambiente e de frente para a abertura). Já no banheiro optou-se em deixar a abertura em 100% de vão livre.

Os valores de abertura destinados aos APP são características coincidentes com a tipologia da janela de correr, esta caracterizada por Montes (2016) como a janela utilizada na HIS representativa, e nesse caso considerada no presente estudo. A tipologia apresenta 50% de seu vão obstruído pela folha da janela, e os outros 50% são de vão livre destinado à ventilação natural.

3.4.2.2. Configurações das variáveis a partir da HIS representativa

Diante das informações analisadas na revisão de literatura, as variáveis estabelecidas para os experimentos foram a partir de diferentes parâmetros de configuração de abertura com o intuito de analisar o efeito combinado no desempenho da ventilação natural. Dessa forma, as variáveis são quanto à localização (parede oposta e parede adjacente), ao posicionamento da abertura destinadas à ventilação natural (centralizada na parede, lateral ou diagonal), e ao ângulo de incidência do vento (direção do vento) sobre a face da parede leste dos quartos conforme orientação solar exposta no caso base (figura 28). Vale salientar que, associa-se o ângulo de incidência do vento não como um ângulo sobre a face a barlavento, mas como o ângulo correspondente à uma das faixas de direção de ventos, que abrangem as orientações: zero graus a orientação Norte, 45° o Nordeste, 90° o Leste, 135° o Sudeste, 180° o Sul, 225° o Sudoeste, 270° o Oeste e, 315° o Noroeste. Coincidentemente, os ângulos formados sobre a face a barlavento (leste) no caso base é o mesmo ângulo de direção do vento quando analisada as rosas dos ventos das cidades.

No que se refere à configuração de aberturas supracitada, esta se dará apenas nas aberturas dos quartos, ou seja, as aberturas externas (janelas) e as internas (portas com alteração da porosidade das mesmas por meio da bandeira acima delas) serão as consideradas como variáveis para mudança de localização, posicionamento. Apesar de serem apenas as aberturas dos quartos como variáveis, todos os ambientes terão a avaliação do desempenho da ventilação natural.

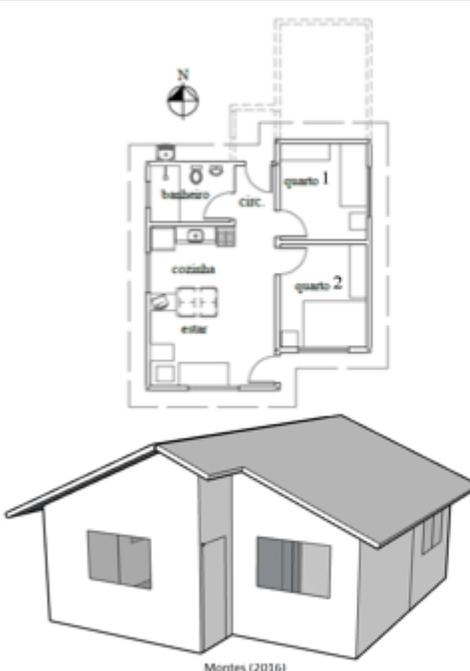
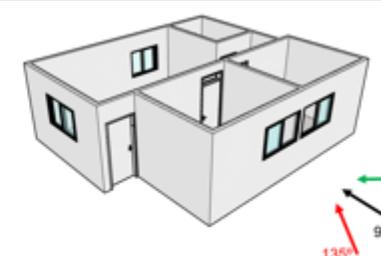
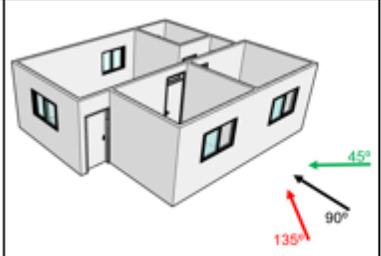
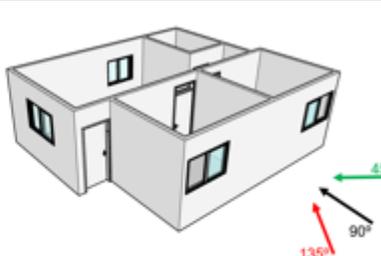
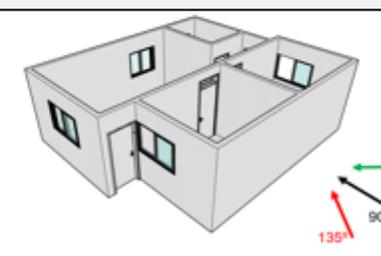
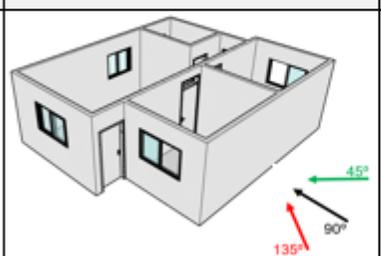
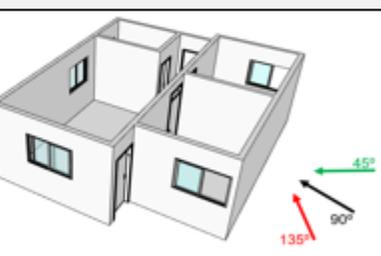
Os planos de visualização do escoamento do fluido para análise do fluxo de ar no ambiente interno foram de duas formas: plano horizontal e plano vertical. Para o plano horizontal, ou seja, para os testes dos modelos em planta baixa, foram avaliadas todas as variáveis mencionadas. No plano vertical, caracterizados pelos modelos em corte, foram analisados modelos com a porta e bandeira aberta, outro ensaio com porta fechada e bandeira aberta, e um último com porta e bandeira fechadas. Destaca-se que foi oportuno analisar o

comportamento do fluxo de ar nas condições em corte com o incremento do elemento acima da porta, de maneira a investigar a porosidade das portas internas.

Vale salientar que, de forma bidimensional em planta baixa quando as aberturas internas dos quartos são consideradas abertas, não é possível identificar quais das situações podem ser: se é (1) apenas porta aberta; (2) apenas bandeira aberta; ou (3) porta e bandeira abertas. Isso demonstra uma limitação da análise bidimensional da ventilação natural no equipamento mesa d'água. Entretanto, há meios complementares de análise a partir da verificação do fenômeno em corte, levando em consideração as situações supracitadas. Por isso houve a inclusão de cortes, para analisar essas condições, ainda que também de maneira bidimensional serviram para averiguar o comportamento do fluxo de ar nos ambientes internos.

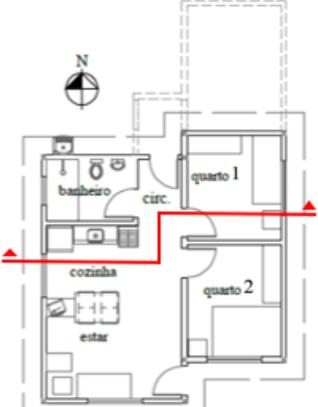
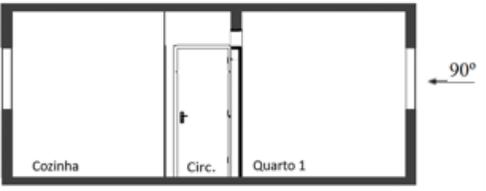
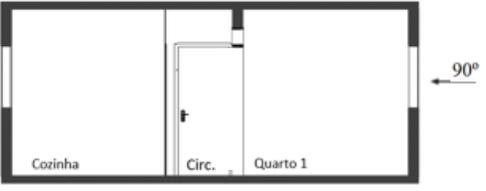
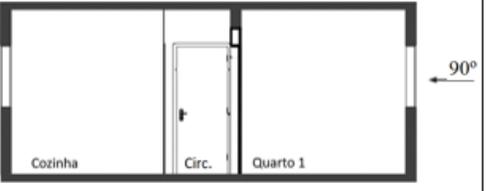
Diante do exposto, considerou-se dois grupos de experimentos (quadro 14 e 15) correspondentes às situações de análise em planta baixa (grupo 01) e verificação em corte (grupo 02). O primeiro grupo, diz respeito a deixar apenas uma abertura externa, esta com área de vão livre para ventilação natural como parâmetro fixo ($1/12$ da área de piso do respectivo ambiente, sendo este valor metade de $1/6$ de vão de abertura estabelecido pela maioria dos COEs como supracitado), variando a localização, posicionamento das aberturas e direção do vento na face a barlavento para os casos em planta baixa (quadro 14). Já no segundo grupo de experimentos na situação em corte (quadro 15), foi possível analisar a porosidade das portas em relação a sua abertura e de sua bandeira acima dela.

Quadro 14 – Grupo 01 de experimentos: matriz e configurações das variáveis em planta baixa

GRUPO 01 - CONFIGURAÇÕES DAS VARIÁVEIS EM PLANTA BAIXA			
MATRIZ DO CASO BASE	1OL - Quarto1 (janela de correr com folha direita aberta) Quarto2 (janela de correr com folha esquerda aberta)	1OC - Quarto1 e 2 (janela de correr com folha esquerda aberta)	1OD - Quarto1 (janela de correr com folha esquerda aberta) Quarto2 (janela de correr com folha direita aberta)
 <p style="text-align: center; font-size: small;">Montes (2016)</p>			
	1AL - Quarto1 (janela de correr com folha esquerda aberta) Quarto2 (janela de correr com folha direita aberta)	1AC - Quarto1 e 2 (janela de correr com folha esquerda aberta)	1AD - Quarto1 (janela de correr com folha direita aberta) Quarto2 (janela de correr com folha esquerda aberta)
			
Total de experimentos em planta baixa = 18			
Legenda			
Situação da porta e bandeira	1. Porta fechada e bandeira aberta	Localização da abertura	Posicionamento da abertura
		O - abertura em paredes Opostas A - aberturas em paredes Adjacentes	C - centralizada D - diagonal L - lateral
			

Fonte: Autora (2021)

Quadro 15 – Grupo 02 de experimentos: matriz e configurações das variáveis em corte

MATRIZ DO CASO BASE	GRUPO 01 - CONFIGURAÇÕES DAS VARIÁVEIS EM CORTE		
	1. Porta fechada e bandeira aberta	2. Porta e bandeira abertas	3. Porta e bandeira fechadas
 <p>Montes (2016)</p>			
Total de experimentos em corte = 03			
Legenda			
Situação da porta e bandeira	1. Porta fechada e bandeira aberta 2. Porta e bandeira abertas 3. Porta e bandeira fechadas	Localização da abertura	O - abertura em paredes Opostas A - aberturas em paredes Adjacentes
Posicionamento da abertura	C - centralizada D - diagonal L - lateral	 Ângulo de incidência	

Fonte: Autora (2021)

Como mencionado, a limitação na análise em planta baixa é não identificar como se encontra a situação de abertura da porta e sua bandeira. Essa limitação é devido ao fato de que em planta baixa as dimensões observadas são relacionadas à largura e ao comprimento. Já nos cortes, as análises são relativas às alturas e comprimento dos elementos, por isso, as variáveis referentes à abertura de porta e bandeira foram facilitadas nos experimentos em corte (quadro 15), o que complementam os estudos em planta baixa.

Entretanto, nos cortes há outra limitação relacionada à direção do vento na face a barlavento, visto que, caso considerado as angulações de 45° e 135°, estes viriam da parte superior e inferior (normal a face a barlavento), o que poderia não representar o fluxo de ar vindo a nordeste e sudeste, posto que este pode vir de maneira mais horizontal sobre a face. Devido a esse fator, para os experimentos nos três cortes considerou-se o ângulo de incidência do vento a 90°, dado que essa angulação em planta baixa e em corte é a mesma.

Ressalta-se que para os testes o dimensionamento das aberturas se deu quanto à área mínima recomendada pelos COEs da maioria das cidades brasileiras analisadas, ou seja, 1/6 de área de abertura em relação à área de piso do respectivo ambiente. Para a ventilação natural, recomenda-se que a área de vão livre seja de 50% da abertura (o que corresponde a 1/12), assim como definido também pela maioria dos COEs. Ou seja, optou-se por deixar esse parâmetro fixo (1/12 de vão livre de abertura em relação à área de piso do ambiente, para o grupo 01 de experimentos) e variar a localização, posicionamento das aberturas, e ângulo de incidência do vento na face a barlavento, de modo a averiguar com mais precisão a influência da variação dos parâmetros propostos.

Destaca-se que não está sendo pautado se o dimensionamento de aberturas para iluminação e ventilação natural recomendado pelos COEs está ou não adequado, uma vez que o fator de análise do presente estudo não considera esse aspecto, mas, enfoca na análise da configuração de aberturas quanto à sua localização e posicionamento. Contudo, é importante considerar esse fator em futuros trabalhos, uma vez que se trata de um parâmetro que também impacta no desempenho da ventilação natural em ambientes internos.

O total de experimentos realizados na mesa d'água foi 24 (quadro 16), sendo 3 relacionados ao caso base (em planta baixa, um experimento para cada direção do vento: nordeste, leste e sudeste); grupo 01 com 18 experimentos em planta baixa e grupo 02 com 3 análises em corte.

Quadro 16 – Quantidade de experimentos

Grupo	Desenhos	Quantidade de experimentos
Caso Base	Planta baixa	3
Grupo 01	Planta baixa	18
Grupo 02	Corte	3
Total de experimentos		24

Fonte: Autora (2021)

3.4.3. Definição dos modelos físicos reduzidos

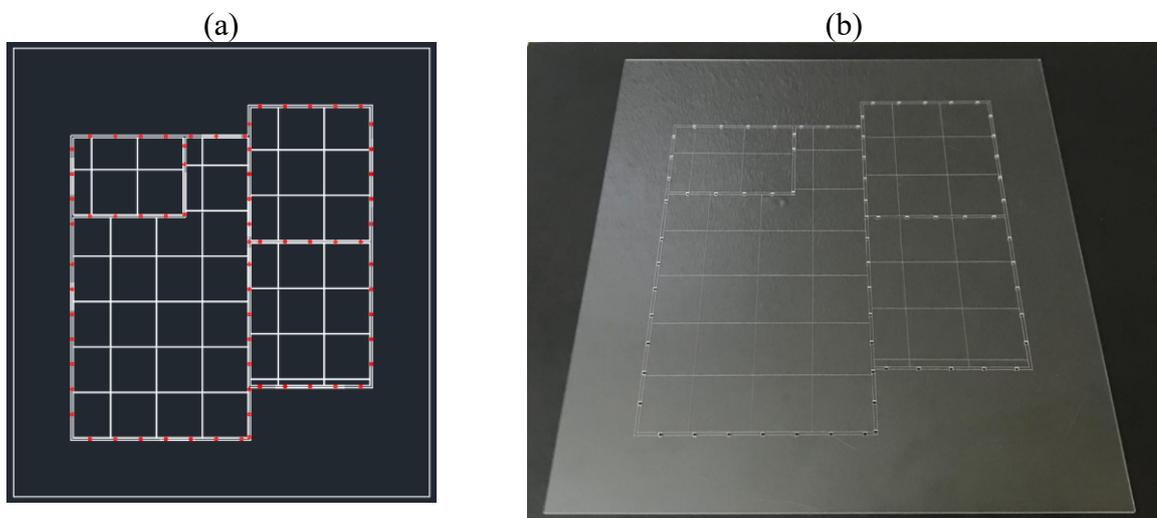
Primeiramente selecionou-se o material para a produção do modelo físico reduzido, e nesse caso, a escolha foi pelo acrílico transparente de 2mm de espessura. A preferência pelo material foi devido à sua praticidade de manuseio, resistência, impermeabilização e por não gerar interferências nas visualizações do fluido durante os ensaios na mesa d'água, como apontado por Xavier *et al.* (2020).

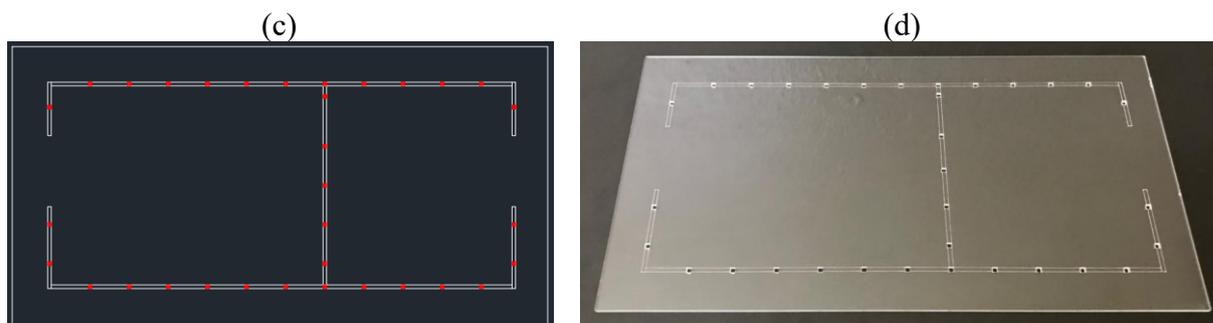
Após a seleção do material, a produção dos modelos físicos reduzidos seguiu para sua planificação, isto é, o piso e todas as paredes da Unidade Habitacional escolhida foram planificadas com o auxílio do programa AutoCAD®. Para tanto, desenhou-se inicialmente duas bases que apresentam modulação com marcação para furos (figura 29) destinadas a receber as paredes das plantas baixas e dos cortes. Nessas paredes foram desenhadas em sua parte inferior proeminências para encaixe nos furos da base modulada. A planificação da UH resultou o total de duas bases com furos e 58 paredes com proeminências para encaixes.

A modulação para os furos se destinou a facilitar a troca das peças durante a mudança das combinações dos diferentes tipos de testes. Posterior à finalização dos desenhos, o arquivo foi salvo em formato .PDF, exportado para o programa CorelDraw e salvo novamente, mas agora em formato .PLT que é compatível com o programa Cut Laser CA da máquina de corte a laser da marca Buye Laser 100 utilizada para obter precisão no corte das peças. E em virtude da precisão do corte, houve praticidade na realização dos ensaios no momento da alteração e encaixe das peças. Durante a montagem da maquete foi necessário adicionar fita adesiva nos encontros das paredes para melhor fixação, uma vez que os encaixes foram apenas entre as paredes e a base.

O sistema de encaixe foi satisfatório e permitiu a alteração da localização e posicionamento das aberturas de maneira prática. Dessa forma, utilizou-se apenas duas bases para receber os encaixes, uma destinada às paredes da planta baixa (figura 28a e 28b) e outra aos cortes (figura 29c e 29d).

Figura 28 – Base do modelo físico reduzido: (a) base modulada da planta baixa no AutoCAD; (b) base modulada da planta baixa em acrílico; (c) base modulada do corte no AutoCAD; (d) base modulada do corte em acrílico





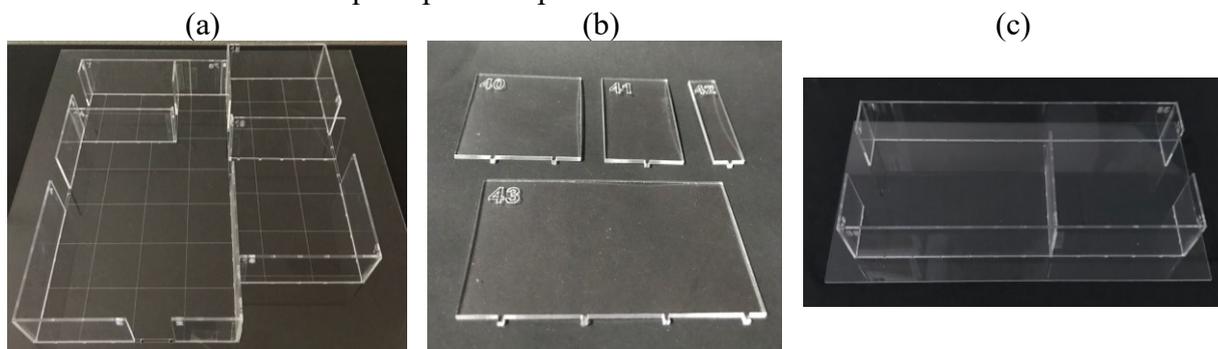
Fonte: Autora (2021)

O protótipo foi confeccionado na escala de 1:25, tamanho que permitiu praticidade no manuseio da maquete e possibilidade de centralizar o modelo com distância de 20cm em média das laterais do equipamento em relação à sua largura, o que favoreceu a redução de interferências ocasionadas pelos efeitos de bordas durante os experimentos na mesa d'água. Além disso, o protótipo possui altura das peças de 5cm, dimensão também satisfatória durante o manejo nos ensaios.

Assumiu-se um plano horizontal imaginário de 1,70 m de altura em relação ao piso, que representa uma linha de corte na planta baixa. Vale salientar que a altura estabelecida visa contemplar também a abertura externa do banheiro. Destaca-se ainda que diferentes alturas de peitoril das janelas não estão sendo avaliadas, apenas verificou-se a condição em que o peitoril é de 1,10m nos APPs, o qual pode ser visualizado no modelo em corte.

Na figura 29a está o modelo físico reduzido em planta baixa, na figura 29b algumas peças que exemplificam a composição das mesmas, estas com numeração e reentrâncias destinadas aos encaixes, presente em sua parte inferior e, na figura 29c está um dos modelos em corte.

Figura 29 – Modelo físico reduzido com peças de encaixe: (a) planta baixa; (b) exemplo das peças que representam as paredes com numeração e reentrância em parte inferior e (c) Corte C.1 que representa porta fechada e bandeira aberta



Fonte: Autora (2021)

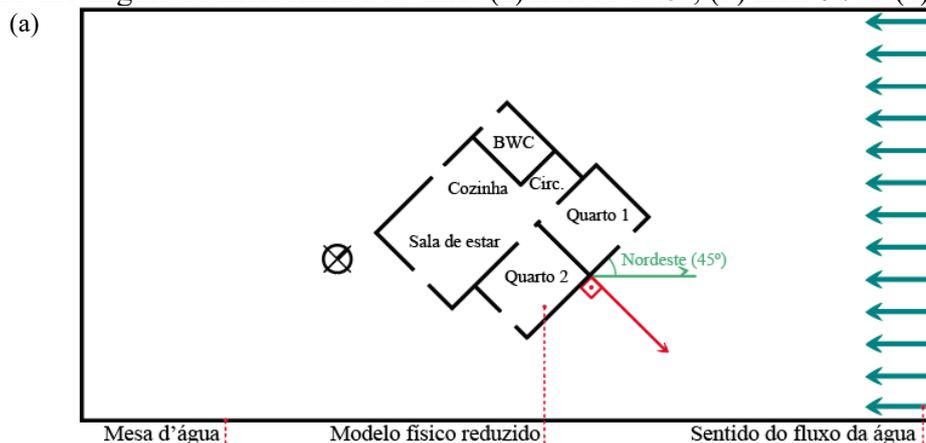
3.4.4. Ensaio na mesa d'água

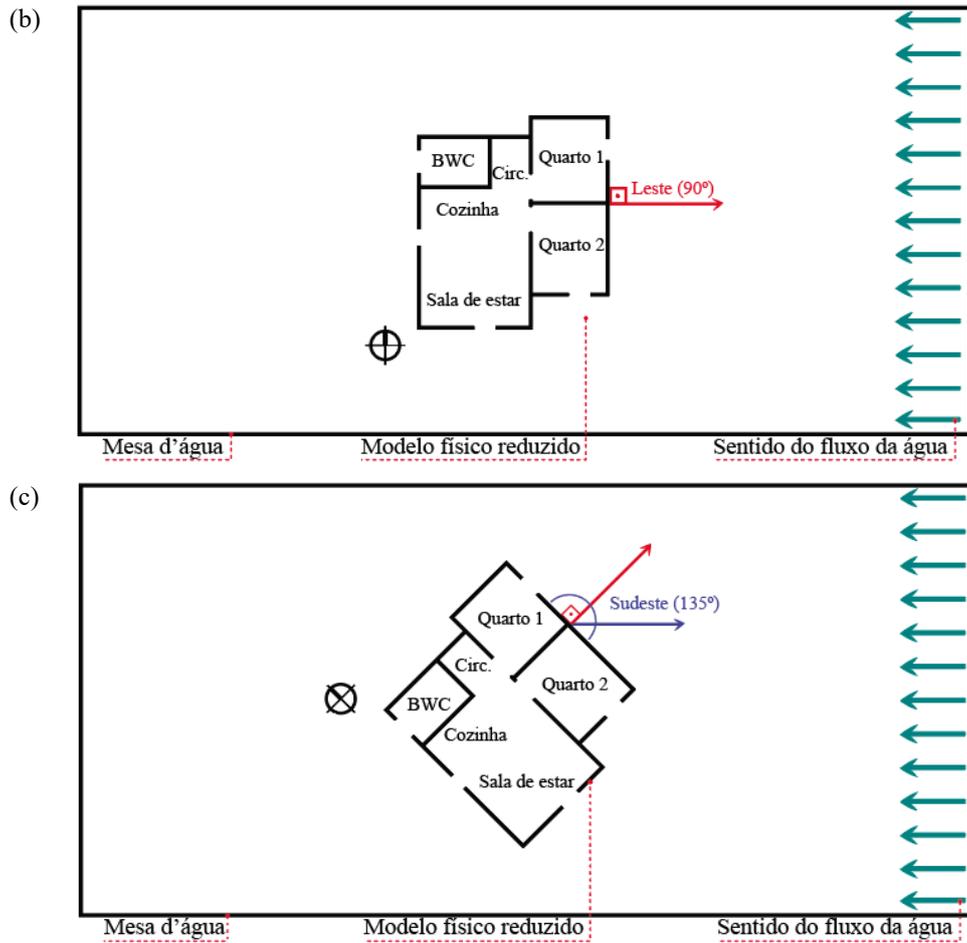
Para a realização dos experimentos na mesa d'água, o modelo físico reduzido foi analisado isoladamente, ou seja, as influências do entorno edificado e natural foram desconsideradas, então todos os testes possuem as mesmas condições de ensaio. Conforme Toledo (2006), para considerar esses fatores seria necessária modelagem tridimensional, contudo, esta é uma das limitações do equipamento e do método de visualização de escoamento do fluido. Há conhecimento das interferências do entorno no desempenho da ventilação natural, porém, diante do objetivo da presente pesquisa, optou-se em desconsiderá-lo como meio de focar apenas nos parâmetros de análise estabelecidos.

Para a realização dos experimentos, adotou-se o método do traçador e a técnica de injeção direta do indicador (detergente) que gera contraste com o plano de ensaio e a maquete, visto que são adequados para baixa velocidade e permite visualização rápida do fluxo de ar, como relatado por Toledo e Pereira (2003). Para tanto, o líquido continha solução de água e detergente, na proporção de 150 mililitros de detergente dissolvidos em 100 litros de água. Após encher a mesa d'água e adicionar o detergente, seguiu-se as instruções de acionamento do equipamento que consistiu em estabelecer o valor de 40Hz durante aproximadamente 5 minutos até a formação de espuma. Depois da espuma formada, reduziu-se o valor da frequência para 25Hz, uma vez que se considerou o regime de escoamento laminar e direção permanente, característico de escoamento de água a baixas velocidades.

Posterior à produção dos modelos físicos reduzidos e configuração da mesa d'água, a maquete foi disposta na parte central do plano de ensaio, de modo a reduzir os efeitos de borda nos experimentos. Na figura 30 é possível observar de maneira bidimensional esquemas do posicionamento do modelo físico reduzido na mesa d'água de acordo com os ângulos de incidência dos ventos analisados: nordeste (45°), leste (90°) e sudeste (135°).

Figura 30 – Posicionamento do modelo físico reduzido na mesa d'água em planta baixa conforme ângulo de incidência do vento: (a) nordeste 45°; (b) leste 90° e (c) sudeste 135°

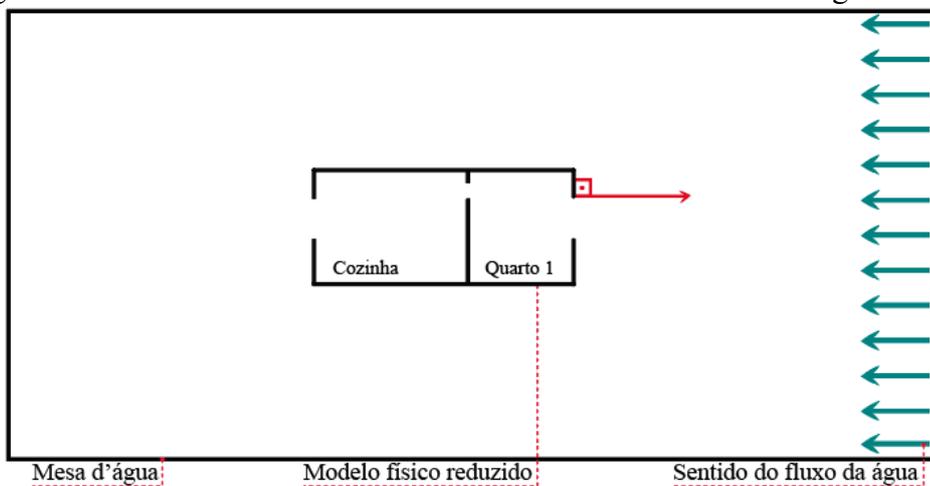




Fonte: Autora (2021)

O posicionamento da maquete em plano de corte está exposto na figura 31, onde os três cortes foram posicionados da mesma forma, ou seja, com o ângulo de incidência do vento a 90° em relação à face leste dos quartos, conforme supracitado.

Figura 31 – Posicionamento do modelo físico reduzido na mesa d'água: corte 1



Fonte: Autora (2021)

A cada experimento foram realizados registros fotográficos e filmagens por meio de *smartphone* fixado em um suporte situado a 60 cm de altura a partir do plano de ensaio da mesa d'água. A cada três testes era necessário limpar a maquete para retirar o excesso de espuma, bem como remover também o excedente de espuma formado no tanque da mesa d'água. Dessa forma, a quantidade de espuma é reduzida, assim como as interferências durante os experimentos e conseqüentemente em análises futuras.

3.5. ELABORAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS E SUGESTÕES PARA REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS

Após a realização das etapas anteriores, foram elaboradas recomendações projetuais e sugestões para regulamentações construtivas, de modo a contribuir com o ambiente construído. As sugestões e recomendações propostas foram relacionadas à configuração de aberturas referentes ao desempenho da ventilação natural em edificações, baseando-se nos resultados obtidos nos experimentos realizados na UH representativa de interesse social (unifamiliar térrea isolada), nas análises do Índice de Desempenho Global da ventilação natural, bem como na literatura clássica em relação a esse aspecto.

Além disso, foram averiguadas as particularidades das regulamentações construtivas analisadas na primeira etapa, de maneira que as sugestões projetuais e recomendações nas regulamentações construtivas sejam mais específicas a cada caso. Dessa forma, por meio dos resultados foi possível elaborar sugestões para melhoria do setor legislativo, normativo e conseqüentemente no construtivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados e discussão está organizada em três partes: (1) análise das regulamentações construtivas, que aborda a seleção dos COEs e a comparação entre as legislações e a ABNT NBR 15575 diante dos parâmetros referentes ao vão de abertura; (2) avaliação qualitativa do desempenho da ventilação natural, abrangendo os resultados obtidos por meio da aplicação do MASQ-Vento nos casos analisados; e (3) recomendações projetuais e sugestões para as regulamentações construtivas.

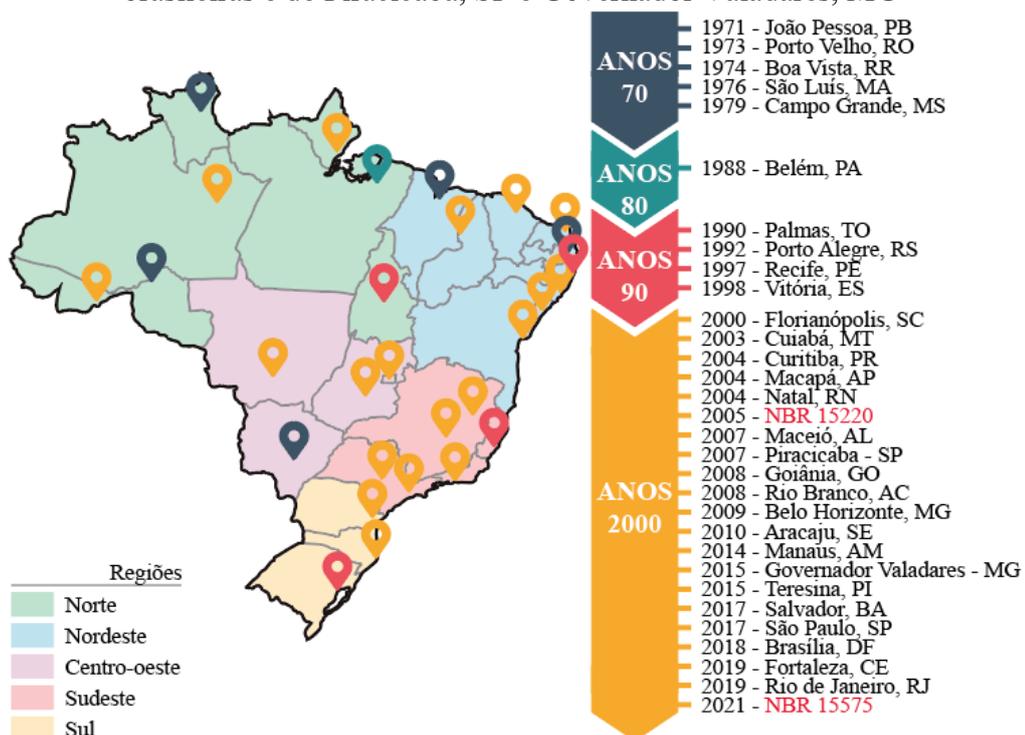
4.1. ANÁLISE DAS REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS

Parte dos resultados desse item já foram apresentados na pesquisa de Ribeiro e Fossati (2020), onde 17 COEs de capitais brasileiras após os anos 2000 foram analisados. Dessa forma, para complementar e alcançar um dos objetivos pretendidos na dissertação, os 12 COEs restantes para verificação foram acrescentados em tabelas expostas neste capítulo.

4.1.1. COEs selecionados para análise

Por meio da seleção dos COEs brasileiros, coletou-se inicialmente os anos de vigência dos mesmos para analisar como está a situação legislativa em termos de atualidade temporal. Dessa forma, produziu-se a figura 32 que apresenta a linha do tempo com os COEs, a ABNT NBR 15520 e a ABNT NBR 15575, com seus respectivos anos de vigência.

Figura 32 – Mapa do Brasil e linha do tempo com os anos de vigência dos COEs das capitais brasileiras e de Piracicaba, SP e Governador Valadares, MG



Fonte: Autora (2021)

Por meio da figura 33, verifica-se que o COE mais antigo dentre as capitais é o de João Pessoa - PB, do ano de 1971, e os códigos mais recentes são os das cidades de Fortaleza - CE, Rio de Janeiro - RJ e Santos - SP, em vigor desde 2019. Nota-se um intervalo temporal de 48 anos entre eles, o que pode refletir na obsolescência de muitos aspectos legislativos.

Através da figura 32 produziu-se o quadro 18, onde observa-se a relação quantitativa entre os COEs por período (a partir dos anos de 1970 até os anos 2000) em cada região brasileira, bem como a quantidade total de códigos presentes em cada década. Nota-se que os COEs vigentes a partir dos anos 2000 são os mais presentes no Brasil, com uma totalidade de 19 códigos em relação às 29 cidades analisadas, o que representa 65,52% do total. Em segundo lugar tem-se cinco códigos que fazem parte dos anos 70, condizentes à porcentagem de 17,24% da quantidade integral. Em seguida estão os anos 90 com quatro COEs (13,79%), ficando à frente dos anos 80 com um código (3,45%).

Quadro 17 – Quantidade de COEs por período e região brasileira

Região brasileira	Quantidade de COEs por período				Total de COEs analisados
	Anos 70	Anos 80	Anos 90	Anos 2000	
Norte	2	1	1	3	29
Nordeste	2	zero	1	6	
Centro-oeste	1	zero	zero	4	
Sudeste	zero	zero	1	3	
Sul	zero	zero	1	3	
Total	5	1	4	19	
Total em %	17,24	3,45	13,79	65,52	100%

Fonte: Autora (2021)

4.1.2. Verificação dos parâmetros referentes ao vão de abertura: análise comparativa dos COEs com a Norma de Desempenho

Como citado, parte dessa etapa foi resultado do estudo de Ribeiro e Fossati (2020), que apresenta a comparação dos parâmetros de desempenho térmico da ABNT NBR 15575 com os Códigos de Obras e Edificações. Ou seja, a análise comparativa das autoras se deu entre os parâmetros: transmitância térmica de coberturas, capacidade térmica e transmitância térmica de paredes externas, bem como o percentual destinado ao vão de abertura para ventilação natural (aspecto utilizado na presente pesquisa).

A área mínima destinada ao vão de ventilação recomendada pela ABNT NBR 15575 é indicada em porcentagem e calculada de acordo com a área de piso do respectivo ambiente, assim como pelos COEs. Na norma, esse critério é aplicado apenas aos APPs (salas, cozinhas e quartos). Os ambientes necessitam possuir aberturas voltadas ao exterior e destinadas à ventilação natural com áreas mínimas que atendam legislações regionais, como os COEs, Códigos Sanitários e quaisquer outras regulamentações equivalentes. Contudo, na ausência de

legislação local que englobe esse aspecto, deve-se consultar a Norma de Desempenho Habitacional e verificar os valores normativos de acordo com a ZB da região de estudo. Por meio do quadro 19 verificam-se as dimensões mínimas recomendadas à ventilação natural presentes tanto na ABNT NBR 15575 quanto nos COEs selecionados.

Quadro 18 – Parâmetro mínimo de desempenho térmico quanto ao percentual de abertura destinado à ventilação

Cidade/UF	ZB	Porcentual mínimo de vão de ventilação em relação à área de piso do ambiente	
		ABNT NBR 15575:2021	COE
Curitiba – PR	1	$P_{v,APP} \geq 7$ %	8,33 %
Piracicaba - SP	2		Indica atendimento às normas pertinentes
Florianópolis - SC	3		8,33 %
Belo Horizonte - MG			16,7 %
Porto Alegre - RS			8,33%
São Paulo - SP	4		Não menciona atendimento às normas pertinentes
Brasília – DF			12,55 %
Governador Valadares - MG			8,33%
Campo Grande - MS	6		14,28%
Goiânia - GO	7		14,22 %
Cuiabá - MT			Não menciona atendimento às normas pertinentes
Palmas - TO			16,67 %
Teresina – PI	$P_{v,APP} \geq 12$ %		8,33 %
Belém - PA			Não menciona atendimento às normas pertinentes
Macapá - AM			14 %
Boa Vista - RR		16,7 % para quarto e 12,50% para sala	
Porto Velho - RO		6,67%	
Rio Branco - AC		12,55 %	
Manaus – AM		20 %	
Natal – RN		16,7 %	
Maceió – AL		$P_{v,APP} \geq 8$ %	Não menciona atendimento às normas pertinentes
Aracaju – SE			16,7 %
João Pessoa - PB	16,7 %		
Recife - PE	16,67%		
Salvador – BA	10 %		
São Luís - MA	14,28%		
Fortaleza - CE	Indica atendimento às normas pertinentes		
Rio de Janeiro - RJ	8,33 %		
Vitória - ES	6,25 %		

Valor recomendado não atende à ABNT NBR 15575.

ZB – Zona Bioclimática | $P_{v,APP}$ – Percentual de Abertura para Ventilação em Ambientes de Permanência Prolongada. | NOTA: nas zonas de 1 a 6, as áreas mínimas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Fossati (2020)

Como observado no quadro 19, alguns COEs apresentam 8,33% como percentual mínimo destinado ao vão de abertura para ventilação natural. Essa porcentagem é decorrente da metade do valor de 1/6 (16,66%) estabelecido pelos códigos, que recomendam que metade da área do vão livre de abertura seja destinada à ventilação natural.

Conforme as investigações realizadas, averiguou-se que as legislações de Natal (2004), Goiânia (2008), Belo Horizonte (2009), Aracaju (2010), Manaus (2014), Brasília (2018), Campo Grande (1979), Palmas (1990), João Pessoa (1971), Recife (1997) e Boa Vista (1974) estabelecem indicações de dimensionamento mínimo iguais para ventilação e iluminação, sem especificar a porcentagem destinada à ventilação natural, que pode ocasionar possíveis dúvidas quanto à interpretação das informações. No quadro 19 considerou-se as porcentagens inteiras para análise comparativa com a ABNT NBR 15575. Entretanto, evidencia-se que se fosse levado em conta metade da porcentagem destinada à ventilação natural, o COE de Manaus que possui 20% de percentual destinado ao vão de abertura ficaria com 10% para ventilação, ou seja, estaria 2% abaixo do recomendado para a ZB a qual pertence. O mesmo caso ocorre nas legislações das cidades de Brasília (que ficaria com 6,27%), Boa vista (ficaria com 8,35% para quarto e 6,25% para sala) e Salvador (ficaria com 5%).

Códigos como os de Porto Alegre (1992), Vitória (1998) e Governador Valadares (2015) indicam que metade do vão da abertura seja destinado à ventilação natural. No caso da legislação de Vitória notou-se que apesar de estar estabelecido esse aspecto, o valor recomendado não se apresenta como suficiente ao atendimento à ABNT NBR 15575. O não atendimento em relação ao percentual de abertura também é observado no COE de Porto Velho, como destacado no quadro 19.

Algumas legislações recomendam que as dimensões mínimas para iluminação e ventilação ficam sob responsabilidade do profissional, e que ele deve buscar promover conforto aos usuários. Salieta-se que recomendações dessa natureza são genéricas e arriscadas para a construção civil, uma vez que conta apenas com o conhecimento e bom senso de projetistas, que muitas vezes estão reféns do mercado imobiliário que visam mais ao lucro do que o conforto dos ocupantes. Além disso, essas legislações não fazem referência a consulta em normas técnicas específicas, como é o caso dos COEs de Cuiabá (2003), Maceió (2007), São Paulo (2017). Então, foram classificados como não atendimento à Norma de Desempenho.

Na análise de Salvador (2017), constatou-se que não há especificação relacionada à

área mínima do vão de iluminação e ventilação conforme o ambiente, mas estabelece que unidades imobiliárias sejam iluminadas e ventiladas com aberturas que estejam voltadas ao exterior, e que as mesmas atendam a razão de 1/10 de área mínima nos espaços privativos da unidade imobiliária. Semelhante à legislação de Salvador, há a de Belém (1988) que recomenda que os ambientes devam possuir ventilação e iluminação natural, todavia, não especifica as dimensões adequadas.

As legislações mais atuais como as de Teresina (2015), Brasília (2018) e Fortaleza (2019), estabelecem que os profissionais consultem a Norma de Desempenho ou outras normas técnicas oficiais para pesquisas referentes ao dimensionamento do vão destinado à iluminação e ventilação naturais. O caso de Piracicaba (2007) é semelhante, uma vez que indica que se deve obedecer à legislação estadual pertinente e normas oficiais vigentes, contudo, não menciona a ABNT NBR 15575.

Diante da análise, COEs posteriores ao ano de 2013 de vigência da ABNT NBR 15575 apresentam as seguintes características quanto ao atendimento normativo: Manaus (2014) e Salvador (2017) não mencionam normas de desempenho, e quanto à porcentagem não há especificação sobre se metade deva ser destinada à ventilação natural, ocasionando dúvida na interpretação dos dados; Teresina (2015) atende ao percentual estabelecido pela ABNT NBR 15575 e ainda mencionam que normas técnicas devam ser consultadas; São Paulo (2017) não atende pelo percentual por não apresentar valores referentes à esse aspecto, e também discorre que o atendimento às normas técnicas ficam a cargo do profissional; Brasília (2018) atende pelo percentual e também cita o atendimento à norma de desempenho; Fortaleza (2019) indica atendimento às normas técnicas, mas não especifica a fração correspondente ao ambiente, como havia em seu Código de Obras e Posturas anterior (FORTALEZA, 1981); e Rio de Janeiro (2019) e Governador Valadares (2015) atendem à ABNT NBR 15575 pelo percentual mínimo destinado ao vão para ventilação natural.

De maneira geral, notou-se que alguns COEs apesar de apresentarem anos de vigência mais recentes, não necessariamente possuem parâmetros de percentual mínimo de vão de abertura em atendimento à ABNT NBR 15575.

Observou-se ainda que os percentuais recomendados pelos Códigos de Obras e Edificações e pela ABNT NBR 15575 se assemelham. Contudo, apesar dos COEs terem ordem legal superior à da norma, eles possuem aspectos ausentes que deveriam ser considerados nas análises de cálculo de área do vão de abertura destinado à ventilação natural. A ABNT NBR 15575 estabelece percentuais de abertura para ventilação além de considerar o desconto de caixilhos e perfis no cálculo. Em contrapartida, muitos COEs recomendam

apenas a fração do vão de abertura equivalente à área do piso do respectivo ambiente, sem levar em conta o impacto que os perfis das esquadrias podem causar na área da abertura e conseqüentemente no desempenho da ventilação natural interna. Apesar da importância dessas informações, a presente pesquisa não possui precisão para verificar se é significativa a influência dos perfis das esquadrias no desempenho da ventilação natural, visto que as análises desse desempenho se baseiam em experimentos realizados na mesa d'água, a qual apresenta limitações que restringem uma verificação mais específica em relação aos perfis e caixilhos das esquadrias.

4.2. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL

Esta etapa está composta de seis partes relacionadas às verificações dos testes segundo o Método de Análise Simplificado e Qualitativo da ventilação natural pela ação do vento (MASQ - Vento), e também conforme a Metodologia de Avaliação Multicritério de ventilação natural (MAM – VN), aplicados tanto no caso base, quando nos modelos presentes no grupo 1 e 2 de experimentos.

4.2.1. Caso base da Habitação de Interesse Social

4.2.1.1. MASQ – Vento

A avaliação dos resultados se deu quanto ao sistema fixo e ao sistema dinâmico no caso base da HIS representativa.

4.2.1.1.1. Sistema fixo

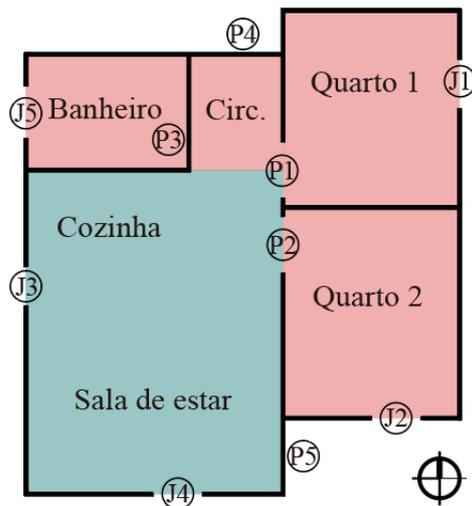
Na figura 33 verifica-se a integração entre os setores social e íntimo, onde por meio da passagem da cozinha e sala de estar (que compartilham o mesmo espaço) há acesso aos quartos e banheiro. A UH possui sete aberturas externas, sendo duas portas e cinco janelas (P3, P4, J1, J2, J3, J4 e J5); e três aberturas internas composta pelas portas (P1, P2 e P3). Destaca-se que as portas P3, P4 e P5 foram consideradas fechadas nos experimentos do caso base na mesa d'água, conforme estabelecido no sistema de modelagem com uso da ventilação natural presente na ABNT NBR 15575, assim como explicado no item 3.4.2.1.

Para análise da pesquisa, foram consideradas como variáveis somente as aberturas externas e internas dos quartos. As externas são as janelas, nomeadas como J1, J2 (com alteração de localização e posição) e as internas são as portas P1 e P2 (alterando a porosidade da porta por meio de bandeira acima dela). Acrescenta-se ainda que apenas as aberturas

externas J1 e J2 foram classificadas no sistema fixo (quadro 19), visto que, elas são as aberturas que alteraram de localização e posicionamento em todos os testes realizados.

No quadro 19 estão apresentadas as características relacionadas às aberturas externas dos quartos, as quais foram as variáveis no modelo estudado.

Figura 33 – Sistema fixo: planta baixa do caso base



Legenda

- Setor social (J) Janela
- Setor íntimo (P) Porta

Fonte: Autora (2021)

Quadro 19 – Classificação das aberturas dos quartos no caso base

Classificação das aberturas dos quartos no caso base		
Aspectos analisados / Abertura	J1	J2
Orientação solar	Leste	Sul
Tipo	Janela de correr	
Localização	Parede oposta	Parede adjacente
Posição	Centralizada	
Tamanho relativo	Pequena, até 1/3 da área da parede	

Fonte: Autora (2021)

Através do quadro 19 nota-se que as aberturas J1 e J2 encontram-se em orientações solares diferentes, em virtude da consideração da mesma localização e posicionamento das aberturas externas utilizadas nas simulações computacionais pela comissão de revisão da Norma de Desempenho Habitacional, onde a J1 está orientada a leste (parede oposta), e a J2 a sul (parede adjacente), o que notoriamente apresentaram resultados diferentes devido a essa característica. Os demais aspectos quanto ao tipo (janela de correr), posição (centralizada) e tamanho relativo (pequeno) são os mesmos para as duas.

Relembra-se que se considera centralizada a abertura de 100% do vão da janela na parede, contudo, como 50% de vão é destinado à ventilação natural, a parte do vão sem obstrução fica um pouco para a esquerda ou direita da janela, conforme observado no quadro 14, e percebido na figura 33.

4.2.1.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas

Através da figura 34 é possível verificar inicialmente a quantidade de aberturas de entrada e saída de ar em cada caso: ângulo de 45° (duas aberturas de entrada de ar e quatro aberturas de saída de ar); ângulo de 90° (2 aberturas de entrada de ar e 3 aberturas de saída de

ar); e ângulo de 135° (3 aberturas de entrada e saída de ar). Já no caso dos ângulos de incidência de 45° e 90° , uma de suas aberturas de entrada de ar, sendo a P2 e J2 respectivamente, apesar de terem sido consideradas como zona de entrada de ar, apresentaram baixa passagem do fluido. Esse fato ocorreu devido ao redirecionamento do fluxo em virtude de obstáculos (paredes) presentes no percurso mais expressivo do movimento de ar.

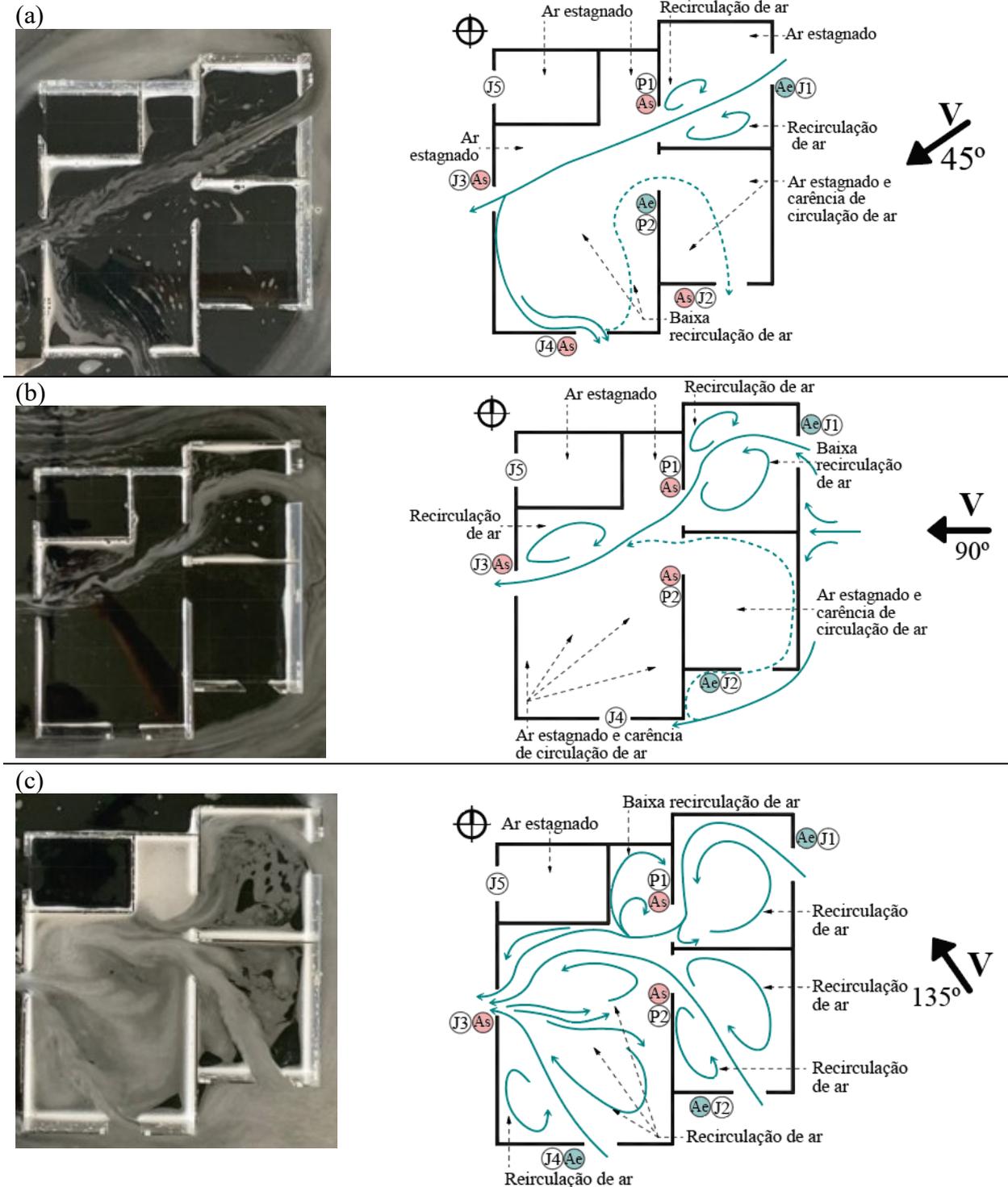
De maneira visual, é notável que a situação com o ângulo de incidência dos ventos a 135° gerou maior circulação de ar no ambiente interno, apresentando mais locais com recirculação de ar, o que favorece a renovação de ar dos ambientes, bem como o resfriamento fisiológico dos ocupantes caso estejam na zona de passagem do ar.

No que se refere aos ambientes, notou-se que em todos os casos o quarto 1 e cozinha apresentaram fluxo de ar, mas em alguns pontos desses ambientes, evidenciou-se zonas de ar estagnado e de baixa circulação de ar. Já na sala de estar e no quarto 2 também se observou áreas com ar estagnado e carência de circulação de ar quando analisados nos ângulos de incidência do vento a 45° e 90° .

Um caso curioso ocorreu na figura 34b, onde o fluido incidente na face a barlavento é de 90° . Percebeu-se que o ângulo de entrada do ar na abertura J1 não foi de 90° , visto que quando o volume do fluido incide na face leste, há um desvio para a esquerda e direita, gerando um novo ângulo de percurso do fluido e, conseqüentemente de entrada em J1.

Outro ponto a destacar é que como o banheiro encontra-se com a sua porta fechada, não houve entrada de ar no ambiente, apesar de o mesmo situar-se em zona de saída de ar. Vale salientar que apesar da porta fechada, em situações reais geralmente há infiltração de ar pelas frestas de portas e janelas, entretanto, essa infiltração não foi avaliada na presente pesquisa.

Figura 34 – Experimentos na mesa d'água com o modelo do caso base e respectiva representação gráfica do movimento do ar: (a) ângulo de incidência de 45°; (b) ângulo de incidência de 90°; (c) ângulo de incidência de 135°



Legenda

← Direção do vento

— Percurso do fluido

- - - Baixo fluxo do fluido

⊕ Ae Abertura de entrada do ar

⊙ As Abertura de saída do ar

⊕ J Janela

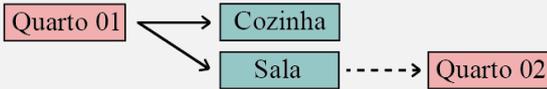
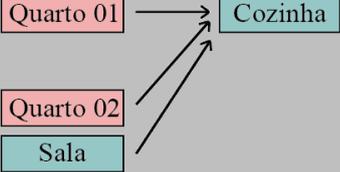
⊙ P Porta

4.2.1.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso

Em relação aos níveis de percurso percebeu-se que o quarto 1 foi o ambiente de entrada de ar nos três ângulos de incidência dos ventos, uma vez que a posição da abertura externa desse ambiente proporcionou esse fato, contudo, o quarto 2 não obteve a mesma característica, já que apresentou baixo fluxo de ar em dois (45° e 90°) dos três ângulos de incidência analisados. Em relação à saída de ar, tem-se a cozinha como o ambiente em comum também nos três ângulos verificados, visto que a abertura desse cômodo se encontra na zona de saída de ar, o que favorece o acontecimento.

Considerando a HIS do caso base com quatro cômodos (quarto 1 e 2, sala de estar e cozinha), constatou-se que para os ângulos de 45° e 135° alcançou-se quatro ambientes em que o fluxo do fluido percorreu, ou seja, o total de ambiente em estudo. Entretanto, além da quantidade de ambientes que o ar percorre desde a abertura de entrada de ar até a de saída de ar, é importante verificar de forma conjunta a intensidade do fluxo do vento, uma vez que, como mencionado, o quarto 2 na situação de ângulo incidente a 45° na face a barlavento, apresentou em seu interior percurso de baixo fluxo do fluido.

Quadro 20 – Níveis de percurso nos experimentos no caso base

Níveis de percurso nos experimentos no caso base			
Ângulo de incidência dos ventos	Caso base		
	Ambientes de entrada de ar	Ambientes de saída de ar	Quantidade de ambientes desde a entrada à saída de ar
45°			4
90°			3
135°			4



Fonte: Autora (2021)

4.2.1.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento

No que se refere à abrangência do escoamento obteve-se o exposto no quadro 21, onde constata-se que no caso de incidência do vento a 135° ocorreram os casos mais satisfatórios, classificados em abrangência ampla para o quarto 2 e muito ampla para os demais ambientes. Em contrapartida, ocorreram casos críticos em que a abrangência do escoamento se

apresentou como muito restrita, como no quarto 2 (ângulo de 45° e 90°) e sala de estar (ângulo de 90°).

Situações em que os ambientes tiveram classificação em muito restrita ou restrita em relação à abrangência do escoamento, funcionam como um alerta para a busca de soluções em que seja otimizada a entrada de ar no ambiente, sejam soluções por meio da mudança da localização e posicionamento de aberturas, seja por outros meios de captação de ar.

Quadro 21 – Abrangência do escoamento do ar no caso base

Abrangência do escoamento (%)					
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes			
		Quarto 1	Quarto 2	Sala de estar	Cozinha
Caso base	45°	41,60	5,86	32,15	38,15
	90°	48,75	7,46	0	45,65
	135°	90,34	68,45	97,70	97,50

Legenda

Aberturas

- I - Porta fechada com bandeira aberta.
- O - Abertura externa em parede oposta à porta.
- L - Abertura externa na lateral da parede em que se encontra.
- C - Abertura externa centralizada na parede em que se encontra.
- D - Abertura externa diagonal na parede em que se encontra e em relação à porta.

Abrangência do escoamento do ar

- **MUITO AMPLA** (superior a 80% da área de piso)
- **AMPLA** (entre 60 e 80%)
- **MÉDIA** (entre 40 e 60%)
- **RESTRITA** (entre 20 e 40%)
- **MUITO RESTRITA** (inferior a 20% da área de piso)

Fonte: Autora (2021)

Nota-se que, como a porta do banheiro se manteve fechada em virtude das características relacionadas ao modelo de simulação computacional adotado na ABNT NBR 15575, as quais foram também adotadas nos experimentos, dessa forma, é evidente que o ambiente apresenta 0% de abrangência do escoamento de ar, uma vez que taxas de infiltração de ar não foram consideradas para análise.

4.2.1.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento

A velocidade do escoamento do ar (quadro 22) foi analisada visualmente em comparação com a velocidade interna e externa do fluido, dessa forma, identificou-se que a situação em que o fluido incide a 135°, apresentou a classificação normal (velocidade interna semelhante à externa) para todos os ambientes. Imagina-se que o fato ocorreu devido ao acúmulo de fluido nos ambientes internos, uma vez que essa situação foi a que apontou maior abrangência de escoamento do ar em todos os ambientes, o que poderá ter reduzido a velocidade do escoamento do ar interno.

Quando comparado com a situação de análise com o ângulo de 45° e 90°, o comportamento do fluido foi acelerado em dois ambientes (quarto 1 e cozinha) para ambos os casos, onde os demais cômodos apresentaram carência de circulação de ar, o que pode ter favorecido a aceleração do fluido no percurso mais expressivo (ver figura 35a e 35b), visto

que o volume de ar que entrou pela abertura do quarto 1 e saiu pela abertura da cozinha não encontrou obstáculos ou outra corrente de ar que causasse desaceleração ou mudança de percurso do mesmo.

Quadro 22 – Velocidade do escoamento do ar: caso base

Velocidade do escoamento					
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes			
		Quarto 1	Quarto 2	Sala de estar	Cozinha
Caso base	45°	Acelerada	Muito lenta	Normal	Acelerada
	90°	Acelerada	Muito lenta	Ausente*	Acelerada
	135°	Normal	Normal	Normal	Normal

*Identificação para os ambientes que não apresentaram movimento de ar visível nos experimentos na mesa d'água.

Fonte: Autora (2021)

4.2.2. Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Opostas à porta dos quartos

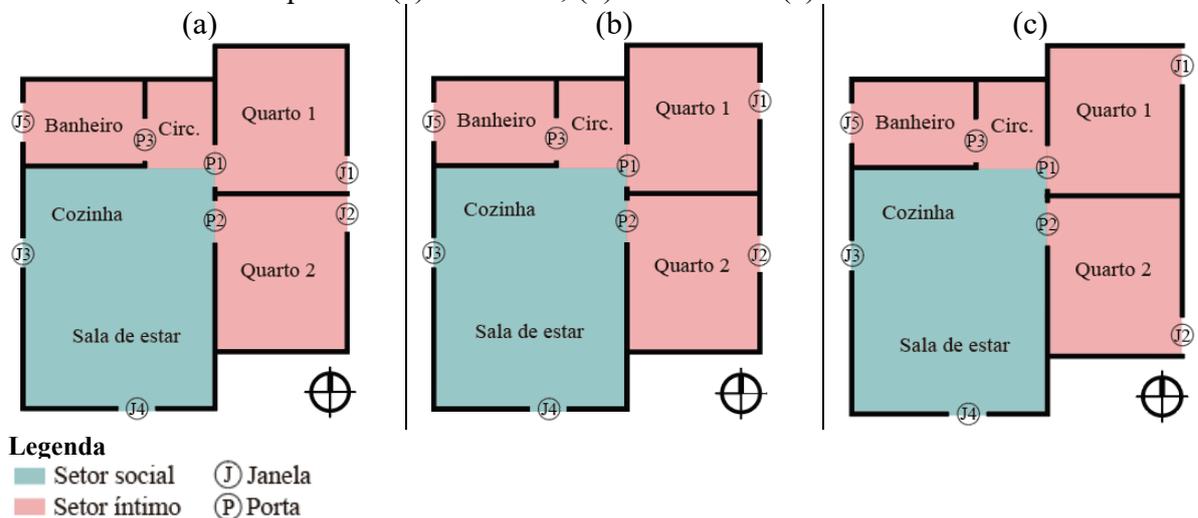
4.2.2.1. MASQ – Vento

O MASQ-Vento para o grupo 01 de experimentos em relação à configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta dos quartos também se caracterizou pela apresentação do sistema fixo e do sistema dinâmico.

4.2.2.1.1. Sistema fixo

Como o modelo utilizado para os testes possui as mesmas características quanto à forma e setorização dos espaços, todos apresentam aspectos semelhantes aos mencionados no caso base, sendo estes referentes à integração entre os setores social e íntimo, e quanto a quantidade de aberturas internas e externas presentes na HIS, que são as mesmas do caso base e neste grupo 01 de experimentos (figura 35).

Figura 35 – Sistema fixo - configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta dos quartos: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC e (c) teste 1OD



Fonte: Autora (2021)

Em termos gerais, além da configuração de aberturas externas dos quartos, o que difere o caso base dos experimentos realizados nos grupos 01 e 02 é quanto à porta do banheiro, considerada fechada no caso base e aberta nos demais experimentos.

Através da análise da figura 35 pode-se produzir o quadro 23, pelo qual verifica-se que há bastante similaridade entre as informações. Constatou-se que as janelas J1 e J2 em todas as situações (1OL, 1OC e 1OD) estão localizadas em paredes opostas a porta, voltadas a orientação leste, apresentam tamanho relativo pequeno e são da tipologia de janela de correr. O que as diferencia entre os testes analisados, é claramente quanto ao seu posicionamento na face em que se encontra, alterando entre lateral, central e diagonal, dado evidente, visto que se trata de um aspecto variável, então em todos os testes ele será diferente de acordo com o posicionamento a que se refere.

Quadro 23 – Classificação das aberturas dos quartos nos testes em paredes opostas

Classificação das aberturas dos quartos no caso base						
Aspectos analisados / Abertura	1OL		1OC		1OD	
	J1	J2	J1	J2	J1	J2
Orientação solar	Leste					
Tipo	Janela de correr					
Localização	Parede oposta					
Posição	Lateral		Central		Diagonal	
Tamanho relativo	Pequena, até 1/3 da área da parede					

Fonte: Autora (2021)

4.2.2.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas

O sistema dinâmico do grupo 01 de experimentos foi agrupado por ângulos (45°, 90° e 135°), ou seja, os três posicionamentos de aberturas (lateral, central e diagonal) foram avaliadas em conjunto com o mesmo ângulo de incidência do vento, de modo que o fator de destaque em análise fosse o comportamento do fluxo de ar em relação à alteração da configuração de abertura.

Em relação à identificação das aberturas nos testes 1OL, 1OC e 1OD no caso com ângulo de incidência do vento a 45° (figura 36), todos apresentaram duas aberturas de entrada de ar (pelos quartos 1 e 2) e seis aberturas de saída de ar (pelas portas e janelas dos demais ambientes).

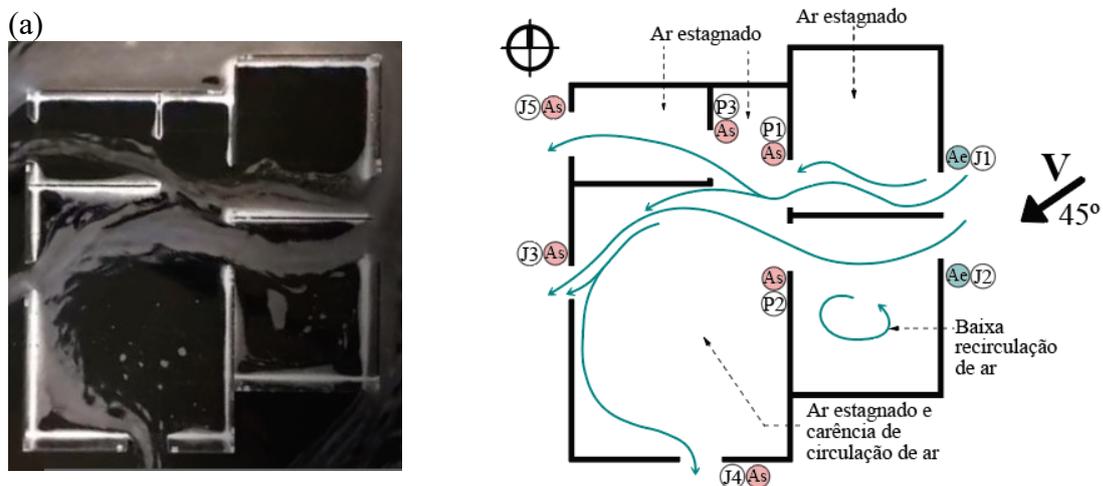
No que se refere à análise do percurso do fluido no ambiente interno, é notável que com a abertura da porta do banheiro houve a passagem de ar pelo espaço, otimizando a circulação de ar interna, mesmo que em baixo fluxo como observado no teste 1OD (figura 36c). Observou-se que em 1OC (figura 36a) as aberturas mais próximas da abertura de saída

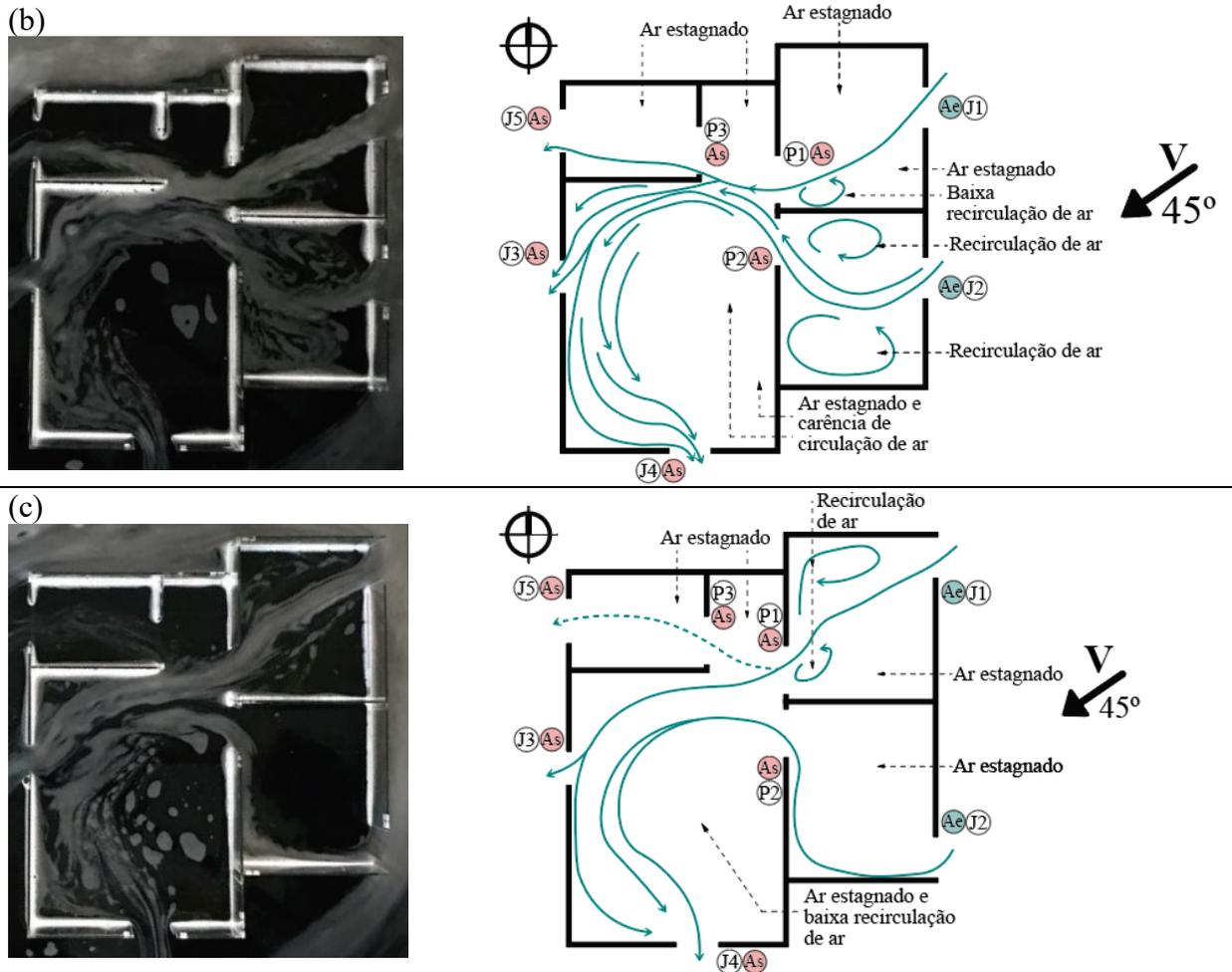
de ar do quarto 1, são a do banheiro e da cozinha, o que pode ter sido um fator para que o ar não percorresse a área da sala. Por meio dos vídeos que auxiliaram na análise, percebeu-se que como o fluxo de ar que saiu do quarto 1 encontra o do quarto 2, o ar que saiu do quarto 2 ao invés de ir para a abertura do banheiro (mais próxima), desvia e dirige-se para a cozinha, mas como a abertura da cozinha é pequena para o volume de ar, uma parte do fluxo sai e outra se desvia e percorre a sala de estar saindo pela abertura J4.

Em 1OD, no quarto 2, grande parte da ventilação natural que entraria pela abertura externa é desviada pelo canto da parede e, apenas um pequeno volume de ar consegue adentrar o ambiente. Dessa forma, o percurso do fluxo de ar é limitado pelas bordas da parede e, na maior área do espaço observou-se que não houve recirculação de ar, o que provocou um campo com ar estagnado em grande parte do ambiente.

A verificação visual do escoamento do ar permitiu identificar as zonas que apresentaram fluxo mais expressivo do ar, que geralmente ocorreram na área de trajeto mais curto que o ar encontrou entre a abertura de entrada e a de saída de ar. Em todas as situações houve pontos dos ambientes em que o ar apresentou baixa circulação ou estava estagnado, mas o caso em que se observou mais essa situação foi em 1OL (figura 36a) uma vez que a abertura externa dos quartos se encontra mais próxima da abertura de saída do ar, o que conferiu menor percurso do fluxo, mais linear e, em menor área do ambiente, sendo melhor notado esse acontecimento nos quartos.

Figura 36 – Experimentos na mesa d'água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 45°: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC; e (c) teste 1OD





Legenda

- ← Direção do vento
- Percurso do fluido
- - - - Baixo fluxo do fluido
- ⊕ Abertura de entrada do ar
- ⊙ Abertura de saída do ar
- ⊓ Janela
- ⊔ Porta

Fonte: Autora (2021)

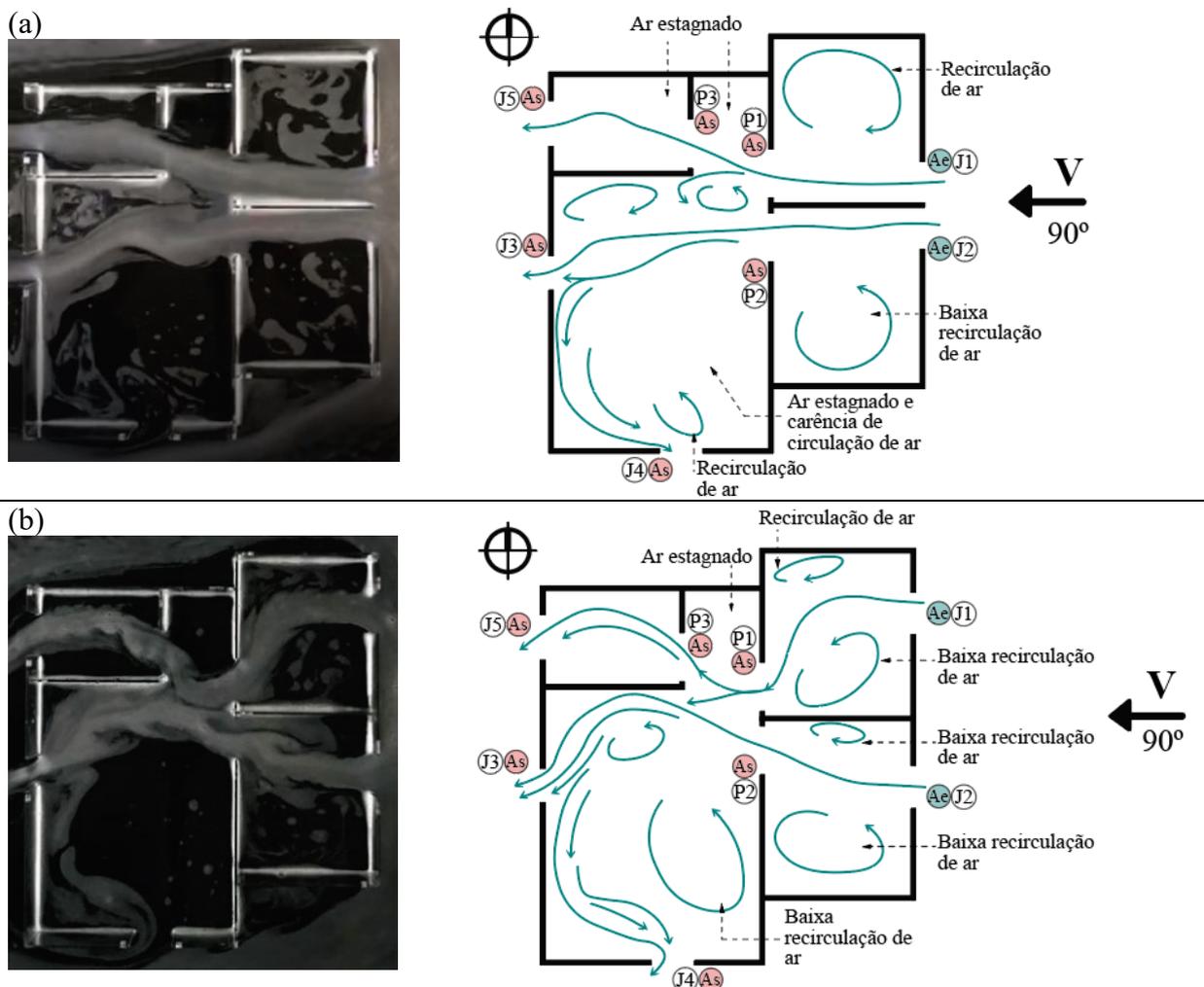
No que diz respeito à verificação visual nos testes com o ângulo de incidência a 90°, observou-se que assim como ocorreu nos testes com o ângulo de 45°, o fluxo de ar que sai do quarto 1 tem encaminhado uma parte para a abertura do banheiro, por ser a mais próxima, e outra parte do ar direciona-se para a cozinha onde encontra com o fluxo vindo do quarto 2.

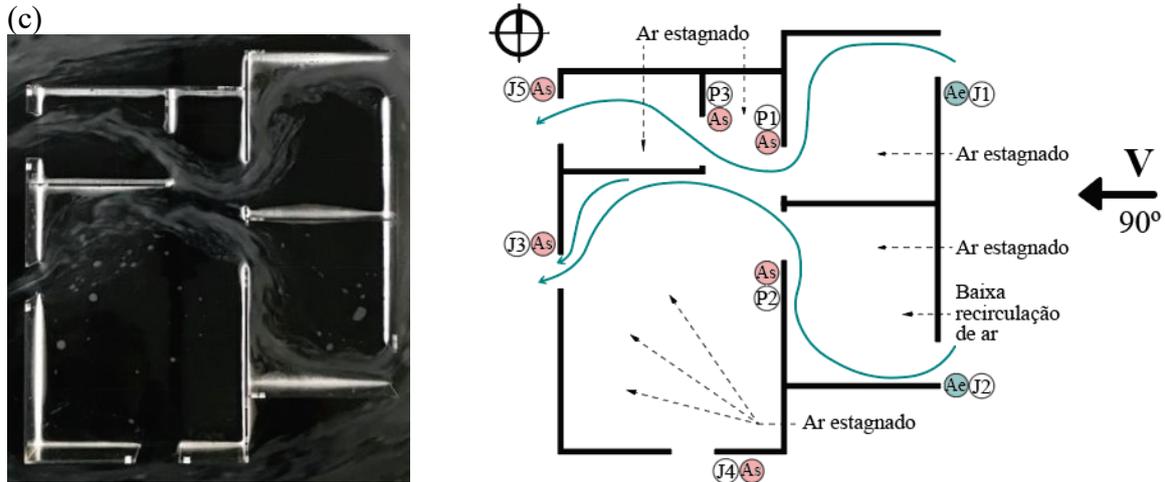
A situação que apresentou mais zonas com baixa circulação de ar ou ar estagnado ocorreu no teste 1OD (figura 37c), onde nota-se que a sala de estar e parte da área dos quartos apresentaram carência de movimento de ar, o que desfavorece os objetivos da ventilação natural quanto à renovação do ar, conforto térmico dos ocupantes e remoção da carga térmica da edificação. Em contrapartida, em 1OL e 1OC (figura 37a e 37b) existiram mais áreas em que a movimentação de ar estava presente tanto nas zonas mais expressiva do fluxo, quanto nas partes com recirculação de ar, apesar de que em algumas partes dos ambientes a circulação do ar ter se apresentado baixa.

Um aspecto a destacar é que em 1OL (figura 37a), observou-se que ocorreu uma zona de turbulência de fluxo próximo à abertura de saída de ar (J4) em virtude do encontro do fluxo de ar que está saindo com o fluxo de ar externo, o que impactou no retorno de uma parte de ar em movimento ondulatório para dentro do ambiente (sala de estar) e perto da abertura, porém, adentrou em pouca profundidade no ambiente. Esse fato foi evidenciado pela observação do escoamento do ar percebido durante os experimentos e pelo auxílio dos vídeos para recapitular o movimento do ar nos casos analisados.

Outro fator a evidenciar sucedeu em 1OD (figura 37c), onde notou-se que a maior parte do fluxo de ar incide inicialmente na parede (face a barlavento) entre as aberturas J1 e J2, e posteriormente esse fluxo de ar desvia e gera outro ângulo de entrada nos ambientes. Ou seja, em J1 o fluido entra pela abertura a um ângulo aproximado de 135° e em J2 a um ângulo de 45° . Essa situação também ocorreu no caso base (figura 34b). Conseqüentemente, a distribuição do ar interno também modificou em decorrência do desvio mencionado.

Figura 37 – Experimentos na mesa d'água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 90° : (a) teste 1OL; (b) teste 1OC; e (c) teste 1OD





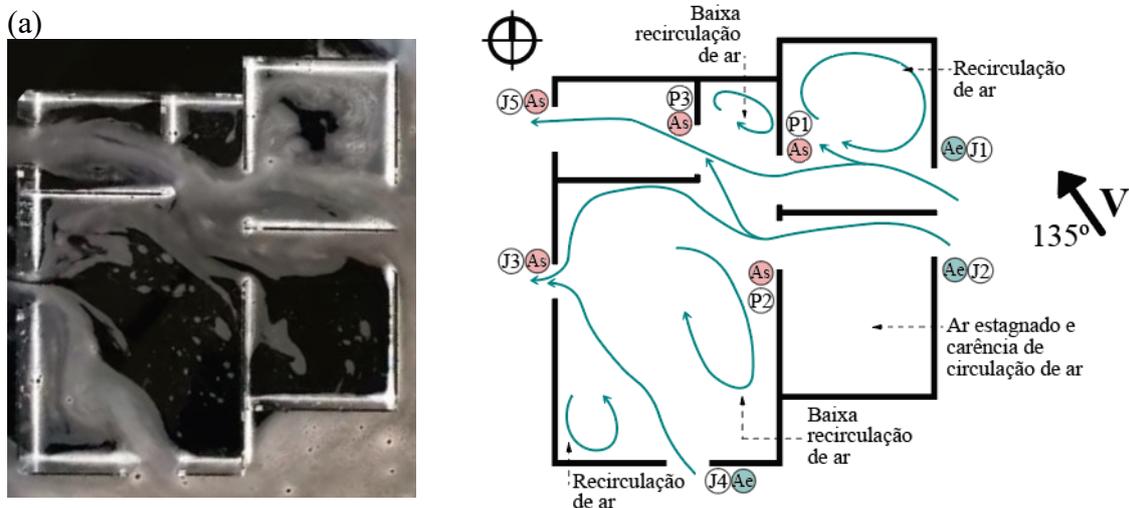
Legenda

- ← Direção do vento
- Percurso do fluido
- - - Baixo fluxo do fluido
- Ⓐ Abertura de entrada do ar
- Ⓐ Abertura de saída do ar
- Ⓜ Janela
- Ⓟ Porta

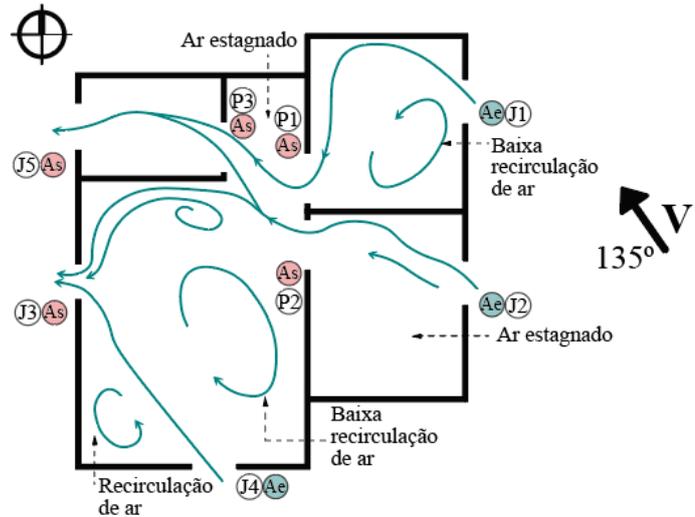
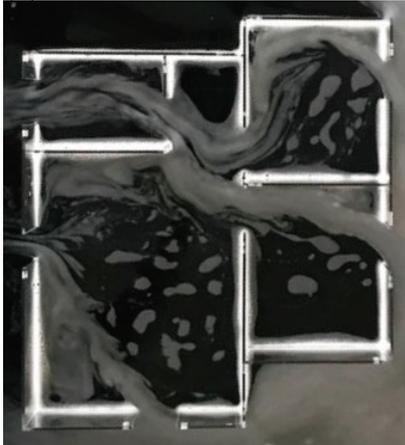
Fonte: Autora (2021)

Em relação aos testes realizados com o ângulo de incidência do vento a 135° (figura 38) quando comparado com os demais (45° e 90°), foram os que apresentaram visualmente mais circulação de ar em maior parte da sala de estar, mesmo que com baixa circulação de ar em algumas partes. O ângulo de 135° favoreceu a entrada de ar pela abertura J4, mas ainda assim a área à direita de J4 (próxima a face do quarto 2) se apresentou como uma zona sensível a baixa circulação de ar, mesmo quando esta abertura funciona como saída de ar. Além disso, as situações com áreas de ar estagnado e baixa recirculação de ar nos demais ambientes são evidentes em virtude da diferença na configuração de abertura.

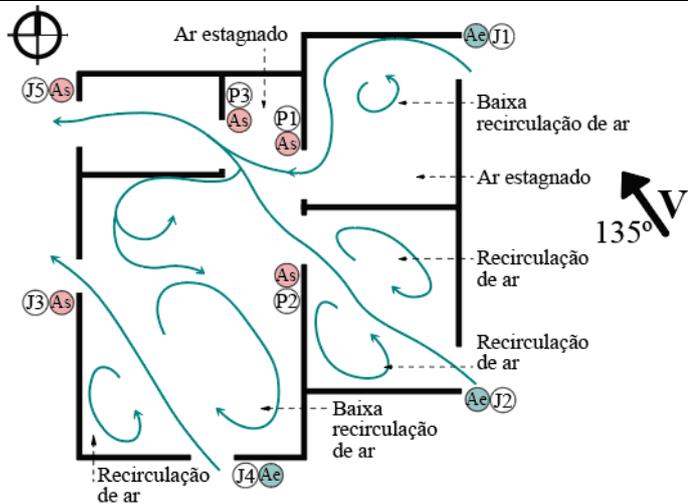
Figura 38 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 135°: (a) teste 1OL; (b) teste 1OC; e (c) teste 1OD



(b)



(c)



Legenda

← Direção do vento

— Percurso do fluido

- - - Baixo fluxo do fluido

Ae Abertura de entrada do ar

As Abertura de saída do ar

J Janela

P Porta

Fonte: Autora (2021)

4.2.2.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso

Através do quadro 24 tem-se a síntese dos níveis de percurso dos testes 10L, 10C e 10D para os três ângulos de incidência dos ventos, 45°, 90° e 135°. Percebe-se que em todos os casos o quarto 1 e quarto 2 são os ambientes em que as aberturas externas funcionam como entrada de ar, com exceção dos testes em 135° que há inclusão da sala como outro ambiente com abertura externa que permite a entrada de ar. Em relação às aberturas de saída de ar, há em comum nos testes o banheiro e a cozinha como espaços situados em zonas de saída do fluxo de ar.

Quando observado os testes apenas no ângulo de 45°, percebe-se que para os três testes (10L, 10C e 10D) são os mesmos ambientes de entrada de ar e os mesmos de saída de ar.

Em contrapartida, nos demais ângulos (90° e 135°) há modificação dessa similaridade no teste 1OD, como verificado no quadro 24.

No que concerne à quantidade de cômodos que o ar percorre desde a sua entrada até sua saída, a maioria dos testes apresentou cinco ambientes pelos quais há o escoamento do ar, com exceção dos testes 1OD (90°) que obteve quatro ambientes e o teste 1OD (135°) com seis ambientes.

Quadro 24 – Níveis de percurso nos experimentos com aberturas em paredes opostas

Níveis de percurso nos experimentos com aberturas em paredes opostas									
θ I.V	1OL			1OC			1OD		
	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A
45°			5			5			5
90°			5			5			4
135°			5			5			6

Legenda

	Setor social		Setor íntimo		Percurso do fluido		Percurso de baixo fluxo do fluido
1 - Porta fechada com bandeira aberta.				θ - ângulo			
O - Abertura externa em parede oposta à porta.				I.V - incidência dos ventos			
L - Abertura externa na lateral da parede em que se encontra.				Amb. - ambiente			
C - Abertura externa centralizada na parede em que se encontra.				E.A - entrada de ar			
D - Abertura externa diagonal na parede em que se encontra e em relação à porta.				S.A - saída de ar			
				Qtd. Amb. E.A/S.A - quantidade de ambientes desde a entrada à saída de ar			

Fonte: Autora (2021)

4.2.2.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento

Como verificado no quadro 25, a grande maioria dos ambientes classificou-se com abrangência do escoamento do ar em restrita e média. E em quatro casos com abrangência do escoamento em muito restrita e ampla. O resultado demonstra que dos 45 casos, considerando cada ambiente em cada ângulo de incidência do vento e para cada configuração de abertura, apenas quatro se mostraram acima da média em relação a esse aspecto, o que provoca uma certa preocupação em relação à extensão do escoamento do ar, uma vez que conforme Toledo (2006), quando o escoamento do ar compreende maior área no ambiente é um aspecto

positivo, visto que se trata de um dos critérios de análise quanto à situação ideal para o escoamento do ar em habitações.

O resultado indica ainda que a distribuição dos fluxos de ar é muito restrita, identificando-se áreas de estagnação onde a ventilação não favoreceria o conforto térmico e nem a renovação do ar. Isso merece atenção especialmente num cenário de pandemia, onde manter a qualidade do ar é fundamental para minimizar os riscos de contaminação.

Quadro 25 – Abrangência do escoamento do ar com a configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta

Abrangência do escoamento (%)						
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes				
		Quarto 1	Quarto 2	Sala de estar	Cozinha	Banheiro
1OL	45°	29,07	19,21	20,87	48,94	18,90
	90°	55,84	20,45	25,60	66,34	45,06
	135°	75,25	27,37	40,60	52,72	57,38
1OC	45°	23,56	58,40	43,60	57,10	20,58
	90°	49,26	48,85	24,91	57,00	43,43
	135°	42,95	23,16	41,20	68,90	45,00
1OD	45°	26,96	11,87	42,20	57,92	18,24
	90°	38,72	21,45	0	48,96	22,05
	135°	35,46	75,05	31,80	65,75	46,00

Legenda

Aberturas

- 1** - Porta fechada com bandeira aberta.
- O** - Abertura externa em parede oposta à porta.
- L** - Abertura externa na lateral da parede em que se encontra.
- C** - Abertura externa centralizada na parede em que se encontra.
- D** - Abertura externa diagonal na parede em que se encontra e em relação à porta.

Abrangência do escoamento do ar

- MUITO AMPLA** (superior a 80% da área de piso)
- AMPLA** (entre 60 e 80%)
- MÉDIA** (entre 40 e 60%)
- RESTRITA** (entre 20 e 40%)
- MUITO RESTRITA** (inferior a 20% da área de piso)

Fonte: Autora (2021)

4.2.2.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento

Por meio da observação do quadro 26 constatou-se que a maioria dos casos apresentou aumento da velocidade do fluido quando adentrou o ambiente, isso pode ter ocorrido por conta do efeito Venturi, visto que quando o fluido encontra uma abertura de menor área em comparação com a da qual estava anteriormente (largura da mesa de ensaio e distância do montante até o encontro do fluido na maquete), ele tende a acelerar. Esse fator pode ser verificado nos ensaios no equipamento mesa d'água e nos vídeos realizados.

Contudo, houve uma situação em que se considerou com ausência de velocidade do escoamento, caso verificado na sala de estar no teste 1OD (90°), o que pode ser analisado em conjunto com a abrangência do escoamento que obteve zero (quadro 25), com a inexistência do ambiente nos níveis de percurso (quadro 24), além da representação da distribuição do ar

nos ambientes internos na figura 37c. O resultado desse caso demonstra que para essa situação específica a sala de estar é prejudicada com a carência de circulação de ar.

Os demais ambientes apresentaram velocidade do escoamento como normal (com exceção da sala de estar em 1OL (90°) e 1OC (90°), com aceleração semelhante ao fluido externo.

Quadro 26 – Velocidade do escoamento do ar: grupo 1 de experimentos com configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta dos quartos

Velocidade do escoamento						
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes				
		Quarto 1	Quarto 2	Sala de estar	Cozinha	Banheiro
1OL	45°	Normal	Acelerada	Normal	Normal	Normal
	90°	Acelerada	Normal	Lenta	Normal	Acelerada
	135°	Acelerada	Normal	Normal	Normal	Acelerada
1OC	45°	Acelerada	Acelerada	Normal	Acelerada	Acelerada
	90°	Acelerada	Acelerada	Lenta	Acelerada	Acelerada
	135°	Normal	Normal	Normal	Normal	Acelerada
1OD	45°	Acelerada	Normal	Normal	Acelerada	Normal
	90°	Acelerada	Acelerada	Ausente*	Acelerada	Acelerada
	135°	Normal	Normal	Normal	Muito lenta	Acelerada

*Identificação para os ambientes que não apresentaram movimento de ar visível nos experimentos na mesa d'água.

Fonte: Autora (2021)

4.2.3. Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à porta dos quartos

4.2.3.1. MASQ – Vento

Os itens anteriores foram referentes ao grupo 01 de experimentos em relação à configuração das aberturas externas em paredes opostas à porta dos quartos. Nesse tópico será tratado de fatores semelhantes, o que difere é a localização da abertura externa dos quartos que agora está em parede adjacente à porta dos quartos.

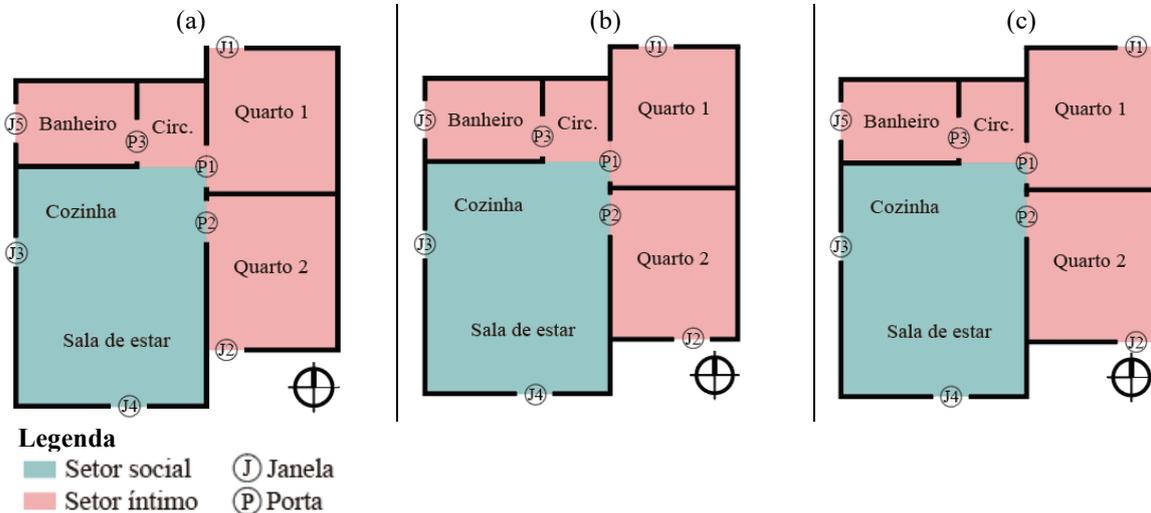
4.2.3.1.1. Sistema fixo

A HIS é a mesma em todos os testes, por isso o sistema fixo de análise de integração entre os setores e quantidade de aberturas externas e internas nesta seção é igual aos casos analisados anteriormente.

Através da figura 39 verifica-se as aberturas tanto internas quanto externas, bem como sua localização e posicionamento. Reitera-se que apenas nos quartos 1 e 2 é onde ocorre a alteração da configuração de abertura, onde nesse caso, refere-se à localização das aberturas

externas em paredes opostas à porta, e posicionamento em lateral, central e diagonal na parede a qual se encontra.

Figura 39 Sistema fixo - configuração das aberturas externas em paredes adjacentes à porta dos quartos: (a) teste 1AL; (b) teste 1AC e (c) teste 1AD



Fonte: Autora (2021)

Mediante verificação dos dados presentes no quadro 27, constata-se que a J1 em todos os testes (1AL, 1AC e 1AD) estão situadas a norte, e a J2 a sul, o que notoriamente produzirá efeitos diferentes na distribuição do ar nos ambientes internos. Além disso, e como mencionado, as janelas estão localizadas em parede adjacente, com variação de seu posicionamento em lateral, central e diagonal.

Quadro 27 – Classificação das aberturas dos quartos nos testes em paredes adjacentes

Classificação das aberturas dos quartos no caso base						
Aspectos analisados / Abertura	1AL		1AC		1AD	
	J1	J2	J1	J2	J1	J2
Orientação solar	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
Tipo	Janela de correr					
Localização	Parede adjacente					
Posição	Lateral		Central		Diagonal	
Tamanho relativo	Pequena, até 1/3 da área da parede					

Fonte: Autora (2021)

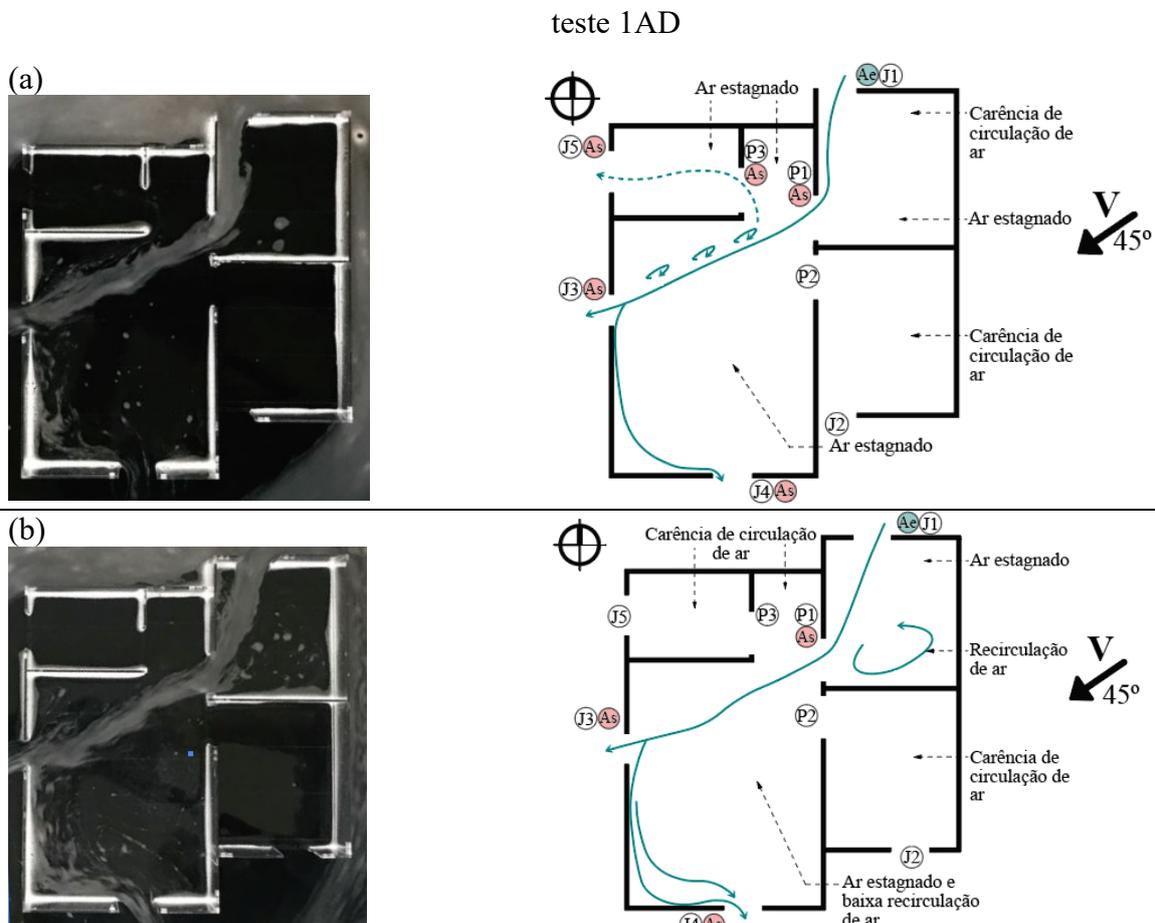
4.2.3.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas

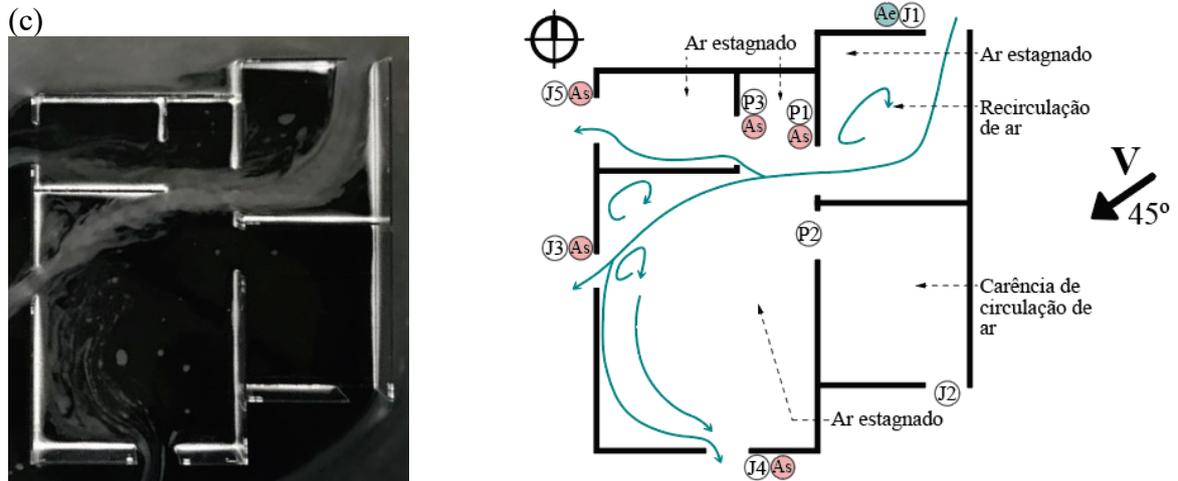
Assim como na seção anterior, esse grupo de experimentos também foi agrupado por ângulos (45°, 90° e 135°), isto é, os três testes (1AL, 1AC e 1AD) foram avaliados em conjunto, mas setorizados por ângulos, como pode ser observado nas figuras 41, 42 e 43.

No que diz respeito à identificação das aberturas na figura 41, com os testes realizados com o ângulo de incidência do vento a 45° , verifica-se nos três casos há apenas uma abertura de entrada de ar, sendo esta a J1. Já em relação as aberturas de saída de ar, há cinco em 1AL (figura 40a) e 1AD (figura 40c), e três em 1AC (figura 40b). Nota-se ainda que, a abertura J2 e P2 não funcionaram como entrada e nem como saída de ar nesse caso específico (ângulo de 45°) para todos os três testes. E P3 e J5 se comportaram da mesma forma, contudo, apenas no teste 1AC (figura 40b).

No que tange à averiguação da distribuição do ar nos ambientes, observou-se que o quarto 2 apresentou carência de circulação de ar em todos os testes. Fato evidente por conta da localização da abertura J2 que se encontra em face contrária à de incidência do vento a 45° . Verifica-se ainda que, grande parte da área da sala de estar e cozinha apresentam ar estagnado ou baixa recirculação de ar, ocorrido por conta do trajeto mais expressivo do fluido entrando pelo quarto 1 e encaminhando uma parte desse ar para o banheiro e outra para a cozinha e sala de estar.

Figura 40 – Experimentos na mesa d'água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 45° : (a) teste 1AL; (b) teste 1AC; e (c)





Legenda

← Direção do vento

— Percurso do fluido

- - - Baixo fluxo do fluido

Ⓐ Abertura de entrada do ar

Ⓐ Abertura de saída do ar

Ⓝ Janela

Ⓟ Porta

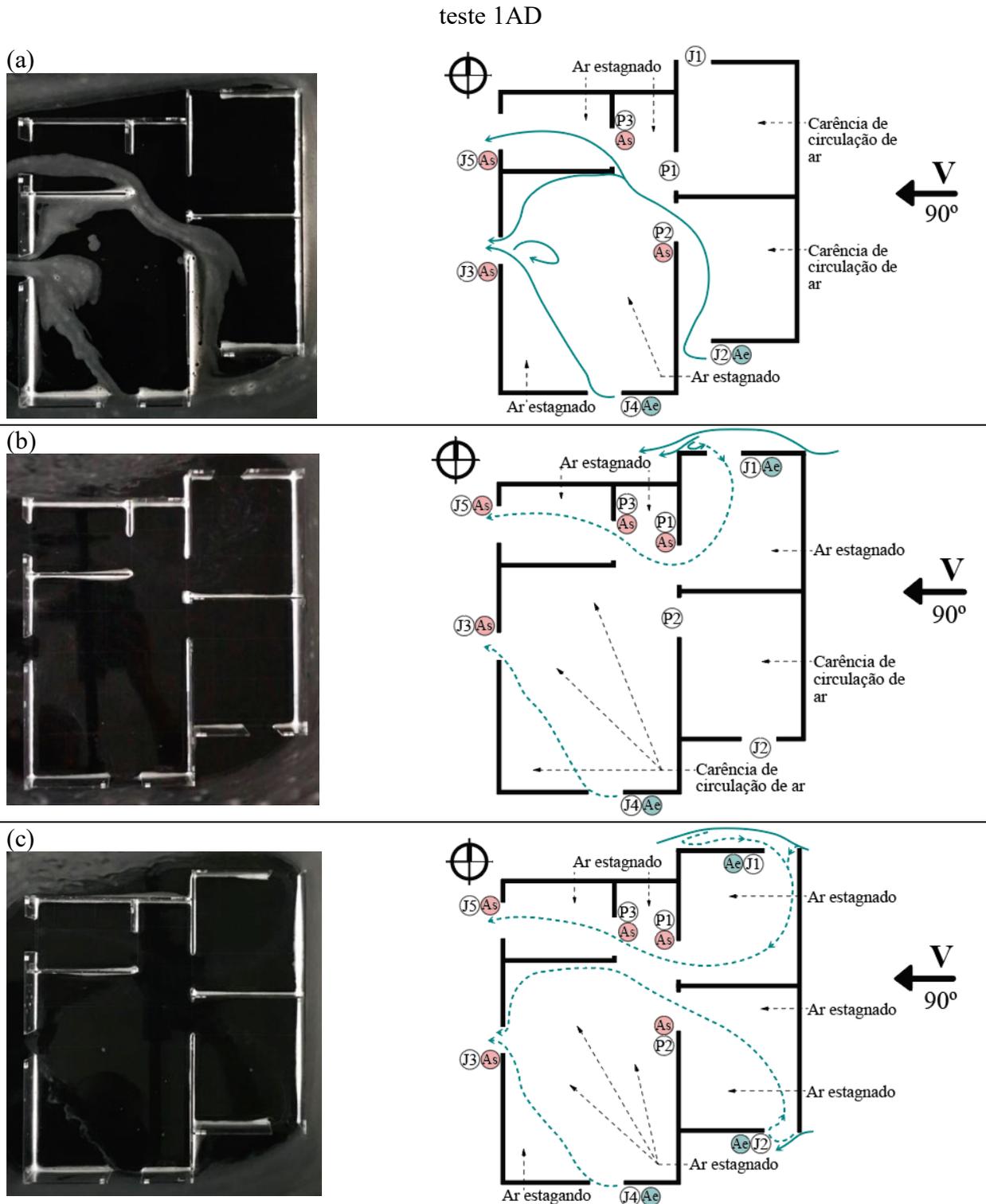
Fonte: Autora (2021)

Concernente ao ângulo de incidência do vento a 90° , tem-se em 1AL (figura 41a) e 1AC (figura 41b) duas aberturas de entrada de ar e cinco aberturas de saída de ar, já em 1AD (figura 41c) há três aberturas de entrada de ar e cinco de saída de ar. Nota-se que essas aberturas de entrada e saída de ar diferem em cada caso, além disso, ocorreram algumas situações curiosas, como o desvio do fluxo de ar externo para dentro do ambiente quando teve o canto de parede externa como obstáculo, mas que de certa forma direcionou o fluxo de ar para o interior, apesar de ter sido em baixo fluxo. Esses casos podem ser observados na abertura J1 nos testes 1AL e 1AC.

De maneira geral, os casos mais críticos visualmente quanto à distribuição de ar interno foram percebidos nos testes 1AC e 1AD, onde verificou-se que todos os ambientes possuem baixo fluxo de fluido (quando presente), e que a maior parte dos espaços apresentaram carência de circulação de ar e zonas com ar estagnado, o que confere desvantagem para que a ventilação natural alcance seus objetivos.

Devido a localização das aberturas externas dos quartos em paredes adjacentes à porta e ângulo incidente na face a barlavento ser de 90° , ocorreram situações desfavoráveis a circulação de ar nos ambientes internos. Quando o ar adentrava o ambiente, isto decorreu por conta de algum obstáculo (parede/canto de parede) que funcionou como direcionador de fluxo e otimizou a entrada do ar nos espaços internos. A situação evidenciada, apesar de não ter sido vantajosa à circulação de ar, é relevante para perceber que no cotidiano pode haver casos como esses e que buscar estratégias, como a captação do ar, é uma das soluções que podem ser empregadas nos projetos arquitetônicos.

Figura 41 – Experimentos na mesa d’água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 90°: (a) teste 1AL; (b) teste 1AC; e (c) teste 1AD



Legenda

← Direção do vento

— Percurso do fluido

- - - Baixo fluxo do fluido

Ⓐ Abertura de entrada do ar

Ⓐ Abertura de saída do ar

ⓙ Janela

Ⓟ Porta

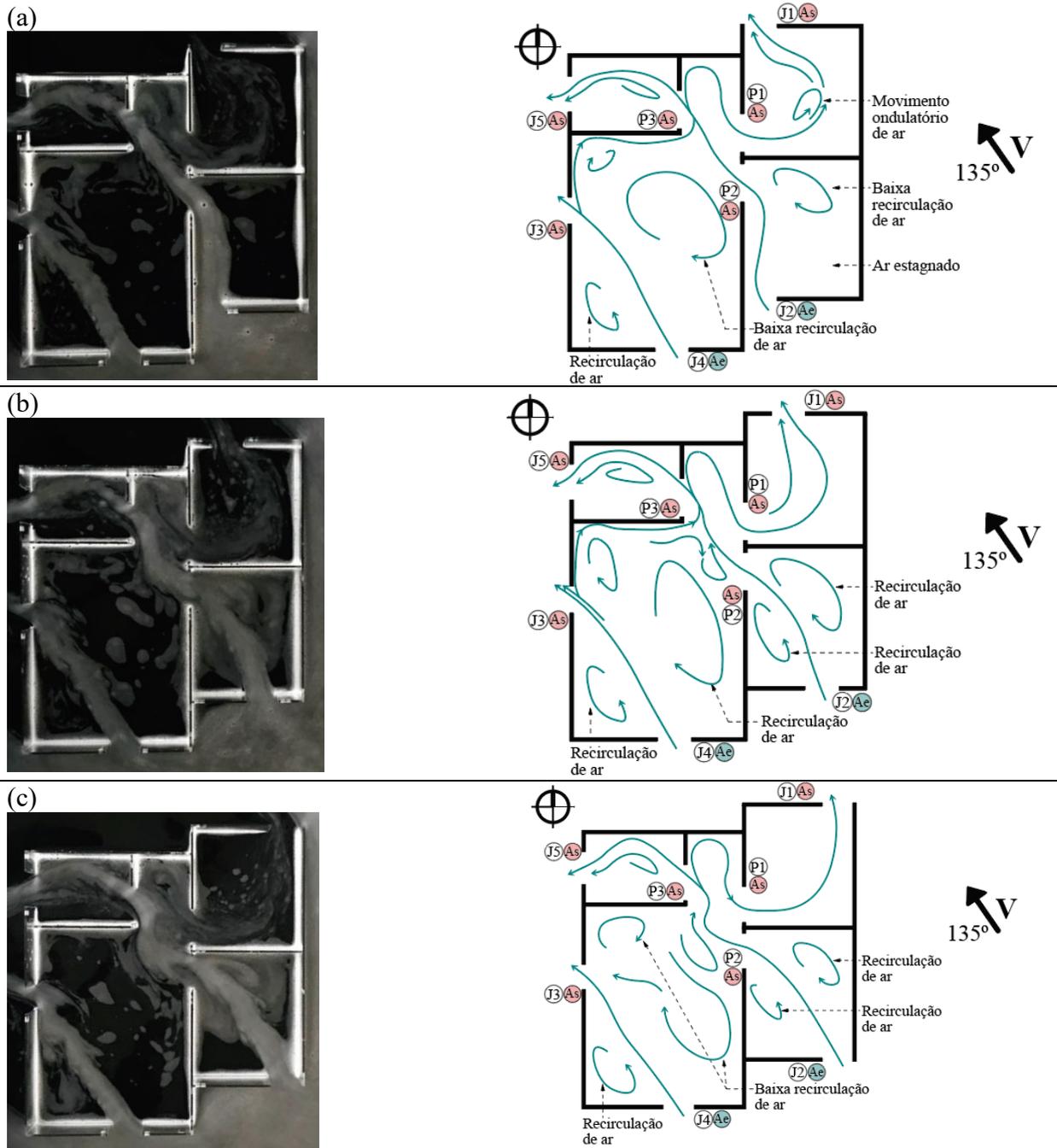
Fonte: Autora (2021)

Em relação aos testes realizados com o ângulo de incidência do vento de 135° , há no teste 1AL (figura 42a), 1AC (figura 42b) e 1AD (figura 42c) duas aberturas de entrada de ar (J2 e J4) e seis aberturas de saída de ar (J1, J3, J5, P1, P2 e P3), sendo as mesmas para os três testes.

Verificou-se que, embora a abertura J1 esteja a sotavento da incidência do vento, observou-se a presença de circulação de ar no quarto 1, que ocorreu devido à divisão do fluido vindo de J2 do quarto 2, o qual dirigiu-se para o banheiro, onde sofreu desvio no hall e conduziu-se para o ambiente interno do quarto 1. Averigua-se que, caso a porta ou bandeira da porta do quarto 2 estivesse fechada, comprometeria a circulação de ar observada no quarto 1 e também no banheiro.

Identificou-se que o fluxo de ar presente na cozinha em 1AL e 1AC sucedeu em virtude do desvio que o ar vindo de J4 gerou na abertura J3 quando estava saindo, o que favorece a circulação de ar no ambiente. Contudo, essa circulação de ar pode não ser favorável, visto que conforme Toledo (2006), é interessante que a cozinha, assim como o banheiro, esteja em zonas de saída de ar, para que os odores desses ambientes não adentrem o espaço. Já em 1AD, ocorreu um fato curioso, onde esse movimento de desvio de ar não foi observado, apesar do fluxo de entrada de ar ter sido semelhante aos dois testes mencionados. Ou seja, nesse caso, apesar da disposição das aberturas J3 e J4 ser a mesma nas simulações 1AL e 1AD, o escoamento do fluxo de ar que penetra pela J2 é diferente, pois a posição dessa abertura muda nas duas situações. As imagens sugerem que a velocidade do fluxo de ar que entra pela J2 e sai principalmente pela janela do banheiro é maior em 1AL, gerando diferentes campos de pressão que acabam por succionar parte do fluxo de ar que sairia pela J3, mas que é desviado em direção ao hall e então para o banheiro. Já em 1AD os fluxos são canalizados prioritariamente seguindo a sequência das aberturas alinhadas na direção do ângulo de incidência (135°). De modo geral todos os ambientes apresentaram movimento de ar em seu interior, mesmo que, fora da área mais expressiva do fluxo tenha ocorrido algumas áreas com ar estagnado e baixa recirculação de ar.

Figura 42 – Experimentos na mesa d'água e respectivas representações gráficas do movimento do ar no ângulo de incidência do vento de 135° : (a) teste 1AL; (b) teste 1AC; e (c) teste 1AD



Legenda

- ← Direção do vento
- Percurso do fluido
- - - Baixo fluxo do fluido
- Ⓐe Abertura de entrada do ar
- Ⓐs Abertura de saída do ar
- ⓙ Janela
- Ⓟ Porta

Fonte: Autora (2021)

4.2.3.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso

Por meio do quadro 28, identifica-se que no ângulo de 45° o quarto 1 é o ambiente de entrada de ar, em virtude da localização de J1 que favoreceu a entrada de ar por ela. O caso inverso acontece na análise com o ângulo de incidência a 135°, onde o ângulo contribuiu para entrada de ar no quarto pela abertura J2.

Em relação à quantidade de ambientes que o fluxo de ar escoou desde a partir da abertura de entrada até a saída de ar houve variedade, ou seja, o fluido passou por três ambientes no teste 1OC (45°), quatro ambientes em 1AL (45° e 90°) e 1AD (45° e 90°), cinco cômodos em 1AL (135°), 1AC (135°) e 1AD (135°), e seis ambientes em 1AD (90°). Destaca-se que em 1AC (45°) e 1AD (45°) ocorreu circulação de ar caracterizada com baixo fluxo de ar, mas que apesar disso, foi registrada e considerou-se como ambiente de passagem de ar.

Quadro 28 – Níveis de percurso nos experimentos com aberturas em paredes adjacentes

Níveis de percurso nos experimentos com aberturas em paredes adjacentes									
θ I.V	1AL			1AC			1AD		
	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A
45°			4			3			4
90°			4			4			6
135°			5			5			5

Legenda

Setor social Setor íntimo Percurso do fluido Percurso de baixo fluxo do fluido

1 - Porta fechada com bandeira aberta.
A - Abertura externa em parede adjacente à porta.
L - Abertura externa na lateral da parede em que se encontra.
C - Abertura externa centralizada na parede em que se encontra.
D - Abertura externa diagonal na parede em que se encontra e em relação à porta.

θ - ângulo
I.V - incidência dos ventos
Amb. - ambiente
E.A - entrada de ar
S.A - saída de ar
Qtd. Amb. E.A/S.A - quantidade de ambientes desde a entrada à saída de ar

Fonte: Autora (2021)

4.2.3.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento

Visualmente já é possível perceber pelo quadro 29, que a abrangência do escoamento do ar nos testes apresentados nessa seção não possui resultados satisfatórios em relação à sua classificação. Nota-se que grande parte dos valores referentes aos ambientes de cada teste foi classificado como muito restrita e restrita, o que ratifica a carência na distribuição do fluxo de ar interno analisada nos experimentos e representações gráficas contidas nas figuras 41, 42 e 43. Somente no quarto 02 nos testes 1AC e 1AD para o ângulo de incidência do vento a 135°, obteve-se a classificação ampla de abrangência do escoamento do ar.

Além disso, observa-se que em algumas situações de classificação muito restrita, o valor alcançado foi de zero, ou seja, não houve circulação de ar que pudesse ser considerada para o cálculo desse aspecto, como nos ambientes: quarto 1 (1AL 90°), quarto 2 (1AL 45°, 1AC 45° e 90°, 1AD 45°), cozinha (1AC 90°) e banheiro (1AC 45°). Esses ambientes, além dos demais nessa classificação precisam de atenção especial para a busca de soluções que potencializem a ventilação natural nos ambientes internos.

Quadro 29 – Abrangência do escoamento do ar com a configuração das aberturas externas em paredes adjacentes à porta

Abrangência do escoamento (%)						
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes				
		Quarto 01	Quarto 02	Sala de estar	Cozinha	Banheiro
1AL	45°	20,32	0	18,50	32,20	6,69
	90°	0	23,49	20,52	41,15	27,87
	135°	45,22	28,83	31,45	44,70	44,35
1AC	45°	29,00	0	26,65	31,80	0
	90°	6,50	0	4,42	0	7,73
	135°	38,32	62,66	37,90	44,70	45,69
1AD	45°	49,20	0	27,08	36,60	27,71
	90°	3,60	3,92	6,18	7,82	3,37
	135°	37,69	63,57	32,25	43,85	56,02

Legenda

Aberturas

- 1** - Porta fechada com bandeira aberta.
- A** - Abertura externa em parede adjacente à porta.
- L** - Abertura externa na lateral da parede em que se encontra.
- C** - Abertura externa centralizada na parede em que se encontra.
- D** - Abertura externa diagonal na parede em que se encontra e em relação à porta.

Abrangência do escoamento do ar

- **MUITO AMPLA** (superior a 80% da área de piso)
- **AMPLA** (entre 60 e 80%)
- **MÉDIA** (entre 40 e 60%)
- **RESTRITA** (entre 20 e 40%)
- **MUITO RESTRITA** (inferior a 20% da área de piso)

Fonte: Autora (2021)

4.2.3.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento

Os valores zerados verificados no quadro 29, podem ser constatados no quadro 30, onde os ambientes com ausência de circulação de ar visível por meio dos experimentos, apresentaram velocidade do escoamento também ausente. Os demais ambientes exibiram velocidades que variaram conforme o posicionamento das aberturas externas dos quartos.

Quadro 30 – Velocidade do escoamento do ar: grupo 1 de experimentos com configuração das aberturas externas em paredes adjacentes à porta dos quartos

Velocidade do escoamento						
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes				
		Quarto 1	Quarto 2	Sala de estar	Cozinha	Banheiro
1AL	45°	Normal	Ausente*	Normal	Acelerada	Ausente*
	90°	Ausente*	Lenta	Normal	Lenta	Lenta
	135°	Acelerada	Normal	Normal	Lenta	Acelerada
	45°	Acelerada	Ausente*	Acelerada	Acelerada	Ausente*

1AC	90°	Normal	Ausente*	Lenta	Ausente*	Normal
	135°	Acelerada	Normal	Normal	Lenta	Acelerada
1AD	45°	Acelerada	Ausente*	Normal	Acelerada	Acelerada
	90°	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta
	135°	Acelerada	Normal	Normal	Muito lenta	Acelerada

*Identificação para os ambientes que não apresentaram movimento de ar visível nos experimentos na mesa d'água.

Fonte: Autora (2021)

4.2.4. Grupo 02 de experimentos: configuração das aberturas em Corte

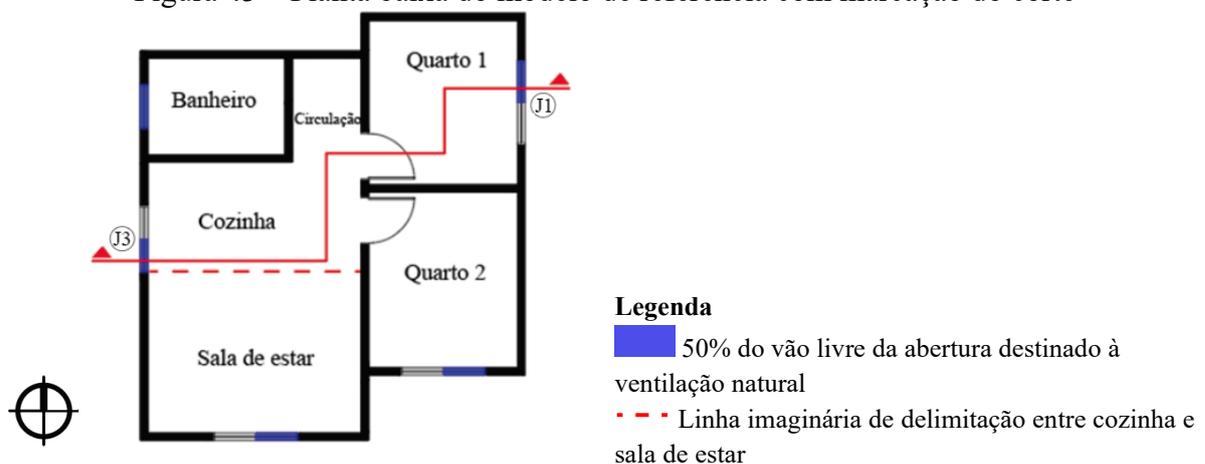
4.2.4.1. MASQ – Vento

Nesse tópico estão apresentados os resultados do grupo de experimentos com os casos em corte, para o sistema fixo e dinâmico do MASQ-Vento.

4.2.4.1.1. Sistema fixo

Na figura 43 observa-se a linha de corte que passa pelo quarto 1 e pela cozinha. A seleção da posição da linha de corte foi arbitrária, mas que o posicionamento da mesma considerou a obtenção de um corte transversal, uma vez que a face a barlavento analisada é a leste, e que a linha de corte passasse por pelo menos duas aberturas, e como a HIS é compacta, o atendimento a esses aspectos foi facilitado.

Figura 43 – Planta baixa do modelo de referência com marcação do corte



Fonte: Autora (2021)

Como o corte possui uma configuração mais simplificada, optou-se por classificar tanto a abertura do quarto 1 (como realizada no caso base e grupo 01 de experimentos) e a da cozinha, que são as aberturas externas por onde a linha de corte passa. A classificação das aberturas está exposta no quadro 31, onde nota-se que a localização e posicionamento de J3 não foram classificados, visto que o ambiente possui apenas delimitação imaginária em uma face, não apresentando porta para poder classificar a abertura externa em relação a ela.

Quadro 31 – Classificação das aberturas dos quartos nos testes em corte

Classificação das aberturas dos quartos nos testes em corte		
Aspectos analisados / Abertura	1AL	
	J1	J3
Orientação solar	Leste	Oeste
Tipo	Janela de correr	
Localização	Parede oposta	-
Posição	Central	-
Tamanho relativo	Pequena, até 1/3 da área da parede	

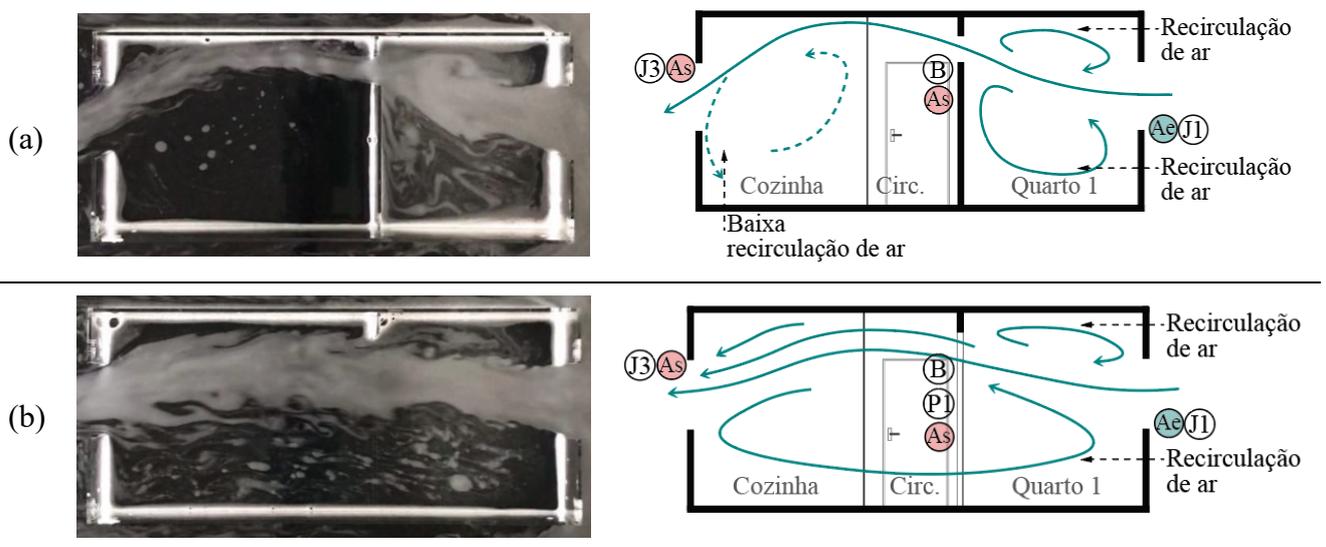
Fonte: Autora (2021)

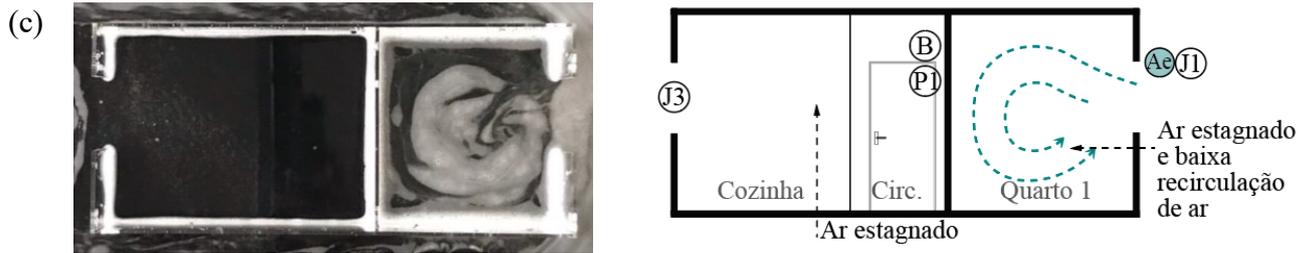
4.2.4.1.2. Sistema Dinâmico: identificação das aberturas

No que se refere à quantidade de aberturas de entrada e saída de ar tem-se no corte 1 (figura 44a) e no corte 2 (figura 44b) uma abertura de entrada de ar, e três de saída. Em contraponto, no corte 3 (figura 44c) há apenas uma abertura de entrada de ar, não apresentando de saída de ar, uma vez que a porta e bandeira foram consideradas fechadas.

Quanto à avaliação do escoamento do fluido nos ambientes, é notável que a abertura da bandeira e da porta permitem que haja ventilação cruzada nos ambientes, o que difere é o volume de circulação de ar que proporcionalmente ficou maior na situação do corte 2, onde a abertura de saída de ar (bandeira + porta) estão totalmente abertas, favorecendo a passagem de ar por elas. Já no caso do corte 3, evidencia-se que quando não há abertura que permita o ar sair, ele se mantém estagnado no ambiente assim que o adentra, além de apresentar baixa circulação, o que confere uma situação desfavorável à renovação de ar e conforto térmico dos usuários.

Figura 44 – Experimentos na mesa d’água com aberturas em corte e respectiva representação gráfica do movimento do ar: (a) corte 1; (b) corte 2; (c) corte 3





Legenda

- ← Direção do vento
- Percurso do fluido
- - - - Baixo fluxo do fluido
- ⊙ (Ae) Abertura de entrada do ar
- ⊙ (As) Abertura de saída do ar
- ⊙ (J) Janela
- ⊙ (P) Porta
- ⊙ (B) Bandeira

Fonte: Autora (2021)

4.2.4.1.3. Sistema Dinâmico: níveis de percurso

Como os ambientes pelos quais a linha de corte passa são apenas dois, então notoriamente o máximo de ambientes nos níveis de percurso também são dois, como verificado no corte 1 e 2 (quadro 32). Percebe-se que no corte 3 como não há abertura de saída de ar, não há também ambiente pelo qual o ar sairá, situação que pode ser analisada em conjunto com a figura 45.

Quadro 32 – Níveis de percurso nos experimentos em corte

Níveis de percurso nos experimentos em corte									
θ	Corte 1			Corte 2			Corte 3		
	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A	Amb. E.A	Amb. S.A	Qtd. Amb. E.A/S.A
90°	Quarto 01 →	Cozinha	2	Quarto 01 →	Cozinha	2	Quarto 01		1

Legenda

- Setor social
- Setor íntimo
- Percurso do fluido
- - - - → Percurso de baixo fluxo do fluido
- θ - ângulo
- I.V - incidência dos ventos
- Amb. - ambiente
- E.A - entrada de ar
- S.A - saída de ar
- Qtd. Amb. E.A/S.A - quantidade de ambientes desde a entrada à saída de ar

Fonte: Autora (2021)

4.2.4.1.4. Sistema Dinâmico: abrangência do escoamento

O quadro 32 apresenta a abrangência do escoamento do ar nos cortes, onde verifica-se que o maior valor foi obtido no quarto 1 no corte 1 com abrangência muito ampla, contudo, no mesmo corte, a cozinha apresentou abrangência do escoamento restrita, uma vez que nessa situação a abertura de saída do ar do quarto foi por meio da bandeira que apresenta dimensão pequena.

Já quando analisado o corte 2, os dois ambientes obtiveram a classificação de abrangência do escoamento como ampla e com valores semelhantes. Nesse caso, estava a

porta e sua bandeira aberta, o que permitiu passagem de ar e distribuição do mesmo de maneira mais uniforme pelos ambientes, o que confirma os dados encontrados.

No que se refere ao corte 3, em virtude dos aspectos já mencionados sobre ele, era evidente a classificação obtida como restrita para o quarto 1 que não possuía abertura de saída de ar, e muito restrita para a cozinha.

Quadro 33 – Abrangência do escoamento do ar nos cortes

Abrangência do escoamento (%)			
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes	
		Quarto 1	Cozinha
Corte 1	90°	95,55	22,42
Corte 2		65,92	62,66
Corte 3		47,20	0

Legenda
Abrangência do escoamento do ar
■ **MUITO AMPLA** (superior a 80% da área de piso)
■ **AMPLA** (entre 60 e 80%)
■ **MÉDIA** (entre 40 e 60%)
■ **RESTRITA** (entre 20 e 40%)
■ **MUITO RESTRITA** (inferior a 20% da área de piso)

Fonte: Autora (2021)

O valor de 47,20% referente à abrangência do escoamento no quarto 1 no corte 3, apesar de ter dado um valor de classificação média (entre 40 e 60% de espuma em relação à área de piso do ambiente), não representa um ambiente com circulação de ar interna que promova a renovação do ar, visto que apresenta apenas uma abertura, portanto, não há ventilação cruzada no ambiente e, o ar que entra não circula de modo que renove o ar do espaço. Essas afirmações foram baseadas também com a observação dos vídeos gravados, onde notou-se que o ar que adentra no espaço fica estagnado e há baixa recirculação de ar (quando ocorre).

4.2.4.1.5. Sistema Dinâmico: velocidade do escoamento

A relação entre o tamanho da abertura de entrada e saída de ar percorrida por Givoni (1936, apud, FROTA; SCHIFFER, 2003) pode ser verificada no corte 1, onde no quarto 1 que apresenta abertura de entrada de ar (J1) maior do que a de saída (bandeira), percebeu-se velocidade menor no ambiente interno e distribuição do ar mais uniforme no espaço. E quando analisada a cozinha, tem-se a bandeira da porta do quarto 1 (dimensão menor) como abertura de entrada de ar e a J3 como a de saída, ou seja, notou-se que a velocidade do ar interno foi maior e a distribuição do ar mais irregular.

Quadro 34 – Velocidade do escoamento do ar: grupo 2 de experimentos com configuração das aberturas em corte

Velocidade do escoamento			
Testes	Ângulo de incidência dos ventos	Ambientes	
		Quarto 1	Cozinha
Corte 1	90°	Lenta	Acelerada
Corte 2		Normal	Normal
Corte 3		Muito lenta	Ausente*

*Identificação para os ambientes que não apresentaram movimento de ar visível nos experimentos na mesa d'água.

Fonte: Autora (2021)

4.2.5. Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural - MAM VN

Os resultados presentes nessa seção foram obtidos através do uso das planilhas de cálculo apresentadas nos apêndices A e B, onde encontram-se os modelos de planilhas utilizadas para obtenção dos Índices de Desempenho Parcial de Direção e Estação, bem como os Índices de Desempenho Global (IDG) da ventilação natural. Os índices possuem um sistema de classificação de desempenho composto de sete níveis: (1) ótimo, quando alcançado valores entre 9 e 10; (2) muito bom, para resultados entre 8 e 9; (3) bom, para aqueles entre 7 e 8; (4) razoável, quando obtidos valores entre 5 a 7; (5) ruim, quando entre 4 a 5; (6) muito ruim, entre 2 a 4; e (7) péssimo, com valores entre 0 a 2.

No quadro 35 encontra-se a síntese dos IDGs, onde é possível ter uma visão geral de todos os IDG-VN encontrados para todas as configurações de aberturas propostas em todas as oito cidades que tiveram seus COEs verificados. As planilhas de cálculo utilizadas e os dados referentes a cada configuração de abertura e cidades, estão presentes nos apêndices de C ao K.

Quadro 35 – Síntese dos Índices de Desempenho Global

Síntese dos Índices de Desempenho Global											
Cidade/UF	ZB	Caso Base	Grupo 01 de experimentos						Grupo 02 de experimentos		
			1OL	1OC	1OD	1AL	1AC	1AD	C. 1	C. 2	C. 3
Curitiba – PR	1	3,07	4,51	4,83	4,09	3,66	3,40	3,53	1,49	1,65	1,20
Piracicaba - SP	2	3,21	4,22	4,36	3,92	3,47	3,38	3,49	1,03	1,14	0,83
São Paulo - SP	3	3,45	4,41	4,50	4,12	3,64	3,59	3,69	0,98	1,09	0,79
Brasília – DF	4	2,93	4,11	3,34	3,78	3,36	3,19	3,30	1,19	1,32	0,96
Governador Valadares - MG	5	2,53	3,32	3,52	3,15	2,76	2,70	1,59	0,73	0,81	0,59
Goiânia - GO	6	2,62	3,29	3,37	3,12	2,73	2,73	2,82	0,64	0,70	0,51
Teresina – PI	7	1,65	2,04	2,12	1,97	1,71	1,72	1,79	0,33	0,37	0,27
Rio de Janeiro - RJ	8	2,14	2,78	2,96	2,66	2,32	2,29	2,39	0,56	0,34	0,45

Legenda

Nível de classificação dos desempenhos

9 a 10 Ótimo	7 a 8 Bom	4 a 5 Ruim	0 a 2 Péssimo
8 a 9 Muito bom	5 a 7 Razoável	2 a 4 Muito Ruim	

Fonte: Autora (2021)

Nessa etapa considerou-se o agrupamento dos dados por configuração de abertura, de modo que fosse verificado seu respectivo IDG. Como observado no quadro 35, nenhuma configuração de abertura apresentou desempenho da ventilação natural satisfatório, classificando-se de ruim a péssimo, embora esperasse valores razoáveis na classificação.

Para alcançar esses valores são levados em conta vários fatores que foram desenvolvidos ao longo da pesquisa, como, a abrangência do escoamento, o potencial sazonal dos ventos regionais (frequência de ocorrência), a desejabilidade da ventilação natural por estação do ano em cada cidade, entre outros. Cada fase permitiu analisar fatores diferentes e que em conjunto impactam na compreensão da distribuição da ventilação natural nos ambientes internos. Ou seja, a etapa de realização dos experimentos na mesa d'água possibilitou identificar facilmente as aberturas que funcionaram como entrada e saída de ar, permitiu também visualizar o percurso do escoamento do ar nos ambientes internos, além de contribuir na determinação das zonas com fluxo mais expressivo da corrente de ar e outras com carência dessa circulação.

Embora seja de extrema importância a análise visual do percurso do ar, o estudo isolado da mesma não é recomendado, por isso para a obtenção do IDGs são levados em conta a integração de diversos aspectos, como frequência de ocorrência dos ventos e desejabilidade sazonal dos ventos regionais.

Em relação aos baixos valores encontrados nos Índices de Desempenho Global da Ventilação Natural tem-se algumas questões que podem ter contribuído para a ocorrência dessa classificação como: (1) orientação dos ventos – embora as orientações NE, L e SE tenham sido as mais presentes dentre as cidades analisadas (quadro 9), existiam outras orientações que eram mais representativas a uma ou outra cidade, o que poderia colaborar na locação das aberturas externas, contudo, de maneira a agrupar as cidades selecionadas com aspectos em comum e abranger a maioria das situações, adotou-se as três orientações solares mencionadas; (2) ponderação da desejabilidade sazonal da ventilação natural (quadro 12) – os pesos ponderados a cada estação do ano foram 40 para a estação do ano com maior porcentual de desejabilidade da ventilação natural dentro daquela cidade, em seguida adoção de peso 30, 20 e 10 respectivamente e decrescentemente às cidades com menor porcentual de desejabilidade da ventilação natural; induz-se que a abordagem de pesos maiores para as estações do ano com maior desejabilidade desse recurso natural poderia ter contribuído em resultados mais condizentes com a otimização da ventilação natural nos ambientes internos em períodos do ano em que a mesma é mais necessária para auxiliar no resfriamento fisiológico dos usuários.

Em virtude da classificação obtida, considera-se que uma análise do IDG por ambiente possa ser mais satisfatória, ao invés de toda a UH, uma vez que pelas verificações visuais dos experimentos na mesa d'água foi percebido que a depender da configuração de abertura existiam ambientes com distribuição de ar em maiores áreas, em contrapartida outros ambientes apresentavam carência dessa circulação de ar. Isto é, como se analisou o IDG da HIS, foram considerados todos os ambientes, então, ocorreram situações em que o escoamento do ar foi favorável em um espaço e desfavorável em outro, o que leva a crer que mesclar a configuração de abertura em cada ambiente poderia ser algo a considerar, por exemplo, adotar a configuração de abertura no quarto 1 em 1OD e no quarto 2 em 1AD para o mesmo ângulo de incidência dos ventos. Para tanto, é necessário verificar cada experimento realizado e analisar as situações oportunas a serem mescladas.

4.3. RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS E SUGESTÕES PARA REGULAMENTAÇÕES CONSTRUTIVAS

Em relação às recomendações projetuais, de acordo com as análises dos resultados e por meio da literatura clássica sobre a temática da pesquisa em questão, tem-se recomendações que podem ser empregadas tanto para a HIS aqui estudada, quanto para outras tipologias habitacionais (com previsão de adaptações caso necessário).

No que se refere à localização e posicionamento das aberturas externas, constatou-se que as situações em que a abertura externa estava situada diagonalmente à porta do ambiente, a circulação de ar interno se distribuiu por mais áreas no ambiente, e que a depender da disposição dos móveis do espaço, essas áreas podem ser zonas em que o usuário esteja ocupando e seja beneficiado com o resfriamento fisiológico de seu corpo por meio da ventilação natural. Em contrapartida, casos em que a abertura externa estava em frente a porta, observou-se circulação de ar mais linear e em menor área do espaço, o que pode configurar em maior dificuldade para contribuir no conforto térmico do ocupante, a não ser que o mesmo esteja situado na passagem desse fluxo de ar. Nesse contexto, é importante considerar nos projetos arquitetônicos a localização e posicionamento das aberturas, uma vez que ficou evidente que impacta na distribuição da ventilação natural nos ambientes internos e pode auxiliar na locação do mobiliário, visto que a cama ou mesa de estudo (geralmente de uso do usuário) podem estar locadas nas zonas de passagem de circulação do ar para otimizar o resfriamento fisiológico do ocupante.

Outro aspecto bastante presente na literatura clássica é quanto à ventilação cruzada nos ambientes internos, o que foi evidenciado nos experimentos realizados na mesa d'água. É preferível que para contribuir no conforto térmico das pessoas em regiões de clima quente úmido como o Brasil, que a passagem do ar nos ambientes internos seja pelo espaço ocupado pelo usuário, de modo que por convecção haja o resfriamento fisiológico do ser humano. Além do local onde o usuário se encontra no ambiente, outro fator a considerar nas análises é quanto à velocidade do ar, visto que via de regra, quanto maior a velocidade do ar, melhor será a sensação térmica do usuário em dias mais quentes. Esse artifício apesar de bastante mencionado na literatura clássica, carece de otimização em projetos de arquitetura, dado que a ventilação cruzada muitas vezes é proporcionada apenas quando a porta do ambiente está aberta, o que a depender do caso, pode interferir na privacidade do usuário.

Dessa forma, sugere-se o estudo da porosidade das portas internas por meio da inclusão de bandeira acima delas, o que poderá otimizar a ventilação cruzada no ambiente

interno e ainda manter a privacidade do usuário. Propõe-se também que a tipologia da bandeira possa permitir abertura e fechamento, como exemplo a veneziana móvel. Assim, em regiões que necessitem de climatização artificial conforme a Zona Bioclimática, o usuário tenha a possibilidade do fechamento da bandeira para usufruir de outro artifício de resfriamento fisiológico.

Outro aspecto de estudo é quanto ao ângulo de incidência dos ventos mais predominantes nas regiões, uma vez que é de suma importância em análises da ventilação natural para os ambientes internos, ou seja, cada cidade possui orientações solares que apresentam maior e menor frequência de ocorrência dos ventos. Dessa forma, estudar quais incidências mais frequentes no local de estudo é fator de destaque para locar as aberturas internas e externas, de modo que o ar possa percorrer com qualidade todos os ambientes internos da edificação e conforme a sua função. Isto é, no quarto pode-se preferir maior distribuição do ar, contudo na zona de cocção da cozinha já não seria interessante que houvesse corrente de ar perto do fogão com chamas, uma vez que as mesmas poderiam apagar.

No que tange às regulamentações construtivas estudadas, evidenciou-se que o aspecto comum e mais presente foi quanto ao dimensionamento das aberturas externas, variando essa dimensão em algumas regiões do país. Diante disso, recomenda-se a inclusão de aspectos relacionados à configuração das aberturas para além do dimensionamento, ou seja, considerar a localização e posicionamento das aberturas (abordados na presente pesquisa), bem como sua quantidade e tipologia, uma vez que esses aspectos são influências evidentes no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos e na percepção do conforto térmico dos usuários.

Em relação aos Códigos de Obras e Edificações, sugere-se que a diretriz relacionada ao dimensionamento das aberturas destinadas à ventilação natural seja separada da iluminação natural, ou seja, que haja menção da dimensão mínima a ser estabelecida para ventilação natural e qual a atribuída à iluminação natural. Então, para aquelas legislações que não mencionam se metade do vão de abertura deva ser destinada à ventilação natural, sugere-se que seja realizada a citação para reduzir interpretações equivocadas quanto ao dimensionamento específico, visto que alguns COEs analisados unificaram o valor mínimo a ser concedido para as aberturas.

Em contrapartida, a ABNT NBR 15575 já estabelece diretrizes específicas quanto ao dimensionamento da abertura indicado para ventilação natural em APPs, o que confere ponto relevante, uma vez que quando não houver legislação específica na cidade analisada que tratem desse fator, o profissional poderá consultar a norma, visto que ela orienta no

dimensionamento das aberturas, com definições numéricas mínimas de seu porcentual a ser estabelecido nas habitações. Entretanto, quando o profissional não consulta a ABNT NBR 15575 poderá haver desconsideração da inclusão dessa diretriz no desenvolvimento de seu projeto arquitetônico, ou até mesmo assumir valores utilizados pelo senso comum que poderão não ser condizentes com o seu projeto e realidade climática local, o que afetaria não apenas a edificação, mas também os usuários.

Em busca de solucionar essa questão e otimizar o processo de projeto nas etapas de consultas às regulamentações construtivas e inclusive nos procedimentos de revisão de legislações, poderia entrar em debate dois fatores relevantes: se seria melhor a indicação das diretrizes ausentes nos COEs ou somente acrescentar nas legislações municipais que normas técnicas e vigentes sejam atendidas, o que englobaria a ABNT NBR 15575. Sugere-se ainda que quando houver indicação de normas, que seu ano de vigência não seja acrescido nas legislações, como uma forma de prolongar o prazo de validade de determinada diretriz mesmo que a indicada norma passe por processos de revisão ao longo dos anos.

Para além do dimensionamento das aberturas, sugere-se que nas regulamentações construtivas sejam considerados a inserção das recomendações projetuais aqui expostas, que embora sejam conceitos fundamentais, muitas vezes pela demanda do mercado da construção civil, são ignorados nos projetos arquitetônicos. Então, haver a presença desses parâmetros nas regulamentações construtivas é uma forma de resgate a esses princípios, além de demonstrar obrigatoriedade do profissional em atendê-las, uma vez que o projeto passará pela aprovação no órgão municipal responsável por essa atividade.

Ainda que a inclusão dos aspectos supracitados devesse ser mais presentes em projetos arquitetônicos, uma vez que arquitetos adquirem esses conhecimentos na graduação, a realidade no mercado de trabalho é um pouco distinta, o que confere ainda mais a importância da obrigatoriedade no atendimento às legislações e normativas vigentes para além da aprovação de projetos de arquitetura, visando também garantir o desempenho da edificação e conforto do usuário.

Compreende-se e sugere-se a possibilidade de inserção dos parâmetros supracitados nos COEs e ABNT NBR 15575, apesar de que inicialmente sejam diretrizes relacionadas ao projeto arquitetônico, o que poderia demandar por parte dos órgãos responsáveis novas maneiras de avaliação no processo de aprovação do projeto.

Entende-se ainda que o processo de revisão de regulamentações construtivas é complexo, visto que exige tempo e equipe qualificada para analisarem todas as diretrizes e identificarem aquelas que estejam defasadas e/ou incompletas de alguma maneira, para então

buscarem soluções atualizadas. Contudo, considera-se importante a incorporação de parâmetros nas regulamentações construtivas que estejam relacionados à otimização da ventilação natural nos ambientes internos em HIS, uma vez que podem incentivar os profissionais arquitetos e urbanistas a proporcionarem melhorias no ambiente construído no território nacional. As sugestões propostas podem ser aspectos iniciais para discussões entre o meio acadêmico, poder público, profissionais e instituições que possam contribuir com os debates relacionados à temática para revisão de COEs e normas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer as características climáticas regionais é etapa necessária e fundamental para contribuir em projetos arquitetônicos adequados à realidade local. Aliado a esse conhecimento, deve-se consultar legislações e normativas vigentes para que o planejamento e desenvolvimento do projeto arquitetônico resulte em um produto que satisfaça as necessidades dos ocupantes que usufruirão do espaço.

No que tange a ventilação natural e como esta é abordada nas regulamentações construtivas, é importante ressaltar a análise do seu desempenho em edificações a partir das recomendações estabelecidas em legislações e normas edilícias, de modo a identificar possíveis carências nessas regulamentações e buscar soluções que contribuam nesse âmbito, além de colaborar na temática relacionada à ventilação natural no ambiente construído. Diante disso, é desejável que as diretrizes sejam eficientes e atualizadas ao contexto climático regional e que permita que as exigências dos usuários sejam alcançadas.

O objetivo geral da pesquisa, de analisar o desempenho da ventilação natural, do ponto de vista do conforto térmico, a partir de diferentes configurações de aberturas (localização e posicionamento) e ângulos de incidência dos ventos em uma Habitação de Interesse Social brasileira, considerando o dimensionamento de aberturas estabelecido pelos Códigos de Obras e Edificações brasileiros e pela Norma de Desempenho Habitacional – ABNT NBR 15575:2021, foi atingido e, será capaz de contribuir em melhorias na qualidade do ambiente construído por meio da adequação de diretrizes legislativas de acordo com a realidade climática regional.

Os objetivos específicos do presente estudo também foram alcançados, sendo eles: (1) identificar as diretrizes relacionadas às aberturas para ventilação natural em Códigos de Obras e Edificações de municípios brasileiros e na ABNT NBR 15575:2021, que nesse caso identificou-se como sendo o percentual de abertura para ventilação natural calculado a partir da área de piso do respectivo ambiente; (2) avaliar o impacto de diferentes configurações das aberturas e ângulos de incidência dos ventos no desempenho da ventilação natural, incorporando a ventilação cruzada, por meio de experimentos na mesa d'água, de modo a verificar qualitativamente a distribuição do fluxo de ar na parte interna dos ambientes; e (3) elaborar recomendações projetuais e sugestões para regulamentações construtivas a partir da análise dos resultados obtidos e da literatura clássica referentes aos aspectos de desempenho da ventilação natural.

Relembra-se também a pergunta de pesquisa: qual configuração de abertura apresenta melhor desempenho da ventilação natural para promover as exigências térmicas em uma

habitação de interesse social representativa, levando em consideração a área já estabelecida pelos COEs e ABNT NBR 15575? E respondendo-a, não houve configuração de abertura que se classificou pelo menos como razoável (nível de classificação de 5 a 7) ou maior, isto é, todas as situações foram de ruim a péssimo conforme o sistema de classificação adotado, como analisado no quadro 35. Contudo, dentre as classificações obtidas, os melhores resultados (apesar de não satisfatórios) foram: Curitiba e São Paulo, para as configurações de aberturas 1OL, 1OC e 1OD; Piracicaba, para 1OL, 1OC e Brasília para a configuração 1OL.

Mesmo que os resultados classificatórios não tenham obtidos níveis iguais ou acima do razoável de acordo com o sistema de classificação dos Índices de Desempenho Global da ventilação natural, é relevante a análise dos fatores que otimizam esse recurso natural nos ambientes internos verificados na presente pesquisa, levando em conta principalmente as considerações acerca das possíveis causas da obtenção dos baixos valores encontrados, como: (1) orientação dos ventos – é necessária a verificação das orientações que são mais representativas a cada cidade; (2) ponderação da desejabilidade sazonal da ventilação natural – considerar pesos maiores para as estações que apresentam maior desejabilidade da ventilação natural como recurso que auxilie no resfriamento fisiológico dos ocupantes nos ambientes internos; e (3) análise do Índice de Desempenho Global por ambiente, uma vez que quando considerado a HIS por completa, houve situações mais favoráveis a um ambiente do que a outro quando analisados na mesma configuração de abertura.

Acredita-se que com as considerações das modificações supracitadas haveria melhoria no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos da Habitação de Interesse Social.

Em relação ao caso base utilizado, considerou-se que o mesmo foi satisfatório no desenvolvimento da pesquisa, e que embora os resultados dos Índices de Desempenho Global da ventilação natural não tenham apresentado uma classificação aceitável, como o esperado, ele se enquadrou nos critérios de seleção expostos na metodologia, como: (1) que fosse uma Unidade Habitacional representativa no Brasil e (2) que permitisse analisar diferentes configurações de aberturas (localização, posicionamento, porosidade das portas internas e, modificação do ângulo de incidência do vento).

Sobre as recomendações projetuais foram estabelecidas as seguintes: (1) localização e posicionamento das aberturas para potencializar a distribuição da ventilação natural; (2) porosidade das portas internas para otimizar a ventilação cruzada nos ambientes internos; e (3) análise do ângulo de incidência dos ventos mais representativos na região em estudo, que auxiliará na localização e posicionamento das aberturas.

No que diz respeito às regulamentações construtivas foram sugeridas melhorias a partir da inserção das recomendações projetuais supracitadas, que apesar de serem aspectos primordiais nos projetos arquitetônicos, ainda carecem de atenção no mercado da construção civil por parte dos profissionais. Então, a consideração das recomendações propostas apresenta-se como resgate a esses fundamentos, além de incentivar o uso por parte da obrigatoriedade de diretrizes em legislações e normas quando estas apresentam tais parâmetros.

Embora a revisão de regulamentações construtivas seja algo complexo e que envolve tempo de estudo e equipe qualificada, considerar a inclusão de novos parâmetros em seu texto é de suma relevância para contribuir em melhorias na construção civil. Diante disso, acredita-se na possibilidade de contribuições no meio construtivo para além da área de abertura.

Vale salientar que o dimensionamento das aberturas recomendados pelas regulamentações construtivas para a renovação do ar é imprescindível e, ganha ainda mais destaque devido a conjuntura pandêmica ocasionada pela Covid-19, momento em que as pessoas passaram a maior parte do dia em isolamento social em suas residências, o que requer que os ambientes estejam agradáveis ao seu uso e permanência. Contudo, a utilização de apenas esse parâmetro pode não ser suficiente para o alcance dos demais objetivos da ventilação natural, como o conforto térmico dos ocupantes e remoção da carga térmica da edificação.

No que concerne à ferramenta mesa d'água utilizada para a realização dos experimentos, esta se mostrou satisfatória para o estudo qualitativo da distribuição da ventilação natural nos ambientes internos na Habitação de Interesse Social selecionada. Embora este equipamento apresente algumas limitações, como supracitado em capítulo anterior, ele é um meio didático e de fácil utilização e compreensão do fenômeno da ventilação natural em etapas iniciais de projeto. Se expressa como uma ferramenta que pode ser utilizada como recurso de ensino na graduação, bem como por profissionais para estudos preliminares de projeto arquitetônicos e sua relação com esse recurso natural. Todavia, é relevante verificar outros aspectos relacionados à ventilação natural, como velocidade do ar, frequência de ocorrência dos ventos, desejabilidade desse fenômeno por estação do ano, entre outros.

Em relação à utilização do Método de Análise Simplificado e Qualitativo por ação do Vento – MASQ Vento e da Metodologia de Avaliação Multicritérios da Ventilação Natural – MAM VN, ambos desenvolvidos por Toledo (2006), também se mostraram satisfatórias para

o presente estudo, mas foram necessárias realizar adaptações em algumas etapas para a unidade habitacional do trabalho em questão.

Por fim, o trabalho encoraja em melhorias no ambiente construído através do aprofundamento de fatores relacionados à configuração de aberturas em uma Habitação de Interesse Social unifamiliar representativa dentre as tipologias existentes no Brasil, com ênfase em melhorias na distribuição da ventilação natural nos ambientes internos. Acrescenta-se ainda que a presente pesquisa pode contribuir em trabalhos futuros para revisão de regulamentações construtivas como os Códigos de Obras e Edificações e a Norma de Desempenho Habitacional diante dos aspectos analisados.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Além das variáveis de configuração de abertura relacionadas à localização e ao posicionamento das aberturas externas, bem como dos ângulos de incidência dos ventos analisados na presente pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros que outras configurações de aberturas sejam abordadas, tais como o dimensionamento, quantidade, tipologia das aberturas, dentre outras, de modo que as informações possam ser complementares e o estudo da distribuição do ar nos ambientes internos seja cada vez mais presente tanto na academia quanto na vida profissional dos arquitetos.

Ademais, sugere-se que pesquisas futuras considerem nas análises as possíveis causas que levaram na obtenção de baixos valores nos níveis de classificação do Índice de Desempenho Global da ventilação natural como, orientação dos ventos específica a cada região, ponderação da desejabilidade da ventilação natural de modo que estações que requerem maior desejabilidade desse recurso receba um peso maior nos cálculos, e análise do Índice de Desempenho Global por ambiente.

De maneira a aprofundar o presente trabalho, recomenda-se ainda que os testes realizados com as configurações de aberturas propostas para as análises na HIS, sejam verificadas também em simulações computacionais que apresentem tridimensionalmente os efeitos da ventilação natural no ambiente interno considerando o entorno.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernando da Silva; RIBEIRO, Roseana Martins; SCALCO, Veridiana Atanasio; FOSSATI, Michele; ORDENES, Martin. Análise do uso de aplicativo virtual para estudo da ventilação natural em ambientes internos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

ARACAJU (Município). **Projeto de Lei Complementar 19 de novembro de 2010** - Revisa a Lei nº 13 de 1966. Código Municipal de Obras e Edificações. Aracaju, 2010.

AROONRUENGSAWAT, Anin; AUFFHAMMER, Maximilian; SANSTAD, Alan. The Impact of State Level Building Codes on Residential Electricity Consumption. **The Energy Journal**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.1-28, 2012. International Association for Energy Economics (IAEE). <http://dx.doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol33-no1-2>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-1: Esquadrias para edificações**. Parte 1: Esquadrias externas e internas — Terminologia. Brasil, 2017. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Brasil, 2005. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro, 2021a.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**. Parte 1: Requisitos Gerais. Projeto de Emenda. Rio de Janeiro, 2021b.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Projeto de Emenda. Rio de Janeiro, 2021c.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Projeto de Emenda. Rio de Janeiro, 2021d.

BACH, Arthur Henrique; VEIGA, Rita de Cássia Gnutzmann. **Produção da Habitação de Interesse Social em Rio Grande/RS: diagnóstico de edificações assistidas pelo SAsCC**. 12º SIEPE – Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. 2020.

BAHIA, Sérgio Rodrigues; GUEDES, Paula de Azevedo. **Elaboração e atualização do código de obras e edificações**. 2 ed. ver. e atual. por Ricardo Moraes. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, ELETROBRÁS/PROCEL, 2012.

BAIARDI, Yara Cristina Labronici. Análise arquitetônica de unidades habitacionais de interesse social em uma perspectiva comparada. In: 58ª Reunião Anual da SBPC. **Anais...** (online). Florianópolis: SBPC, 2006. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_1328.html>. Acesso em: 29 set. 2018.

- BELÉM (Município). Lei nº 7.400, de 25 de janeiro de 1988. **Lei das Edificações**. Belém, 1988.
- BELO HORIZONTE (Município). Lei Nº 9725, de 15 de julho de 2009. **Código de Edificações**. Belo Horizonte, 2009.
- BERRY, Stephen; MARKER, Tony. Residential energy efficiency standards in Australia: where to next?. **Energy Efficiency**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.963-974, 20 fev. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-015-9336-4>.
- BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL Edifica, 2010.
- BOA VISTA (Município). Lei nº 023, de 10 de outubro de 1974. **Código de edificações e instalações do município de Boa Vista**. Boa Vista, 1974.
- BONDUKI, N. **Os pioneiros da habitação social: cem anos de construção de política pública no Brasil**. São Paulo: Unesp / Sesc, 2014.
- BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Brasília, DF, 2012. Disponível em: <[http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQ R.pdf](http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQ_R.pdf)>. Acesso em: 28 jan. 2021.
- BRASÍLIA (Município). Lei Nº 6.138, de 26 de abril de 2018. **Código de Obras e Edificações**. Brasília, 2018.
- CAMPO GRANDE (Município). Lei Número 1.866 de 26 de dezembro de 1.979. **Código de Obras do Município de Campo Grande – MS**. Campo Grande, 1979.
- CÂNDIDO, Christina Maria. **Ventilação natural e códigos de obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió-AL**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.
- CARVALHO, Aldo Ribeiro de; RUBIM, Diana Fiori; NUNES, Vitor Dias Lopes; HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz. NBR 15575, ADEQUAÇÃO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO. **Mix Sustentável**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 55-70, 18 jun. 2020. **Mix Sustentável**. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.mix2020.v6.n3.55-70>.
- CHEN, Qingyan (Yan). Using computational tools to factor wind into architectural environment design. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 36, n. 12, p. 1197-1209, dez. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.10.013>.

CHING, Francis D. K.; SHAPIRO, Ian M. **Edificações sustentáveis ilustradas**. Porto Alegre: Bookman, 2017.

CHU, Chia-Ren; CHIU, Y.-H.; TSAI, Yi-Ting; WU, Si-Lei. Wind-driven natural ventilation for buildings with two openings on the same external wall. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 108, p. 365-372, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.041>.

CLUNE, Stephen; MORRISSEY, John; MOORE, Trivess. Size matters: House size and thermal efficiency as policy strategies to reduce net emissions of new developments. **Energy Policy**, [s.l.], v. 48, p.657-667, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.072>.

CORBELLA, Oscar; CORNER, Viviane. **Manual de arquitetura bioclimático tropical**. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

COUTINHO, Ítalo. **Norma de desempenho e o que muda para a construção civil**. Atividades acadêmicas e profissionais, 2014. Disponível em: <<http://www.italonaweb.com.br/norma-de-desempenho-e-o-que-muda-para-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

CUIABÁ (Município). Lei Complementar nº 102, de 03 de dezembro de 2003. **Código de Obras e Edificações**. Cuiabá, 2003.

CUNHA, Tarcísio Gontijo. **Os códigos de obras: tradições e potencialidades**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CURITIBA (Município). Lei Nº 11.095 de 21 de julho de 2004. Curitiba, 2004. **Código de Posturas**. Curitiba, 2004.

CURITIBA (Município). Portaria nº 80, de 15 de julho de 2013. **Regulamento de Edificações** – Caderno de Anexos. Curitiba, PR. Disponível em: <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2013/00134264.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2020.

DUTTON, Spencer M.; FISK, William J.. Energy and indoor air quality implications of alternative minimum ventilation rates in California offices. **Building And Environment**, [S.L.], v. 82, p. 121-127, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.009>.

ELSHAFEI, Ghada; NEGM, Abdelazim; BADY, Mahmoud; SUZUKI, Masaaki; IBRAHIM, Mona G.. Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 141, p. 321-332, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.055>.

FARIAS, Heitor Soares de. O avanço da Covid-19 e o isolamento social como estratégia para redução da vulnerabilidade. **Espaço e Economia**, [S.L.], v. 17, n. 17, p. 1-8, 7 abr. 2020. OpenEdition. <http://dx.doi.org/10.4000/espacoeconomia.11357>.

FERNANDES, Júlia Teixeira. **Código de Obras e Edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2009.

FLORIANÓPOLIS (Município). Lei Complementar nº 60, de 11 de maio de 2000. **Código de Obras e Edificações**. Florianópolis, 2000.

FORTALEZA (Município). Projeto de Lei de 15 de fevereiro de 2019. **Código da Cidade** – Propõe substituir a Lei nº 5530/1981 (Código de Obras e Posturas do Município de Fortaleza). Fortaleza, 2019.

FORTALEZA (Município). Lei de 17 de dezembro de 1981. **Código de Obras e Posturas do Município de Fortaleza** – Fortaleza, 2019.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FU, Xiuzhang; HAN, Mingzhu. Analysis of Natural Ventilation Performance Gap between Design Stage and Actual Operation of Office Buildings. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 172, p. 09010-09016, 2020. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202017209010>.

FUENTE, Javier Antonio Alvariño de la. **O edifício doente: relação entre construção, saúde e bem-estar**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade do Minho – Escola de Arquitetura, Azurém, Portugal, 2013.

GALVÃO, Walter José Ferreira. **Fundamentos de conforto ambiental para aplicação no projeto de arquitetura: conforto térmico, acústica arquitetônica e luminotécnica**. São Paulo: Ed. do Autor, 2016.

GAO, Caifeng; LEE, Wai Ling. Evaluating the influence of openings configuration on natural ventilation performance of residential units in Hong Kong. **Building And Environment**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 961-969, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.029>.

GAUTAM, Khem Raj; RONG, Li; ZHANG, Guoqiang; ABKAR, Mahdi. Comparison of analysis methods for wind-driven cross ventilation through large openings. **Building And Environment**, [S.L.], v. 154, p. 375-388, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.009>.

GOIÂNIA (Município). Lei Complementar nº 177, de 09 de janeiro de 2008. **Código de Obras e Edificações**. Goiânia, 2008.

GOVERNADOR VALADARES (Município). Lei Complementar nº 196, de 18 de junho de 2015. **Código de Obras e Edificações**. Governador Valadares, 2015.

GULARTE, Izabella; XAVIER, Ana Clara; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia; ORDENES, Martin. Análise do impacto do tamanho e da posição das aberturas no fluxo de ar: ensaios na mesa d'água e simulações CFD. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

HEISELBERG, Per; SVIDT, Kjeld; NIELSEN, Peter V.. Characteristics of airflow from open windows. **Building And Environment**, [S.L.], v. 36, n. 7, p. 859-869, ago. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323\(01\)00012-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323(01)00012-9).

HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz; LONGO, Orlando Celso. The performance standard - NBR 15575 and the architectural and structural designs. **Structures And Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders**, [S.L.], p. 767-774, 8 jul. 2019. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781315229126-91>.

IBAM. **Código de Obras**. Disponível em: < <http://www.ibam.org.br/projeto/3> >. Acesso em: 10 dez. 2019.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros: 2015** / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

JOÃO PESSOA (Município). Lei nº 1. 347 de 27 de abril de 1971. **Código de Obras do Município de João Pessoa**. João Pessoa, 1971.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KERN, Andrea Parisi; SILVA, Adriana; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Ed. PW., 2014.

LIN, Jin-Taung; CHUAH, Yew Khoy. A study on the potential of natural ventilation and cooling for large spaces in subtropical climatic regions. **Building And Environment**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 89-97, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.007>.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, São Carlos, 2015.

MACAPÁ (Município). Lei Complementar nº 031/2004. **Código de Obras E Instalações do Município de Macapá**. Macapá, 2004.

MACEIÓ (Município). Lei Municipal nº 5.593, de 08 de Fevereiro de 2007. **Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió**. Maceió, 2007.

MANAUS (Município). Lei Complementar nº 3, de 16 de janeiro de 2014. **Código de Obras e Edificações do Município de Manaus**. Manaus, 2014.

MARQUES DA SILVA, Fernando. Aplicação da ventilação natural e mista em edifícios. As ações indutoras da ventilação natural. In: VIEGAS, J. (Org.). **Ventilação e qualidade do ar interior**. Lisboa: LNEC, 2010.

MARROQUIM, Flávia Maria Guimarães. **Produção habitacional de Maceió-AL: transformações espaciais da Habitação de Interesse Social de 1964 a 2014**. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Alagoas – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2017.

MONTENEGRO, Gildo. **Ventilação e cobertas: a arquitetura tropical na prática**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2019.

MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa; LABAKI, Lucila Chebel. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 223-244, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>.

MORAWSKA, Lidia; MILTON, Donald K. It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). **Clinical Infectious Diseases**, [S.L.], p. 2311-2313, 6 jul. 2020. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/cid/ciaa939>.

MORELLO, Alessandro; SATTLER, Miguel Aloysio. Avaliação do Desempenho Térmico de uma Edificação de Interesse Social Construída na Cidade de Porto Alegre - Período de Inverno de 2003. In: **MERCOFRIO 2004 - Congresso de Ar-Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul.**, 2004, Curitiba/PR. Publicado em: CD do MERCOFRIO 2004 - Congresso de Ar-Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul., 2004.

NATAL (Município). Lei Complementar nº 055, de 27 de janeiro de 2004. **Código de Obras e Edificações do Município de Natal**. Natal, 2004.

NETTO, Gabriela Reus; CZAJKOWSKI, Jorge Daniel. Comparación entre las normas de desempeño térmico edilício de Argentina y Brasil. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 105-122, jan. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100063>.

NICOLINI, Elda. **A norma de desempenho como orientação para a elaboração do Código de Obras de Santana do Livramento – RS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima**: 1. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2016. p. 2003.

OMRANI, Sara; GARCIA-HANSEN, Veronica; CAPRA, Bianca R.; DROGEMULLER, Robin. Effect of natural ventilation mode on thermal comfort and ventilation performance: full-scale measurement. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 156, p. 1-16, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.061>.

PALMAS (Município). Lei nº 45/90. **Código de Edificações de Palmas. Palmas, 1990.**

PIRACICABA (Município). Lei Complementar nº 206, de 04 de setembro de 2007. **Normas gerais para edificações no município de Piracicaba. Piracicaba, 2007.**

PAN, Wei; GARMSTON, Helen. Compliance with building energy regulations for new-build dwellings. **Energy**, [s.l.], v. 48, n. 1, p.11-22, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.048>.

PAN, Wuxuan; LIU, Sumei; WANG, Yiwen; CHENG, Xionglei; ZHANG, Hao; LONG, Zhengwei. Measurement of cross-ventilation rate in urban multi-zone dwellings. **Building And Environment**, [S.L.], v. 158, p. 51-59, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.037>.

PORTO ALEGRE (Município). Lei Complementar nº 284, de 27 de outubro de 1992. **Código de Edificações de Porto Alegre. Porto Alegre, 1992.**

PORTO VELHO (Município). Lei nº 63 de 13 de abril de 1973. **Normativas para as edificações em geral. Porto Velho, 1973.**

RECIFE (Município). Lei nº 16.292/97. **Atividades de edificações no município de Recife. Recife, 1997.**

REIS, Antônio Tarcísio da Luz; LAY, Maria Cristina Dias. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 99-119, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212010000300007>.

RIBEIRO, Roseana Martins; FOSSATI, Michele. Critérios de desempenho térmico para edificações habitacionais: análise da norma de desempenho e de código de obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

RIO BRANCO (Município). Lei nº 1732 de 23 de dezembro de 2008. **Código de Obras e Edificações do Município de Rio Branco. Rio Branco, 2008.**

RIO DE JANEIRO (Município). Lei Complementar nº 198 De 14 de janeiro de 2019. **Código de Obras e Edificações Simplificado do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.**

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento natural. 2. ed. rev. e ampl. – Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986.**

ROETZEL, Astrid; TSANGRASSOULIS, Aris; DIETRICH, Udo; BUSCHING, Sabine. A review of occupant control on natural ventilation. **Renewable And Sustainable Energy**

Reviews, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 1001-1013, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.005>.

ROLIM, Amanda Cristina Ikegami. **A mesa d'água como ferramenta didática para o estudo qualitativo da ventilação natural no ambiente construído**. In: Relatório Final de Iniciação Científica - USP, 2015, São Carlos - Sp. Disponível em: <<https://www.iau.usp.br/laboratorios/lca/wp-content/uploads/2018/01/cap2-rolim-relat%c3%b3rio-final.pdf>>. Acesso em 15 out. 2021.

ROLNIK, Raquel. **A cidade e a lei**: legislação, política urbana e territórios na cidade de São Paulo. São Paulo: Studio Nobel – Fapesp, 1997.

RORIZ, Maurício. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. Agosto de 2012. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2021.

ROSSI, Michele Marta. **Modelos de regressão para avaliar o desempenho térmico de casas brasileiras de baixo custo: consideração da ventilação natural**. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos. São Carlos, 2016.

ROSSI, Michele Marta; VALE, Fernanda Itkes; SHIMOMURA, Alessandra Rodrigues Prata; CHVATAL, Karin Maria Soares. A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT | Tecnologia e Inovação**. v. 2, n. 10., abr., 2019.

ROYAN, Monisha; VAIDYA, Prasad. Construction, validation and testing of a water table for natural ventilation analysis. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 226, p. 110356-110370, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110356>.

SACHT, Helenice; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Windows Size and the Performance of Natural Ventilation. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 196, p. 972-979, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.038>.

SANTESSO, Caroline Antonelli; MORAES, Clauciana Schmidt Bueno de; SANTARINE, Gerson Antonio; GONÇALVES, Juliano Costa. Economia de energia através de estratégias passivas e ativas: um estudo para habitação de interesse social. **Revista Espacios**, Caracas, V. 38 (Nº23), jan. 2017.

SALVADOR (Município). Lei nº 9281/2017. **Execução de obras e serviços do Município do Salvador**. Salvador, 2017.

SANTOS, Allan; CARVALHO, Lara; BATISTA, Juliana Oliveira. Análise do desempenho da ventilação natural em uma habitação de interesse social reformada em Maceió - AL. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ANTAC, 2019. p. 1561-1570.

SANTOS, Allan; BATISTA, Juliana Oliveira. Estudo da ventilação natural em habitações populares reformadas em Maceió - AL: análise pós-ocupação no conjunto Vila São Pedro III. 71ª **Revista Anual da SBPC**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande – MS, 2019.

SÃO LUÍS (Município). Lei - delegada nº 033 - de 11 de maio de 1.976. **Código de construções**. São Luís, 1976.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.642, de 9 de maio de 2017. **Código de Obras e Edificações**. São Paulo, 2017.

SERRA, Javier; TENORIO, José Antonio. Experiencia española de transición: desde la dispersa normativa de la edificación prescriptiva hacia el nuevo código técnico de la edificación 2006, una norma moderna y unificada, enfocada hacia las prestaciones1. **Revista de Ingeniería**, [S.L.], n. 41, p. 65-70, jul. 2014. Universidad de los Andes. <http://dx.doi.org/10.16924/riua.v0i41.788>.

SILVA, Jean Luca Alves da.; SALAZAR, Liliam Lima. A mesa d'água como método de análise e entendimento para os conceitos de ventilação natural. In: SIMPÓSIO DE PESSOAS, ARQUITETURA E CIDADE, 4., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Even3, 2019. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/artigos_ivsimpac/212479-a-mesa-dagua-como-metodo-de-analise-e-entendimento-para-os-conceitos-de-ventilacao-natural/>. Acesso em: 15 out. 2021.

TERESINA (Município). Lei Complementar nº 4.729, de 10 de junho de 2015. **Código de Obras e Edificações**. Teresina, 2015.

TIBÚRCIO, Isabela Cristina da Silva Passos. **Ventilação Natural em Edificações Residenciais: parâmetros normativos para configuração de aberturas**. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

TIBÚRCIO, Isabela Cristina da Silva Passos; BITTENCOURT, Leonardo. A influência da porosidade das portas internas no desempenho da ventilação natural em edificações residenciais multifamiliares. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ANTAC, 2019. p. 1425-1434.

TOLEDO, Alexandre Márcio. **Avaliação do desempenho de ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió/AL**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TOLEDO, Alexandre Márcio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. O potencial da Mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** ENTAC-COTEDI 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. p. 1383-1390.

VEIGA, Rodolfo K. S.; OLINGER, Marcelo S.; KRELLING, Amanda F.; ELI, Letícia G.; MELO, Ana P.; LAMBERTS, Roberto. Proposta para as escalas dos níveis de desempenho térmico: revisão da NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

VITÓRIA (Município). LEI Nº 4821. **Código de Edificações do Município de Vitória**. Vitória, 1998.

XAVIER, Ana Clara de Almeida; GULARTE, Izabella Hafele; MIZGIER, Martin Ordenes; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Visualização da ventilação natural em ensaios na mesa d'água comparado a simulações computacionais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020020, 30 set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8656954>.

ZHAI, Zhiqiang (John); MANKIBI, Mohamed El; ZOUBIR, Amine. Review of Natural Ventilation Models. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 78, p. 2700-2705, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.355>.

APÊNDICE A - PLANILHAS PARA CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO

As planilhas foram para cálculo dos Índices de Desempenho Parcial de Direção de Vento foram adaptadas de Toledo (2006).

MODELO DE FICHA DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO - IDP Vento			
TESTE		ÂNGULO DE INCIDÊNCIA	
PADRÃO DE ESCOAMENTO FINAL			0

	V. Parcial	Peso	V. Final
Abrangência do escoamento	0	65	0
Localização do banheiro	0	20	0
Localização da cozinha	0	15	0
			0

ABRANGÊNCIA DO ESCOAMENTO						Total	0
(Peso x FV)/100							
Peso			25	25	25	15	10
FV	NI	Classes	Quarto 01	Quarto 02	Sala de estar	Cozinha	Banheiro
100	1	85-100					
90	2	65-85					
80	3	50-65					
60	4	40-50					
40	5	30-40					
20	6	15-30					
10	7	0-15					

LOCALIZAÇÃO DO BANHEIRO				Total	0
			Valor Final (PxFV)/100		
FV	NI	Tipo de ventilação dos banheiros	Peso (P)		10
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta			
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em área interna			
80	3	Ventilação independente em zona de entrada			
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída			
30	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pela área de serviço			
10	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para QUA e EST/JAN			
5	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para QUA e EST/JAN			

LOCALIZAÇÃO DA COZINHA				Total	0
			Valor Final (PxFV)/100		
FV	NI	Tipo de ventilação da cozinha	Peso (P)		15
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta			
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída indireta			
80	3	Ventilação independente em zona de entrada			
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída			
40	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pelo área de serviço			
20	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para QUA e EST/JAN			
10	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para QUA e EST/JAN			

Legenda

P – Peso

FV – Função de valor

NI – Nível de impacto

APÊNDICE B - PLANILHAS PARA CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO

As planilhas foram para cálculo dos Índices de Desempenho Global e Parcial de Estação foram adaptadas de Toledo (2006).

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO					
Cidade		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Opostas à porta	IDG - VN	0

1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR		
Teste 45°		Teste 90°

2. POTENCIAL DE VENTOS												
α	Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.									
45° (NE)												
90° (L)												
135° (SE)												
	Total		0									

3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Potencial de ventos	Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	Peso											
	Total		0									

Legenda

α - Ângulo de incidência do vento

Freq. - Frequência de ocorrência sazonal dos ventos regionais (quadro 10)

P. Esc. - Padrão de escoamento do ar obtido na planilha do IDP-Vento (anexo A)

Peso - Ponderação de desejabilidade sazonal da ventilação natural (quadro 12)

APÊNDICE C - PLANILHA COM O CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO DO CASO BASE

O modelo da seguinte planilha foi utilizado para obtenção dos Índices de Desempenho Parcial de Direção de Vento, tanto do caso base quanto dos demais testes propostos com a modificação da configuração de aberturas.

MODELO DE FICHA DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO - IDP Vento			
TESTE	Caso base	ÂNGULO DE INCIDÊNCIA	45°
PADRÃO DE ESCOAMENTO FINAL			4,20

	V. Parcial	Peso	V. Final
Abrangência do escoamento	3,35	65	21,775
Localização do banheiro	0	20	0
Localização da cozinha	13,5	15	20,25
			4,20

ABRANGÊNCIA DO ESCOAMENTO						Total	3,35
(Peso x FV)/1000		1,5	0,25	1	0,6	0	
Peso		25	25	25	15	10	
FV	NI	Classes	Quarto 01	Quarto 02	Sala de estar	Cozinha	Banheiro
100	1	85-100					-
90	2	65-85					-
80	3	50-65					-
60	4	40-50	41,6				-
40	5	30-40			32,15	38,15	-
20	6	15-30					-
10	7	0-15		5,86			-

LOCALIZAÇÃO DO BANHEIRO				Total	0
			Valor Final (PxFV)/100		0
FV	NI	Tipo de ventilação dos banheiros	Peso (P)		10
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta			-
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída indireta			-
80	3	Ventilação independente em zona de entrada			-
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída			-
30	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pela área de serviço			-
10	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para QUA e EST/JAN			-
5	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para QUA e EST/JAN			-

LOCALIZAÇÃO DA COZINHA				Total	13,5
			Valor Final (PxFV)/100		13,5
FV	NI	Tipo de ventilação da cozinha	Peso (P)		15
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta			
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída indireta			90
80	3	Ventilação independente em zona de entrada			
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída			
40	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pelo área de serviço			
20	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para QUA e EST/JAN			
10	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para QUA e EST/JAN			

APÊNDICE D - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE CURITIBA – PR (ZB 1)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG – VN	4,51
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
10L 45°	5,52		10L 90°	7,04		10L 135°		7,89			
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,27	5,52	0,62	16,26	5,52	0,90	28,31	5,52	1,60	16,88	
90° (L)	33,01	7,04	2,19	23,81	7,04	1,68	23,80	7,04	2,19	50,33	
135° (SE)	17,73	7,89	1,40	7,14	7,89	0,56	3,47	7,89	0,27	9,46	
Total	4,77	3,14	0,34	3,97	3,97	0,40	4,00	4,00	0,33	5,26	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	4,77		3,14		3,97		5,26				
Peso	40		20		10		30				
Total	1,91	0,63	0,40	0,40	0,33	1,58	Soma TOTAL 4,51				

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à porta						IDG – VN	3,66
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
1AL 45°	5,09		1AL 90°	5,35		1AL 135°		6,75			
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,27	5,09	0,57	16,26	5,09	0,83	28,31	5,09	1,47	16,88	
90° (L)	33,01	5,35	2,09	23,81	5,35	1,21	23,80	5,35	1,59	50,33	
135° (SE)	17,73	6,75	1,20	7,14	6,75	0,48	3,47	6,75	0,23	9,46	
Total	3,86	2,58	0,30	3,30	3,30	0,33	4,22	Soma TOTAL 3,66			
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	3,86		2,58		3,30		4,22				
Peso	40		20		10		30				
Total	1,54	0,52	0,33	0,33	0,33	1,27	Soma TOTAL 3,66				

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG – VN	4,83
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
10C 45°	7,34		10C 90°	7,27		10C 135°		7,37			
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,27	7,34	0,83	16,26	7,34	1,19	28,31	7,34	2,12	16,88	
90° (L)	33,01	7,27	2,84	23,81	7,27	1,73	23,80	7,27	2,17	50,33	
135° (SE)	17,73	7,37	1,31	7,14	7,37	0,83	3,47	7,37	0,28	9,46	
Total	4,97	3,45	0,45	4,54	4,54	0,45	5,64	Soma TOTAL 4,83			
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	4,97		3,45		4,54		5,64				
Peso	40		20		10		30				
Total	1,93	0,68	0,45	0,45	0,31	1,69	Soma TOTAL 4,83				

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à porta						IDG – VN	3,40
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
1AC 45°	5,09		1AC 90°	4,48		1AC 135°		7,40			
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,27	5,09	0,57	16,26	5,09	0,83	28,31	5,09	1,47	16,88	
90° (L)	33,01	4,48	1,75	23,81	4,48	1,07	23,80	4,48	1,34	50,33	
135° (SE)	17,73	7,40	1,32	7,14	7,40	0,53	3,47	7,40	0,26	9,46	
Total	3,84	2,42	0,31	3,06	3,06	0,31	3,84	Soma TOTAL 3,40			
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	3,84		2,42		3,06		3,84				
Peso	40		20		10		30				
Total	1,46	0,48	0,31	0,31	0,31	1,15	Soma TOTAL 3,40				

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG – VN	4,09
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
10D 45°	6,20		10D 90°	5,68		10D 135°		7,86			
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,27	6,20	0,70	16,26	6,20	1,01	28,31	6,20	1,73	16,88	
90° (L)	33,01	5,68	2,22	23,81	5,68	1,35	23,80	5,68	1,69	50,33	
135° (SE)	17,73	7,86	1,40	7,14	7,86	0,58	3,47	7,86	0,27	9,46	
Total	4,31	2,98	0,37	3,78	3,78	0,38	4,86	Soma TOTAL 4,09			
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	4,31		2,92		3,76		4,68				
Peso	40		20		10		30				
Total	1,73	0,58	0,38	0,38	0,38	1,40	Soma TOTAL 4,09				

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à porta						IDG – VN	3,53
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
1AD 45°	5,81		1AD 90°	4,48		1AD 135°		7,53			
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,27	5,81	0,65	16,26	5,81	0,94	28,31	5,81	1,68	16,88	
90° (L)	33,01	4,48	1,75	23,81	4,48	1,07	23,80	4,48	1,34	50,33	
135° (SE)	17,73	7,53	1,34	7,14	7,53	0,54	3,47	7,53	0,26	9,46	
Total	3,74	2,55	0,34	3,28	3,28	0,33	3,97	Soma TOTAL 3,53			
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	3,74		2,55		3,28		3,97				
Peso	40		20		10		30				
Total	1,50	0,51	0,33	0,33	0,33	1,18	Soma TOTAL 3,53				

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN						
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Corte 01	IDG – VN	1,49
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR						
90°	13,85					
2. POTENCIAL DE VENTOS						
Verão Outono Inverno Primavera						
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	33,01	3,85	1,50	23,81	3,85	0,32
Total	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL						
Verão Outono Inverno Primavera						
Potencial de ventos	1,50		0,32		1,15	
Peso	40,00		20,00		10,00	
Total	0,80	0,18	0,11	0,11	0,53	0,53
Soma TOTAL 1,49						

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN						
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Corte 02	IDG – VN	1,65
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR						
90°	14,27					
2. POTENCIAL DE VENTOS						
Verão Outono Inverno Primavera						
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	33,01	4,27	1,67	23,81	4,27	1,02
Total	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL						
Verão Outono Inverno Primavera						
Potencial de ventos	1,67		1,02		1,27	
Peso	40,00		20,00		10,00	
Total	0,87	0,20	0,13	0,13	0,65	0,65
Soma TOTAL 1,65						

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN						
Cidade	Curitiba – PR		Teste	Corte 03	IDG – VN	1,20
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR						
90°	3,1					
2. POTENCIAL DE VENTOS						
Verão Outono Inverno Primavera						
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	33,01	3,10	1,21	23,81	3,10	0,74
Total	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL						
Verão Outono Inverno Primavera						
Potencial de ventos	1,21		0,74		1,58	
Peso	40,00		20,00		10,00	
Total	0,48	0,15	0,09	0,09	0,47	0,47
Soma TOTAL 1,20						

APÊNDICE E - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE PIRACICABA – SP (ZB 2)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO																
Cidade	Piracicaba – SP		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes										IDG – VN	4,22		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR																
10L 45°	5,52		10L 90°				7,04				10L 135°				7,83	
2. POTENCIAL DE VENTOS																
Verão																
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,83	5,52	0,65	10,20	5,52	0,56	10,72	5,52	0,59	8,63	5,52	0,48	5,09	0,55	8,63	
90° (L)	26,67	7,04	1,88	30,32	7,04	2,13	37,63	7,04	2,69	21,01	7,04	1,49	20,94	7,83	2,25	
135° (SE)	20,94	7,83	1,85	18,24	7,83	1,44	17,13	7,83	1,35	28,53	7,83	2,25				
Total		4,18		Total		4,14		Total		4,58		Total		4,21		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL																
Verão																
Potencial de ventos	4,18			4,14			4,58			4,21						
Peso	40,00			20,00			10,00			30,00						
Total		1,67		Total		0,63		Total		0,46		Total		1,26		
Soma TOTAL 4,22																

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO																
Cidade	Piracicaba – SP		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à										IDG – VN	3,47		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR																
1A1 45°	5,09		1A1 90°				5,35				1A1 135°				6,75	
2. POTENCIAL DE VENTOS																
Verão																
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,83	5,09	0,60	10,20	5,09	0,52	10,72	5,09	0,55	8,63	5,09	0,44	5,09	0,55	8,63	
90° (L)	26,67	5,35	1,43	30,32	5,35	1,62	37,63	5,35	2,01	21,01	5,35	1,12	20,94	6,75	1,93	
135° (SE)	20,94	6,75	1,41	18,24	6,75	1,23	17,13	6,75	1,16	28,53	6,75	1,33				
Total		3,44		Total		3,37		Total		3,72		Total		3,43		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL																
Verão																
Potencial de ventos	3,44			3,37			3,72			3,49						
Peso	40,00			20,00			10,00			30,00						
Total		1,38		Total		0,67		Total		0,37		Total		1,05		
Soma TOTAL 3,47																

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO																
Cidade	Piracicaba – SP		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes										IDG – VN	4,36		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR																
10C 45°	7,34		10C 90°				7,27				10C 135°				7,37	
2. POTENCIAL DE VENTOS																
Verão																
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,83	7,34	0,87	10,20	7,34	0,75	10,72	7,34	0,79	8,63	7,34	0,63	5,09	0,55	8,63	
90° (L)	26,67	7,27	1,94	30,32	7,27	2,20	37,63	7,27	2,74	21,01	7,27	1,53	20,94	7,37	2,10	
135° (SE)	20,94	7,37	1,54	18,24	7,37	1,34	17,13	7,37	1,26	28,53	7,37	2,10				
Total		4,35		Total		4,30		Total		4,79		Total		4,26		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL																
Verão																
Potencial de ventos	4,35			4,30			4,79			4,26						
Peso	40,00			20,00			10,00			30,00						
Total		1,74		Total		0,86		Total		0,48		Total		1,28		
Soma TOTAL 4,36																

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO																
Cidade	Piracicaba – SP		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à										IDG – VN	3,38		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR																
1A1 45°	5,09		1A1 90°				4,48				1A1 135°				7,40	
2. POTENCIAL DE VENTOS																
Verão																
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,83	5,09	0,60	10,20	5,09	0,52	10,72	5,09	0,55	8,63	5,09	0,44	5,09	0,55	8,63	
90° (L)	26,67	4,48	1,19	30,32	4,48	1,36	37,63	4,48	1,69	21,01	4,48	0,94	20,94	7,40	2,11	
135° (SE)	20,94	7,40	1,55	18,24	7,40	1,35	17,13	7,40	1,27	28,53	7,40	2,11				
Total		3,35		Total		3,23		Total		3,50		Total		3,49		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL																
Verão																
Potencial de ventos	3,35			3,23			3,50			3,49						
Peso	40,00			20,00			10,00			30,00						
Total		1,34		Total		0,65		Total		0,35		Total		1,05		
Soma TOTAL 3,38																

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO																
Cidade	Piracicaba – SP		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes										IDG – VN	3,92		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR																
10D 45°	5,29		10D 90°				5,68				10D 135°				7,86	
2. POTENCIAL DE VENTOS																
Verão																
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,83	6,20	0,73	10,20	6,20	0,63	10,72	6,20	0,66	8,63	6,20	0,54	5,09	0,55	8,63	
90° (L)	26,67	5,68	1,51	30,32	5,68	1,72	37,63	5,68	2,14	21,01	5,68	1,19	20,94	7,86	2,24	
135° (SE)	20,94	7,86	1,85	18,24	7,86	1,43	17,13	7,86	1,35	28,53	7,86	2,24				
Total		3,83		Total		3,78		Total		4,15		Total		3,97		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL																
Verão																
Potencial de ventos	3,83			3,78			4,15			3,97						
Peso	40,00			20,00			10,00			30,00						
Total		1,56		Total		0,76		Total		0,41		Total		1,19		
Soma TOTAL 3,92																

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO																
Cidade	Piracicaba – SP		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à										IDG – VN	3,49		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR																
1A1 45°	5,81		1A1 90°				4,48				1A1 135°				7,53	
2. POTENCIAL DE VENTOS																
Verão																
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	11,83	5,81	0,69	10,20	5,81	0,59	10,72	5,81	0,62	8,63	5,81	0,50	5,09	0,55	8,63	
90° (L)	26,67	4,48	1,19	30,32	4,48	1,36	37,63	4,48	1,69	21,01	4,48	0,94	20,94	7,53	2,15	
135° (SE)	20,94	7,53	1,58	18,24	7,53	1,37	17,13	7,53	1,29	28,53	7,53	2,15				
Total		3,46		Total		3,32		Total		3,60		Total		3,53		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL																
Verão																
Potencial de ventos	3,46			3,32			3,60			3,53						
Peso	40,00			20,00			10,00			30,00						
Total		1,38		Total		0,66		Total		0,38		Total		1,08		
Soma TOTAL 3,49																

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN							
Cidade	Piracicaba – SP		Teste	Corte 01	IDG – VN	1,03	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR							
90°	3,85						
2. POTENCIAL DE VENTOS							
Verão							
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
90°	26,67	3,85	1,03	30,32	3,85	1,17	
Total		1,03		Total		1,17	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL							
Verão							
Potencial Ide	1,03		1,17		1,45		
Peso	40,00		20,00		10,00		
Total		0,41		Total		0,23	
Soma TOTAL 1,03							

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN							
Cidade	Piracicaba – SP		Teste	Corte 02	IDG – VN	1,14	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR							
90°	4,27						
2. POTENCIAL DE VENTOS							
Verão							
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
90°	26,67	4,27	1,14	30,32	4,27	1,29	
Total		1,14		Total		1,61	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL							
Verão							
Potencial Ide	1,14		1,29		1,61		
Peso	40,00		20,00		10,00		
Total		0,46		Total		0,28	
Soma TOTAL 1,14							

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN							
Cidade	Piracicaba – SP		Teste	Corte 03	IDG – VN	0,83	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR							
90°	3,10						
2. POTENCIAL DE VENTOS							
Verão							
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
90°	26,67	3,10	0,83	30,32	3,10	0,94	
Total		0,83		Total		0,94	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL							
Verão							
Potencial Ide	0,83		0,94		1,17		
Peso	40,00		20,00		10,00		
Total		0,33		Total		0,19	
Soma TOTAL 0,83							

APÊNDICE F - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE SÃO PAULO – SP (ZB 3)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG – VN	4,41
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
IDL 45*	5,52		IDL 90*	7,04		IDL 135*	7,89				
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	8,97	5,52	0,50	3,66	5,52	0,53	11,92	5,52	0,66	7,88	
90° (L)	24,88	7,04	1,75	20,13	7,04	1,42	22,42	7,04	1,58	30,8	
135° (SE)	27,32	7,89	2,36	23,05	7,89	1,82	20,64	7,89	1,63	30,94	
Total	4,40			3,77			3,86			5,04	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	4,40		3,77		3,86		5,04				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,51		
Total	1,76		0,75		0,39		0,32		0,32	1,24	
Soma TOTAL 4,41											

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à						IDG – VN	3,64
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
IAL 45*	5,09		IAL 90*	5,35		IAL 135*	6,75				
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	8,97	5,09	0,46	3,66	5,09	0,49	11,92	5,09	0,61	7,88	
90° (L)	24,88	5,35	1,33	20,13	5,35	1,09	22,42	5,35	1,20	30,8	
135° (SE)	27,32	6,75	1,84	23,05	6,75	1,56	20,64	6,75	1,39	30,94	
Total	3,63			3,12			3,20			4,34	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	3,63		3,12		3,20		4,34				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,24		
Total	1,45		0,62		0,32		0,32		0,32	1,24	
Soma TOTAL 3,64											

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG – VN	4,50
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
IOC 45*	7,34		IOC 90*	7,27		IOC 135*	7,37				
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	8,97	7,34	0,66	3,66	7,34	0,71	11,92	7,34	0,87	7,88	
90° (L)	24,88	7,27	1,81	20,13	7,27	1,46	22,42	7,27	1,53	30,8	
135° (SE)	27,32	7,37	2,01	23,05	7,37	1,70	20,64	7,37	1,52	30,94	
Total	4,48			3,87			4,03			5,10	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	4,48		3,87		4,03		5,10				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,53		
Total	1,79		0,77		0,40		0,40		0,40	1,22	
Soma TOTAL 4,50											

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à						IDG – VN	3,59
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
1AC 45*	5,09		1AC 90*	4,48		1AC 135*	7,40				
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	8,97	5,09	0,46	3,66	5,09	0,49	11,92	5,09	0,61	7,88	
90° (L)	24,88	4,48	1,11	20,13	4,48	0,90	22,42	4,48	1,00	30,8	
135° (SE)	27,32	7,40	2,02	23,05	7,40	1,71	20,64	7,40	1,53	30,94	
Total	3,53			3,10			3,14			4,07	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	3,53		3,10		3,14		4,07				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,22		
Total	1,44		0,62		0,31		0,31		0,31	1,22	
Soma TOTAL 3,59											

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG – VN	4,12
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
IOD 45*	5,20		IOD 90*	5,68		IOD 135*	7,86				
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	8,97	6,20	0,56	3,66	6,20	0,60	11,92	6,20	0,74	7,88	
90° (L)	24,88	5,68	1,41	20,13	5,68	1,14	22,42	5,68	1,27	30,8	
135° (SE)	27,32	7,86	2,15	23,05	7,86	1,81	20,64	7,86	1,62	30,94	
Total	4,12			3,58			3,83			4,87	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	4,12		3,55		3,63		4,67				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,40		
Total	1,65		0,71		0,36		0,36		0,36	1,40	
Soma TOTAL 4,12											

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à						IDG – VN	3,69
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
1AD 45*	5,81		1AD 90*	4,48		1AD 135*	7,53				
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
45° (NE)	8,97	5,81	0,52	3,66	5,81	0,56	11,92	5,81	0,69	7,88	
90° (L)	24,88	4,48	1,11	20,13	4,48	0,90	22,42	4,48	1,00	30,8	
135° (SE)	27,32	7,53	2,06	23,05	7,53	1,74	20,64	7,53	1,55	30,94	
Total	3,69			3,20			3,25			4,17	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial de ventos	3,69		3,20		3,25		4,17				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,25		
Total	1,48		0,64		0,33		0,33		0,33	1,25	
Soma TOTAL 3,69											

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Corte 01						IDG – VN	0,98
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
90*	13,85										
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
90*	24,88	3,85	0,96	20,13	3,85	0,78	22,42	3,85	0,86	30,80	
Total	0,98			0,78			0,86			1,19	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial Ide	0,96		0,78		0,86		1,19				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		0,98		
Total	0,38		0,16		0,09		0,36		0,36	0,98	
Soma TOTAL 0,98											

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Corte 02						IDG – VN	1,09
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
90*	14,27										
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
90*	24,88	4,27	1,06	20,13	4,27	0,86	22,42	4,27	0,96	30,80	
Total	1,09			0,86			0,96			1,32	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial Ide	1,06		0,86		0,96		1,32				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		1,09		
Total	0,42		0,17		0,10		0,33		0,33	1,09	
Soma TOTAL 1,09											

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN											
Cidade	São Paulo – SP		Teste	Corte 03						IDG – VN	0,79
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR											
90*	3,1										
2. POTENCIAL DE VENTOS											
Verão Outono Inverno Primavera											
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.	
90*	24,88	3,10	0,77	20,13	3,10	0,62	22,42	3,10	0,70	30,80	
Total	0,79			0,62			0,70			0,95	
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL											
Verão Outono Inverno Primavera											
Potencial Ide	0,77		0,62		0,70		0,95				
Peso	40,00		20,00		10,00		30,00		0,79		
Total	0,31		0,12		0,07		0,29		0,29	0,79	
Soma TOTAL 0,79											

APÊNDICE H - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE GOVERNADOR VALADARES - MG (ZB5)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes							IDG - VN	3,32		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
10L 45°	5,52		10L 90°	7,04		10L 135°	7,89							
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,71	5,52	0,76	10,87	5,52	0,80	14,15	5,52	0,78	15,07	5,52	0,83		
90° (L)	21,31	7,04	1,50	13,39	7,04	0,94	18,46	7,04	1,30	23,24	7,04	1,64		
135° (SE)	17,42	7,89	1,37	14,47	7,89	1,14	12,63	7,89	1,00	16,74	7,89	1,32		
Total			3,63			2,88			3,08			3,73		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	3,63		2,88		3,08		3,73							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			1,45			0,81			0,31			0,78		
Soma TOTAL 3,32														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes							IDG - VN	3,52		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
10C 45°	7,34		10C 90°	7,27		10C 135°	7,37							
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,71	7,34	1,01	10,87	7,34	0,80	14,15	7,34	1,04	15,07	7,34	1,11		
90° (L)	21,31	7,27	1,55	13,39	7,27	0,97	18,46	7,27	1,34	23,24	7,27	1,69		
135° (SE)	17,42	7,37	1,28	14,47	7,37	1,07	12,63	7,37	0,93	16,74	7,37	1,23		
Total			3,84			2,84			3,31			4,03		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	3,84		2,84		3,31		4,03							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			1,54			0,85			0,33			0,81		
Soma TOTAL 3,52														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes							IDG - VN	3,15		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
10D 45°	6,20		10D 90°	5,68		10D 135°	7,86							
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,71	6,20	0,85	10,87	6,20	0,67	14,15	6,20	0,88	15,07	6,20	0,93		
90° (L)	21,31	5,68	1,21	13,39	5,68	0,76	18,46	5,68	1,05	23,24	5,68	1,32		
135° (SE)	17,42	7,86	1,37	14,47	7,86	1,14	12,63	7,86	0,99	16,74	7,86	1,32		
Total			3,43			2,57			2,92			3,57		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	3,43		2,57		2,92		3,57							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			1,37			0,77			0,28			0,71		
Soma TOTAL 3,15														

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Corte 01							IDG - VN	0,73		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
90°	13,85													
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
90°	21,31	3,85	0,82	13,39	3,85	0,52	18,46	3,85	0,71	23,24	3,85	0,89		
Total			0,82			0,52			0,71			0,89		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	0,82		0,52		0,71		0,89							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			0,33			0,15			0,07			0,18		
Soma TOTAL 0,73														

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Corte 03							IDG - VN	0,59		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
90°	3,1													
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
90°	21,31	3,10	0,68	13,39	3,10	0,42	18,46	3,10	0,57	23,24	3,10	0,72		
Total			0,68			0,42			0,57			0,72		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	0,68		0,42		0,57		0,72							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			0,28			0,12			0,08			0,14		
Soma TOTAL 0,59														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à							IDG - VN	2,76		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
1A1 45°	5,09		1A1 90°	5,35		1A1 135°	6,75							
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,71	5,09	0,70	10,87	5,09	0,55	14,15	5,09	0,72	15,07	5,09	0,77		
90° (L)	21,31	5,35	1,14	13,39	5,35	0,72	18,46	5,35	0,99	23,24	5,35	1,24		
135° (SE)	17,42	6,75	1,18	14,47	6,75	0,98	12,63	6,75	0,85	16,74	6,75	1,13		
Total			3,01			2,25			2,58			3,14		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	3,01		2,25		2,58		3,14							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			1,21			0,67			0,28			0,63		
Soma TOTAL 2,76														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à							IDG - VN	2,70		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
1A2 45°	5,09		1A2 90°	4,48		1A2 135°	7,40							
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,71	5,09	0,70	10,87	5,09	0,55	14,15	5,09	0,72	15,07	5,09	0,77		
90° (L)	21,31	4,48	0,95	13,39	4,48	0,60	18,46	4,48	0,83	23,24	4,48	1,04		
135° (SE)	17,42	7,40	1,29	14,47	7,40	1,07	12,63	7,40	0,93	16,74	7,40	1,24		
Total			2,94			2,22			2,48			3,05		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	2,94		2,22		2,48		3,05							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			1,18			0,67			0,25			0,61		
Soma TOTAL 2,70														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à							IDG - VN	1,59		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
1A3 45°	5,81		1A3 90°	4,48		1A3 135°	7,53							
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,71	5,81	0,80	10,87	5,81	0,63	14,15	5,81	0,82	15,07	5,81	0,88		
90° (L)	21,31	4,48	0,95	13,39	4,48	0,60	18,46	4,48	0,83	23,24	4,48	1,04		
135° (SE)	17,42	7,53	1,31	14,47	7,53	1,09	12,63	7,53	0,95	16,74	7,53	1,26		
Total			3,08			2,32			2,60			3,18		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	0,00		2,32		2,60		3,18							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			0,00			0,70			0,28			0,64		
Soma TOTAL 1,59														

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN														
Cidade	Governador Valadares - MG		Teste	Corte 02							IDG - VN	0,81		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
90°	4,27													
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
90°	21,31	4,27	0,91	13,39	4,27	0,57	18,46	4,27	0,79	23,24	4,27	0,99		
Total			0,91			0,57			0,79			0,99		
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão			Outono			Inverno			Primavera					
Potencial de ventos	0,91		0,57		0,79		0,99							
Peso	40,00		30,00		10,00		20,00							
Total			0,36			0,17			0,08			0,20		
Soma TOTAL 0,81														

APÊNDICE I - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE GOIÂNIA (ZB 6)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG - VN	3,29	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
10L 45°	5,52		10L 90°	7,04		10L 135°	7,89					
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	8,78	5,52	0,48	8,22	5,52	0,45	8,72	5,52	0,48	8,49	5,52	0,47
90° (L)	11,83	7,04	0,63	22,42	7,04	1,58	24,78	7,04	1,74	14,75	7,04	1,04
135° (SE)	11,92	7,89	0,94	31,09	7,89	2,45	30,52	7,89	2,41	21,47	7,89	1,69
Total 2,26 4,49 4,63 3,20												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	2,26		4,49		4,63		3,20					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,90 1,12 0,48 0,80												
Soma TOTAL 3,29												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à						IDG - VN	2,73	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
1A1 45°	5,09		1A1 90°	5,35		1A1 135°	6,75					
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	8,78	5,09	0,45	8,22	5,09	0,42	8,72	5,09	0,44	8,49	5,09	0,43
90° (L)	11,83	5,35	0,63	22,42	5,35	1,20	24,78	5,35	1,33	14,75	5,35	0,79
135° (SE)	11,92	6,75	0,80	31,09	6,75	2,10	30,52	6,75	2,06	21,47	6,75	1,45
Total 1,88 3,72 3,83 2,67												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	1,88		3,72		3,83		2,67					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,75 0,93 0,38 0,67												
Soma TOTAL 2,73												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG - VN	3,37	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
10C 45°	7,34		10C 90°	7,27		10C 135°	7,37					
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	8,78	7,34	0,64	8,22	7,34	0,60	8,72	7,34	0,64	8,49	7,34	0,62
90° (L)	11,83	7,27	0,86	22,42	7,27	1,63	24,78	7,27	1,80	14,75	7,27	1,07
135° (SE)	11,92	7,37	0,88	31,09	7,37	2,29	30,52	7,37	2,25	21,47	7,37	1,59
Total 2,38 4,52 4,68 3,28												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	2,38		4,52		4,68		3,28					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,95 1,13 0,47 0,82												
Soma TOTAL 3,37												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à						IDG - VN	2,73	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
1A1 45°	5,09		1A1 90°	4,48		1A1 135°	7,40					
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	8,78	5,09	0,45	8,22	5,09	0,42	8,72	5,09	0,44	8,49	5,09	0,43
90° (L)	11,83	4,48	0,53	22,42	4,48	1,00	24,78	4,48	1,11	14,75	4,48	0,86
135° (SE)	11,92	7,40	0,88	31,09	7,40	2,39	30,52	7,40	2,28	21,47	7,40	1,59
Total 1,88 3,72 3,81 2,68												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	1,88		3,72		3,81		2,68					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,74 0,93 0,38 0,67												
Soma TOTAL 2,73												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes						IDG - VN	3,12	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
10D 45°	6,20		10D 90°	5,68		10D 135°	7,86					
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	8,78	6,20	0,54	8,22	6,20	0,51	8,72	6,20	0,54	8,49	6,20	0,53
90° (L)	11,83	5,68	0,67	22,42	5,68	1,27	24,78	5,68	1,41	14,75	5,68	0,84
135° (SE)	11,92	7,86	0,94	31,09	7,86	2,44	30,52	7,86	2,40	21,47	7,86	1,69
Total 2,15 4,23 4,35 3,05												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	2,15		4,23		4,35		3,05					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,86 1,08 0,43 0,76												
Soma TOTAL 3,12												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO - IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à						IDG - VN	2,82	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
1A1 45°	5,81		1A1 90°	4,48		1A1 135°	7,53					
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	8,78	5,81	0,51	8,22	5,81	0,48	8,72	5,81	0,51	8,49	5,81	0,49
90° (L)	11,83	4,48	0,53	22,42	4,48	1,00	24,78	4,48	1,11	14,75	4,48	0,66
135° (SE)	11,92	7,53	0,90	31,09	7,53	2,34	30,52	7,53	2,30	21,47	7,53	1,62
Total 1,94 3,62 3,91 2,77												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	1,94		3,82		3,91		2,77					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,78 0,96 0,39 0,63												
Soma TOTAL 2,82												

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL - IDG VN												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Corte 01						IDG - VN	0,64	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
90°	13,85											
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
90°	11,83	3,85	0,46	22,42	3,85	0,66	24,78	3,85	0,95	14,75	3,85	0,57
Total 0,64 0,66 0,95 0,57												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	0,46		0,86		0,95		0,57					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,18 0,22 0,10 0,14												
Soma TOTAL 0,64												

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL - IDG VN												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Corte 02						IDG - VN	0,70	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
90°	4,27											
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
90°	11,83	4,27	0,51	22,42	4,27	0,96	24,78	4,27	1,06	14,75	4,27	0,63
Total 0,63 1,06 1,47 0,53												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	0,51		0,96		1,06		0,63					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,20 0,24 0,11 0,18												
Soma TOTAL 0,70												

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL - IDG VN												
Cidade	Goiânia - GO		Teste	Corte 03						IDG - VN	0,51	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
90°	3,1											
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão Outono Inverno Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
90°	11,83	3,10	0,37	22,42	3,10	0,70	24,78	3,10	0,77	14,75	3,10	0,46
Total 0,46 0,70 0,77 0,46												
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão Outono Inverno Primavera												
Potencial de ventos	0,37		0,70		0,77		0,46					
Peso	40,00		25,00		10,00		25,00					
Total 0,15 0,17 0,08 0,11												
Soma TOTAL 0,51												

APÊNDICE J - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE TERESINA - PI (ZB 7)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Teresina - PI		Teste		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes					IDG - VN	2,04	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
10L 45°	5,52		10L 90°		7,04		10L 135°		7,89			
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	5,52	0,25	8,48	5,52	0,47	4,95	5,52	0,27	10,27	5,52	0,57
90° (L)	3,55	7,04	0,25	11,62	7,04	0,82	6,41	7,04	0,45	11,20	7,04	0,79
135° (SE)	5,24	7,89	0,41	16,84	7,89	1,33	17,55	7,89	1,38	14,97	7,89	1,18
Total	0,91	2,81	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Outono												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	5,52	0,25	8,48	5,52	0,47	4,95	5,52	0,27	10,27	5,52	0,57
90° (L)	3,55	7,04	0,25	11,62	7,04	0,82	6,41	7,04	0,45	11,20	7,04	0,79
135° (SE)	5,24	7,89	0,41	16,84	7,89	1,33	17,55	7,89	1,38	14,97	7,89	1,18
Total	0,91	2,81	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Inverno												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	5,52	0,25	8,48	5,52	0,47	4,95	5,52	0,27	10,27	5,52	0,57
90° (L)	3,55	7,04	0,25	11,62	7,04	0,82	6,41	7,04	0,45	11,20	7,04	0,79
135° (SE)	5,24	7,89	0,41	16,84	7,89	1,33	17,55	7,89	1,38	14,97	7,89	1,18
Total	0,91	2,81	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	5,52	0,25	8,48	5,52	0,47	4,95	5,52	0,27	10,27	5,52	0,57
90° (L)	3,55	7,04	0,25	11,62	7,04	0,82	6,41	7,04	0,45	11,20	7,04	0,79
135° (SE)	5,24	7,89	0,41	16,84	7,89	1,33	17,55	7,89	1,38	14,97	7,89	1,18
Total	0,91	2,81	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão												
Potencial de ventos	0,91		2,81		2,11		2,11		2,11		2,54	
Peso	30,00		40,00		10,00		20,00		20,00		0,51	
Total	0,27	1,08	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Soma TOTAL 2,04												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Teresina - PI		Teste		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes					IDG - VN	2,12	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
10C 45°	7,34		10C 90°		7,27		10C 135°		7,37			
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	7,34	0,33	8,48	7,34	0,62	4,95	7,34	0,36	10,27	7,34	0,75
90° (L)	3,55	7,27	0,26	11,62	7,27	0,84	6,41	7,27	0,47	11,20	7,27	0,81
135° (SE)	5,24	7,37	0,39	16,84	7,37	1,24	17,55	7,37	1,29	14,97	7,37	1,12
Total	0,98	2,71	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
Outono												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	7,34	0,33	8,48	7,34	0,62	4,95	7,34	0,36	10,27	7,34	0,75
90° (L)	3,55	7,27	0,26	11,62	7,27	0,84	6,41	7,27	0,47	11,20	7,27	0,81
135° (SE)	5,24	7,37	0,39	16,84	7,37	1,24	17,55	7,37	1,29	14,97	7,37	1,12
Total	0,98	2,71	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
Inverno												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	7,34	0,33	8,48	7,34	0,62	4,95	7,34	0,36	10,27	7,34	0,75
90° (L)	3,55	7,27	0,26	11,62	7,27	0,84	6,41	7,27	0,47	11,20	7,27	0,81
135° (SE)	5,24	7,37	0,39	16,84	7,37	1,24	17,55	7,37	1,29	14,97	7,37	1,12
Total	0,98	2,71	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	7,34	0,33	8,48	7,34	0,62	4,95	7,34	0,36	10,27	7,34	0,75
90° (L)	3,55	7,27	0,26	11,62	7,27	0,84	6,41	7,27	0,47	11,20	7,27	0,81
135° (SE)	5,24	7,37	0,39	16,84	7,37	1,24	17,55	7,37	1,29	14,97	7,37	1,12
Total	0,98	2,71	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão												
Potencial de ventos	0,98		2,71		2,12		2,67		2,67		2,13	
Peso	30,00		40,00		10,00		20,00		20,00		0,43	
Total	0,23	1,08	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Soma TOTAL 2,12												

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IDP ESTAÇÃO												
Cidade	Teresina - PI		Teste		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes					IDG - VN	1,97	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
10D 45°	6,20		10D 90°		5,68		10D 135°		7,86			
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	6,20	0,28	8,48	6,20	0,53	4,95	6,20	0,31	10,27	6,20	0,64
90° (L)	3,55	5,68	0,20	11,62	5,68	0,66	6,41	5,68	0,36	11,20	5,68	0,64
135° (SE)	5,24	7,86	0,41	16,84	7,86	1,32	17,55	7,86	1,39	14,97	7,86	1,16
Total	0,89	2,51	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
Outono												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	6,20	0,28	8,48	6,20	0,53	4,95	6,20	0,31	10,27	6,20	0,64
90° (L)	3,55	5,68	0,20	11,62	5,68	0,66	6,41	5,68	0,36	11,20	5,68	0,64
135° (SE)	5,24	7,86	0,41	16,84	7,86	1,32	17,55	7,86	1,39	14,97	7,86	1,16
Total	0,89	2,51	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
Inverno												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	6,20	0,28	8,48	6,20	0,53	4,95	6,20	0,31	10,27	6,20	0,64
90° (L)	3,55	5,68	0,20	11,62	5,68	0,66	6,41	5,68	0,36	11,20	5,68	0,64
135° (SE)	5,24	7,86	0,41	16,84	7,86	1,32	17,55	7,86	1,39	14,97	7,86	1,16
Total	0,89	2,51	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
Primavera												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
45° (NE)	4,52	6,20	0,28	8,48	6,20	0,53	4,95	6,20	0,31	10,27	6,20	0,64
90° (L)	3,55	5,68	0,20	11,62	5,68	0,66	6,41	5,68	0,36	11,20	5,68	0,64
135° (SE)	5,24	7,86	0,41	16,84	7,86	1,32	17,55	7,86	1,39	14,97	7,86	1,16
Total	0,89	2,51	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL												
Verão												
Potencial de ventos	0,89		2,51		2,05		2,45		2,45		2,23	
Peso	30,00		40,00		10,00		20,00		20,00		0,43	
Total	0,27	1,00	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Soma TOTAL 1,97												

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN												
Cidade	Teresina - PI		Teste		Corte 01					IDG - VN	0,33	
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR												
90°	3,85											
2. POTENCIAL DE VENTOS												
Verão												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	3,55	3,85	0,14	11,62	3,85	0,45	6,41	3,85	0,25	11,20	3,85	0,43
Total	0,14	0,45	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Outono												
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.		

APÊNDICE K - PLANILHAS COM O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DE RIO DE JANEIRO - RJ (ZB 8)

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IOP ESTAÇÃO														
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes								IDG - VN	2,78		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
10L 45°	5,52		10L 90°				7,04				10L 135°		7,89	
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão														
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,29	5,52	0,73	11,95	5,52	0,66	13,35	5,52	0,74	10,53	5,52	0,58		
90° (L)	12,25	7,04	0,96	9,84	7,04	0,69	11,57	7,04	0,81	21,43	7,04	1,51		
135° (SE)	15,02	7,89	1,13	8,81	7,89	0,70	10,50	7,89	0,83	16,56	7,89	1,31		
Total		2,78		Total		2,05		Total		2,38		Total		3,40
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão														
Potencial de ventos	2,78		2,05				2,38				3,40			
Peso	40,00		20,00				10,00				30,00			
Total		1,11		Total		0,41		Total		0,24		Total		1,02
Soma TOTAL = 2,78														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IOP ESTAÇÃO														
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes								IDG - VN	2,96		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
10C 45°	7,34		10C 90°				7,27				10C 135°		7,37	
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão														
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,29	7,34	0,98	11,95	7,34	0,88	13,35	7,34	0,98	10,53	7,34	0,77		
90° (L)	12,25	7,27	0,89	9,84	7,27	0,72	11,57	7,27	0,94	21,43	7,27	1,56		
135° (SE)	15,02	7,37	1,11	8,81	7,37	0,85	10,50	7,37	0,77	16,56	7,37	1,22		
Total		2,97		Total		2,24		Total		2,59		Total		3,55
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão														
Potencial de ventos	2,97		2,24				2,59				3,55			
Peso	40,00		20,00				10,00				30,00			
Total		1,19		Total		0,45		Total		0,26		Total		1,07
Soma TOTAL = 2,96														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IOP ESTAÇÃO														
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes								IDG - VN	2,66		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
10D 45°	6,20		10D 90°				5,68				10D 135°		7,86	
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão														
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,29	6,20	0,82	11,95	6,20	0,74	13,35	6,20	0,83	10,53	6,20	0,65		
90° (L)	12,25	5,68	0,70	9,84	5,68	0,56	11,57	5,68	0,66	21,43	5,68	1,22		
135° (SE)	15,02	7,86	1,18	8,81	7,86	0,69	10,50	7,86	0,83	16,56	7,86	1,30		
Total		2,70		Total		1,99		Total		2,31		Total		3,17
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão														
Potencial de ventos	2,70		1,99				2,31				3,17			
Peso	40,00		20,00				10,00				30,00			
Total		1,08		Total		0,40		Total		0,23		Total		0,35
Soma TOTAL = 2,66														

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN						
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Teste	Corte 01	IDG - VN	0,56
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR						
90°	13,85					
2. POTENCIAL DE VENTOS						
Verão						
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	12,25	3,85	0,47	3,84	3,85	0,58
Total		0,47		Total		0,45
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL						
Verão						
Potencia Ide	0,47		0,38		0,45	0,83
Peso	40,00		20,00		10,00	30,00
Total		0,13		Total		0,08
Soma TOTAL = 0,56						

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN						
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Teste	Corte 03	IDG - VN	0,45
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR						
90°	3,1					
2. POTENCIAL DE VENTOS						
Verão						
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	12,25	3,10	0,38	3,84	3,10	0,36
Total		0,38		Total		0,36
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL						
Verão						
Potencia Ide	0,38		0,31		0,36	0,66
Peso	40,00		20,00		10,00	30,00
Total		0,15		Total		0,08
Soma TOTAL = 0,45						

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IOP ESTAÇÃO														
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à								IDG - VN	2,32		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
1A 45°	5,09		1A 90°				5,35				1A 135°		6,75	
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão														
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,29	5,09	0,68	11,95	5,09	0,61	13,35	5,09	0,68	10,53	5,09	0,54		
90° (L)	12,25	5,35	0,66	9,84	5,35	0,53	11,57	5,35	0,62	21,43	5,35	1,15		
135° (SE)	15,02	6,75	1,01	8,81	6,75	0,59	10,50	6,75	0,71	16,56	6,75	1,12		
Total		2,35		Total		1,73		Total		2,01		Total		2,80
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão														
Potencial de ventos	2,35		1,73				2,01				2,80			
Peso	40,00		20,00				10,00				30,00			
Total		0,94		Total		0,35		Total		0,20		Total		0,84
Soma TOTAL = 2,32														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IOP ESTAÇÃO														
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à								IDG - VN	2,29		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
1A 45°	5,09		1A 90°				4,48				1A 135°		7,40	
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão														
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,29	5,09	0,68	11,95	5,09	0,61	13,35	5,09	0,68	10,53	5,09	0,54		
90° (L)	12,25	4,48	0,55	9,84	4,48	0,44	11,57	4,48	0,52	21,43	4,48	0,96		
135° (SE)	15,02	7,40	1,11	8,81	7,40	0,65	10,50	7,40	0,78	16,56	7,40	1,23		
Total		2,34		Total		1,70		Total		1,97		Total		2,72
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão														
Potencial de ventos	2,34		1,70				1,97				2,72			
Peso	40,00		20,00				10,00				30,00			
Total		0,93		Total		0,34		Total		0,20		Total		0,82
Soma TOTAL = 2,29														

ÍNDICES DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAIS DE ESTAÇÃO – IDG E IOP ESTAÇÃO														
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Grupo 01 de experimentos: configuração das aberturas externas em Paredes Adjacentes à								IDG - VN	2,39		
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR														
1A 45°	5,81		1A 90°				4,48				1A 135°		7,53	
2. POTENCIAL DE VENTOS														
Verão														
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.		
45° (NE)	13,29	5,81	0,77	11,95	5,81	0,69	13,35	5,81	0,78	10,53	5,81	0,61		
90° (L)	12,25	4,48	0,55	9,84	4,48	0,44	11,57	4,48	0,52	21,43	4,48	0,96		
135° (SE)	15,02	7,53	1,13	8,81	7,53	0,66	10,50	7,53	0,79	16,56	7,53	1,25		
Total		2,45		Total		1,80		Total		2,08		Total		2,82
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL														
Verão														
Potencial de ventos	2,45		1,80				2,08				2,82			
Peso	40,00		20,00				10,00				30,00			
Total		0,38		Total		0,36		Total		0,21		Total		0,85
Soma TOTAL = 2,39														

ÍNDICE DESEMPENHO GLOBAL DA VENTILAÇÃO NATURAL – IDG VN						
Cidade	Rio de Janeiro - RJ		Teste	Corte 02	IDG - VN	0,34
1. PADRÃO DE ESCOAMENTO DO AR						
90°	14,27					
2. POTENCIAL DE VENTOS						
Verão						
α	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.	Freq.	P.Esc.	Freq. X P.Esc.
90°	12,25	4,27	0,52	3,84	4,27	0,42
Total		0,52		Total		0,42
3. DESEJABILIDADE SAZONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL						
Verão						
Potencia Ide	0,52		0,42		0,49	0,00
Peso	40,00		20,00		10,00	30,00
Total		0,21		Total		0,08
Soma TOTAL = 0,34						

ANEXO A – MODELO DE FICHA DE CÁLCULO PARA PARA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO PARCIAIS DE DIREÇÃO DE VENTO

Edifício	1	2	3	4	Apartamento	1	2	3	4
Vento 1:					Padrão de Escoamento Final				0

	V. Par	Peso	V. Fin
Abrangência do Escoamento	0	50	0
Níveis de Percurso	0	10	0
Localização de BAN	0	25	0
Localização de COZ	0	15	0
Total			0

Abrangência do Escoamento											Total		0								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(Peso x FV)																					
Peso											40	10	10	10	5	5	10	5	2,5	2,5	
FV	NI	Classes	EST/JAN	DO1	DO2	SU	BANSO	BANSU	COZ	SER	DE	BANSE									
100	1	85-100																			
90	2	65-85																			
80	3	50-65																			
60	4	40-50																			
40	5	30-40																			
20	6	15-30																			
10	7	0-15																			

Níveis de Percurso											Total		
FV	NI	Localização dos ambientes por níveis											
100	1	DO, SU e EST/JAN (1); WCBso/su, COZ e DE (1); SER e BANse (2)											
90	2	DO, SU, EST/JAN e DE (1); BANso/su, COZ e (2); SER e BANse (3)											
80	3	DO, SU e EST/JAN (1); BANso/su e COZ (2); SER (3) DE e BANse (4)											
60	4	DO, SU e EST/JAN (1); BANso/su, COZ e DE (1); SER e BANse (2)											
40	5	DO, SU e EST/JAN (1 ou 2); BANso/su e COZ (2); SER(3) BANse e DE (4)											
20	6	DO, SU e EST/JAN (2 ou 3); BANso/su (2); COZ e DE (1); SER e BANse (2)											
10	7	DO, SU e EST/JAN (3 ou 4); BANso/su, COZ e DE (2); SER e BANse (1)											

Localização de Banheiros											Total		0	
											5	6	10	
FV	NI	Tipo de ventilação dos banheiros		Valor Final (Px FV)							Peso	45	35	20
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta												
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em área interna												
80	3	Ventilação independente em zona de entrada												
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída												
30	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pelo SER												
10	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para DO e EST/JAN												
5	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para DO e EST/JAN												

Localização da Cozinha											Total		
FV	NI	Tipo de ventilação da cozinha											
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta											
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em área interna											
80	3	Ventilação independente em zona de entrada											
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída											
40	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pelo SER											
20	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para DO e EST/JAN											
10	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para DO e EST/JAN											

ANEXO C – DADOS DE DESEMPENHO PARCIAL DE DIREÇÃO DE VENTO NORDESTE NO APARTAMENTO 1 DO EDIFÍCIO 1

Edifício **1** 2 3 4 Apartamento **1** 2 3 4
 Vento 1: Nordeste Padrão de Escoamento Final **4,95**

	V. Par.	Peso	V. Fin
Abrangência do Escoamento	3,50	50	17,50
Níveis de Percurso	4,00	10	4,00
Localização de BAN	7,60	25	19,00
Localização de COZ	6,00	15	9,00
Total			4,95

Abrangência do Escoamento												Total	3,50								
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(Peso x FV)												16,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	4,00	2,00	1,00	1,00
Peso												40	10	10	10	5	5	10	5	2,5	2,5
FV	NI	Classes	EST/JAN	DO1	DO2	SU	BANSO	BANSU	COZ	SER	DE	BANSE									
100	1	85-100																			
90	2	65-85																			
80	3	50-65																			
60	4	40-50					40,67														
40	5	30-40	34,50					38,79	30,06	33,00	37,00	42,86									
20	6	15-30		21,42	28,04	27,55															
10	7	0-15																			

Níveis de Percurso												Total	4,00
FV	NI	Localização dos ambientes por níveis											
100	1	DO, SU e EST/JAN (1); BAN _{so/su} , COZ e DE (1); SER e BAN _{se} (2)											
90	2	DO, SU, EST/JAN e DE (1); BAN _{so/su} , COZ e (2); SER e BAN _{se} (3)											
80	3	DO, SU e EST/JAN (1); BAN _{so/su} e COZ (2); SER (3) DE e BAN _{se} (4)											
60	4	DO, SU e EST/JAN (1); BAN _{so/su} , COZ e DE (1); SER e BAN _{se} (2)											
40	5	DO, SU e EST/JAN (1 ou 2); BAN _{so/su} e COZ (2); SER (3) BAN _{se} e DE (4)											
20	6	DO, SU e EST/JAN (2 ou 3); BAN _{so/su} (2); COZ e DE (1); SER e BAN _{se} (2)											
10	7	DO, SU e EST/JAN (3 ou 4); BAN _{so/su} , COZ e DE (2); SER e BAN _{se} (1)											

Localização de Banheiros												Total	7,60		
												5	6	10	
												Valor Final (Px FV)			
												Peso			
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta													
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em área interna													
80	3	Ventilação independente em zona de entrada											80	80	
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída													60
40	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pelo SER													
20	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para DO e EST/JAN													
10	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para DO e EST/JAN													

Localização da Cozinha												Total	6,00
FV	NI	Tipo de ventilação da cozinha											
100	1	Ventilação exaustora mecânica ou natural em zona de saída direta											
90	2	Ventilação exaustora mecânica ou natural em área interna											
80	3	Ventilação independente em zona de entrada											
60	4	Ventilação conjunta em zona de saída											
40	5	Ventilação conjunta em área interna com saída pelo SER											
20	6	Ventilação conjunta em zona de entrada com saída para DO e EST/JAN											
10	7	Ventilação conjunta em área interna com saída para DO e EST/JAN											

ANEXO D – DADOS DE DESEMPENHO GLOBAL E PARCIAL DE ESTAÇÃO DO APARTAMENTO 1 DO EDIFÍCIO 1

Edifício **1** 2 3 4 Apartamento **1** 2 3 4 1/16
 DESEMPENHO GLOBAL

IDG-VN

5,97

DESEJABILIDADE SAZONAL DE VENTILAÇÃO NATURAL

Pot. de Ventos Peso	VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	Total
	7,121	4,94	4,97	5,5	
	40	25	10	25	
	28,48	12,36	4,97	###	5,966

POTENCIAL DE VENTOS

	VERÃO				OUTONO				INVERNO				PRIMAVERA			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
Dir.	F.	P.Es.	(2x3)		Dir.	F.	P.Es.	(2x3)	Dir.	F.	P.Es.	(2x3)	Dir.	F.	P.Es.	(2x3)
V1	NE	15,85	4,95	7,85	NE	4,77	4,95	2,36	NE	1,49	4,95	0,74	NE	13,88	4,95	6,87
V2	L	45,96	6,53	30,01	L	20,90	6,53	13,65	L	11,95	6,53	7,80	L	40,15	6,53	26,22
V3	SE	30,39	6,00	18,23	SE	37,54	6,00	22,52	SE	43,61	6,00	26,17	SE	35,26	6,00	21,16
V4	S	3,66	4,13	15,12	S	26,43	4,13	10,92	S	36,23	4,13	14,96	S	2,77	4,13	1,14
R																
	Total	7,121			Total	4,945			Total	4,97			Total	5,539		

PADRÃO DE ESCOAMENTO

Direção	Vento 1	P.Es.	Vento 2	P.Es.	Vento 3	P.Es.	Vento 4	P.Es.
	Nordeste	4,95	Leste	6,53	Sudeste	6,00	Sul	4,13