

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

ISABELY PENINA CAVALCANTI DA COSTA



*Influência de Muros Vazados Laminados no Desempenho
da Ventilação Natural em Habitações de Interesse Social*

MACEIÓ, 2018

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

ISABELY PENINA CAVALCANTI DA COSTA

**INFLUÊNCIA DE MUROS VAZADOS LAMINADOS NO DESEMPENHO DA
VENTILAÇÃO NATURAL EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Maceió
2018

ISABELY PENINA CAVALCANTI DA COSTA

**INFLUÊNCIA DE MUROS VAZADOS LAMINADOS NO DESEMPENHO DA
VENTILAÇÃO NATURAL EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.

Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Gianna Melo Barbirato.

Maceió

2018

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

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

C837i Costa, Isabely Penina Cavalcanti da.
Influência de muros vazados laminados no desempenho da ventilação natural em habitações de interesse social / Isabely Penina Cavalcanti da Costa. – 2019.

142 f.: il. color.

Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.

Co-orientadora: Gianna Melo Barbirato.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2018.

Bibliografia: f. 131-139.

Apêndice: f. 140-142.

1. Arquitetura de habitação. 2. Habitação - Satisfação do morador. 3. Muros - Ventilação. I. Título.

CDU: 728.3

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

ISABELY PENINA CAVALCANTI DA COSTA


Folha de Aprovação


**INFLUÊNCIA DE MUROS VAZADOS LAMINADOS NO
DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**


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

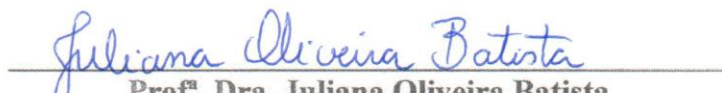
APROVADA em 07/12/2018

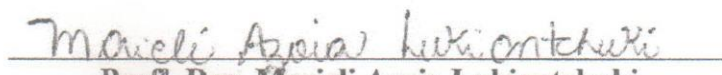
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Orientador)


Prof. Dra. Gianna Melo Barbirato
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Coorientadora)


Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Examinador Interno)


Prof. Dra. Juliana Oliveira Batista
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Examinador Interno)


Prof. Dra. Marieli Azoia Lukiantchuki
Universidade Estadual de Maringá – UEM
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar sempre os meus caminhos e me conceder milagres todos os dias.

A minha mãe, por seu amor e pela presença constante em todos os momentos da minha vida.

A minha família, pelo carinho, confiança e apoio incondicional.

Ao Tamer, por caminhar junto comigo, me apoiando e me incentivando.

Aos meus amigos e colegas, em especial do IFAL, campus Batalha, que me acompanharam nessa caminhada, me auxiliando e torcendo pelo meu sucesso.

Aos professores Ricardo e Gianna pelas valiosas orientações e direcionamentos, que me ajudaram a traçar os rumos do trabalho.

Aos professores Leonardo, Juliana e Marieli pela atenção e carinho na leitura do trabalho e pelas ricas contribuições oferecidas.

Aos demais professores e colegas do DEHA, pela partilha de ensinamentos e experiências.

Ao IFAL por apoiar a minha capacitação.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para concretização deste trabalho.

RESUMO

O muro, com suas dimensões física e simbólica, é um elemento presente nas habitações brasileiras. Sua existência representa, entre outros fatores, uma das inúmeras respostas paliativas à complexa problemática que caracteriza as questões urbanas, como a violência e a insegurança. Dentro da perspectiva do conforto ambiental, os muros passam, então, a se constituir em importantes obstáculos à livre circulação dos ventos, com impactos significativos no aproveitamento da ventilação natural de construções térreas, principalmente quando se trata de edificações em lotes pequenos, a exemplo das habitações de interesse social. A utilização de muros vazados se configura como um interessante recurso para reduzir o impacto proporcionado por esses componentes, podendo apresentar potencialidades favoráveis a um melhor aproveitamento da ventilação natural, sem afetar a sensação de privacidade e de vulnerabilidade. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar o desempenho da ventilação natural produzido por diferentes configurações de muros vazados laminados, com vistas à promoção do conforto térmico em habitações de interesse social com tipologias térreas em clima tropical quente e úmido. A metodologia foi composta de análises paramétricas realizadas por meio de simulações baseadas na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). Três tipologias de muros e suas variações foram aplicadas em um exemplar de habitação de interesse social existente. Como recursos, foram usadas modelagens tridimensionais computadorizadas, posteriormente submetidas à análise no programa *ANSYS CFX 18.1*. Os principais parâmetros analisados foram: posicionamento e direcionamento do componente vazado, porosidade do muro frontal (25% e 35%) e o ângulo de incidência do vento (45°, 90° e 135°). Foram realizadas análises qualitativas, considerando os padrões de distribuição do fluxo de vento, e análises quantitativas, considerando os dados obtidos para velocidade do vento e coeficientes de pressão (Cps). Os principais resultados da pesquisa demonstraram que os modelos de muros vazados, em sua maioria, apresentaram ganhos nos padrões de circulação de ar, nos valores de velocidade do ar e Coeficientes de Pressão (Cps) na região a sotavento do muro, comparados aos valores do modelo sem aberturas; com destaque para a configuração com lâminas horizontais direcionadas para baixo e com a porosidade maior (35%). Contudo, constatou-se que esses ganhos não se refletiram em melhorias das condições de ventilação natural no espaço interno, pois neste permaneceu a predominância das zonas de estagnação de vento. Nesse sentido, evidenciou-se, a necessidade de inserção dos muros vazados, acima de 35% de porosidade, aliados às outras estratégias projetuais de aproveitamento da ventilação natural.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Ação do vento. Muro permeável. Simulação por CFD.

ABSTRACT

The wall with its physical and symbolic dimensions is an element present in Brazilian housing. Its existence represents, among other factors, one of the numerous palliative responses to the complex problem that characterizes urban issues such as violence and insecurity. From the perspective of thermal comfort, these high walls have become significant barriers to airflow with impacts on the use of natural ventilation of ground floor buildings, especially when it comes to buildings in small lots such as social housing. The use of porous walls can be an interesting resource to reduce the effect provided by these components and may present a favorable potential for better use of natural ventilation without affecting the sensation of privacy and vulnerability. This work presents an evaluation of the natural ventilation performance produced by different configurations of laminated porous walls, aiming the thermal comfort in social housing in a hot and humid tropical climate. Parametric analyses were used through simulations based on the Computational Fluid Dynamic simulation (CFD). Three types of walls and their variations were applied in existing social housing. The computational three-dimensional models were submitted to analysis in the ANSYS CFX 18.1 program. The main parameters analyzed were: position and direction of the porous component, the porosity of the front wall (25% and 35%) and angle of wind incidence (45°, 90°, and 135°). Qualitative analyses were performed considering the wind flow distribution patterns, and quantitative analyses were performed considering the data obtained for wind speed and pressure coefficients (Cps). The main result of the research demonstrated that the porous walls models, in general, showed better values in the wind circulation patterns, in the air velocity, and in the Pressure Coefficients (Cps) in the leeward region of the wall than the without openings models. Especially the configuration with horizontal blades directed downwards and with the largest porosity (35%). However, it was observed that these improvements were not reflected in improvements of the natural ventilation conditions in the internal space because in this predominated of wind stagnation zones. It was evidenced the need for insertion of the porous walls, above 30% porosity, allied to other strategies of natural ventilation.

Keywords: Thermal Comfort. Wind action. Permeable Wall. Computational Fluid Dynamic simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Campos de pressão em um cubo	33
Figura 2 – Esquema em planta das três zonas formadas no escoamento do vento em torno das edificações	33
Figura 3 – Esquema da movimentação do ar pelo efeito chaminé	34
Figura 4 – Gradiente do vento para diferentes áreas	35
Figura 5 – Escala cromática de velocidades médias aplicadas ao conforto térmico	37
Figura 6 – Gráfico do fluxo de ar ao redor de quatro barreiras de diferentes formatos	40
Figura 7 – Gráfico das velocidades médias dos ventos com quebra-ventos com diferentes porosidades	41
Figura 8 – Gráfico da redução da velocidade dos ventos com o uso de cercas	41
Figura 9 – Redução da velocidade do vento (% em relação ao fluxo livre) em consequência da presença de cercas e muros com diferentes configurações	42
Figura 10 – Tipologias de Muros e cercas estudados por Hare e Kronauer	42
Figura 11 – Corte esquemático demonstrando as características do modelo simulado na pesquisa de Chang (2006)	43
Figura 12 – Simulação demonstrando o efeito da porosidade $\eta = 0.5$	44
Figura 13 – Simulação demonstrando o efeito da porosidade $\eta = 0.1$	44
Figura 14 – Gráfico da distribuição dos coeficientes de pressão para cercas com diferentes níveis de porosidade	44
Figura 15 – Simulação demonstrando o efeito da altura do muro: $h/H = 0.2$	45
Figura 16 – Simulação demonstrando o efeito da altura do muro: $h/H = 2.0$	45
Figura 17 – Simulação demonstrando o efeito do recuo frontal: $L/H = 0.5$	45
Figura 18 – Simulação demonstrando o efeito do recuo frontal: $L/H = 6.0$	45
Figura 19 – Geometria esquemática demonstrando o modelo e os parâmetros considerados para simulação	46
Figura 20 – Cortes esquemáticos comparando o fluxo médio da velocidade para cercas com dois distintos índices de porosidade: a) índice de porosidade alto; b) cerca sólida ($\eta = 0$)	46
Figura 21 – Cortes esquemáticos da edificação comparando o fluxo médio da velocidade para cercas com dois distintos índices de porosidade: a) índice de porosidade alto ($\eta = 0.8$); b) cerca sólida ($\eta = 0$)	46
Figura 22 – Efeitos de venezianas móveis no fluxo de ar	48
Figura 23 – Três diferentes formatos do peitoril ventilado	49
Figura 24 – Diagrama metodológico das etapas da pesquisa	57

Figura 25 – Mapa do Brasil com destaque na localização do Estado de Alagoas e o Município de Maceió – AL _____	58
Figura 26 – Caracterização da variável temperatura do ar para Maceió/AL _____	59
Figura 27 – Caracterização da variável umidade relativa do ar para Maceió/AL _____	60
Figura 28 – Caracterização da variável velocidade do ar para Maceió/AL (médias mensal e anual) _____	60
Figura 29 – Distribuição da frequência mensal da magnitude das medições de velocidade do vento (2003-2012) _____	60
Figura 30 – Distribuição da frequência mensal das medições de direção do vento (2003-2012) _____	61
Figura 31 – Aplicabilidade das principais estratégias bioclimáticas para Maceió _____	62
Figura 32 – Exemplos de edificações residenciais localizadas em Maceió/AL com muros constituídos por diferentes elementos vazados _____	63
Figura 33 – Mapa do Município de Maceió com destaque para localização do bairro Cidade Universitária e o Residencial Jardim Royal e seus respectivos módulos _____	65
Figura 34 – Planta baixa ilustrativa do projeto da unidade habitacional do Residencial Jardim Royal _____	66
Figura 35 – Linha do tempo ilustrativa do Residencial Jardim Royal _____	66
Figura 36 – Ilustrações esquemáticas demonstrando os parâmetros fixos definidos: (a) planta baixa de locação; (b) corte do muro; (c) vista muro frontal _____	68
Figura 37 – Ilustração dos volumes considerados no cálculo da porosidade _____	69
Figura 38 – Planta baixa de locação esquemática demonstrando os ângulos de incidência dos ventos analisados _____	69
Figura 39 – Fases constituintes da etapa de simulação computacional _____	71
Figura 40 – Modelagem dos modelos de análise: (a) geometria da edificação; (b) domínio _____	73
Figura 41 – Ilustração da malha gerada para os modelos analisados _____	74
Figura 42 – Evolução do critério de convergência da malha para um dos modelos analisados _____	75
Figura 43 – Monitor de velocidade média na saída do domínio para um dos modelos analisados _____	75
Figura 44 – Ilustração demonstrando os resultados obtidos para o y^+ para um dos modelos analisados _____	76
Figura 45 – Planos de corte horizontal (a) e vertical (b) elaborados na etapa de visualização dos resultados _____	77

Figura 46 – Localização dos pontos de medição da velocidade do vento _____	78
Figura 47 - Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHC 25%, (3) MLIHC 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90° ____	82
Figura 48 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHB 25%, (3) MLIHB 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90° ____	83
Figura 49 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVD 25%, (3) MLIVD 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90° _____	84
Figura 50 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVE 25%, (3) MLIVE 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90° _____	84
Figura 51 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHC 25%, (3) MLIHC 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45° _____	89
Figura 52 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHB 25%, (3) MLIHB 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45° _____	90
Figura 53 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVD 25%, (3) MLIVD 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45° _____	90
Figura 54 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVE 25%, (3) MLIVE 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45° _____	92
Figura 55 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIHC 25%, (3) MLIHC 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135° _____	96
Figura 56 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHB 25%, (3) MLIHB 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135° _____	96
Figura 57 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVD 25%, (3) MLIVD 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135° _____	98

Figura 58 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVE 25%, (3) MLIVE 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°

98

Figura 59 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%)

101

Figura 60 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%)

103

Figura 61 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%)

104

Figura 62 – Gráfico comparando os valores de velocidade do vento dentro da edificação e nas regiões a sotavento e a barlavento do muro (altura de medição = 0,85 m, incidência = 90°)

105

Figura 63 – Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência - MR (incidência = 90°; altura de medição = 0,85 m)

105

Figura 64 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%)

106

Figura 65 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%)

107

Figura 66 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%)

108

Figura 67 – Gráfico comparando os valores de velocidade do vento dentro da edificação e nas regiões a sotavento e a barlavento do muro (altura de medição = 0,85 m, incidência = 45°)

109

Figura 68 – Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência - MR (incidência = 45°; altura de medição = 0,85 m)

110

Figura 69 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%)

111

Figura 70 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) _____	112
Figura 71 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) _____	112
Figura 72 – Gráfico comparando os valores de velocidade do vento dentro da edificação e nas regiões a sotavento e a barlavento do muro (altura de medição = 0,85 m, incidência = 135°) _____	113
Figura 73 – Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência - MR (incidência = 135°; altura de medição = 0,85 m) _____	114
Figura 74 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%) – incidência do vento = 90° ____	115
Figura 75 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) – incidência do vento = 90° ____	116
Figura 76 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) – incidência do vento = 90° ____	116
Figura 77 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%) – incidência do vento = 45° ____	117
Figura 78 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) – incidência do vento = 45° ____	118
Figura 79 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) – incidência do vento = 45° ____	119
Figura 80 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%) – incidência do vento = 135° _	120
Figura 81 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) – incidência do vento = 135° _	121
Figura 82 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) – incidência do vento = 135° ____	121
Figura 83 – Gráficos comparando os valores médios de velocidade do vento para as diferentes incidências de vento (90°, 45° e 135°), em cada modelo e trecho analisados _____	123
Figura 84 – Corte ilustrativo demonstrando as sugestões de uso combinado do muro vazado (MLIHB35) com a esquadria veneziana e o peitoril ventilado _____	127

Figura 85 – Planta baixa ilustrativa demonstrando a sugestão de uso combinado do muro vazado (MLIVD35) com a projeção vertical _____127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de rugosidade do terreno para diferentes características do entorno	36
Tabela 2 – Velocidades do vento em espaços internos e seus efeitos nos usuários	37
Tabela 3 – Extensão de redução da velocidade do vento em diferentes tipologias de barreira	40
Tabela 4 – Parâmetros utilizados para realização das simulações computacionais na pesquisa de Chang (2006)	43
Tabela 5 – Distribuição da frequência (%) do vento por setor durante o período chuvoso (abril a julho), por turnos	61
Tabela 6 – Distribuição da frequência (%) do vento por setor durante o período seco (outubro a janeiro), por turnos	61
Tabela 7 – Velocidades médias mensais e anuais do vento (m/s) por setor (2003-2012)	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Rosas dos ventos para Maceió, referentes aos períodos chuvoso e seco, por turno	61
Quadro 2 – As três tipologias de muros consideradas na pesquisa	64
Quadro 3 – Parâmetros fixos escolhidos para as simulações	68
Quadro 4 – Síntese dos casos analisados nas simulações	69, 70 e 71
Quadro 5 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°	81
Quadro 6 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°	81
Quadro 7 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°	85
Quadro 8 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°	85
Quadro 9 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°	86
Quadro 10 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°	87
Quadro 11 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°	88
Quadro 12 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°	89
Quadro 13 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°	91

Quadro 14 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°	91
Quadro 15 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°	93
Quadro 16 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°	93
Quadro 17 – Plano de corte horizontal (0,85 m) dos casos MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°	95
Quadro 18 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°	95
Quadro 19 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°	97
Quadro 20 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°	97
Quadro 21 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°	99
Quadro 22 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°	99
Quadro 23 – Classificação dos casos quanto ao desempenho com relação à ventilação natural	125
Quadro 24 – Características dos parâmetros dos muros vazados para o melhor aproveitamento da ventilação natural em habitações de interesse social	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APO - Avaliação Pós Ocupação

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BRE - Building Research Establishment

CFD - Dinâmica do Fluidos Computacional

CLA - Camada Limite Atmosférica

CPs - Coeficientes de pressão

FAR - Fundo de Arrendamento Residencial

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISO - International Organization for Standardization

MLI - Muro com Lâminas Inclinadas

MLO - Muro com Lâminas Ortogonais

MR - Modelo de Referência

NBR - Norma Brasileira

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida

RMS - *Root Mean Square* (raiz do valor quadrático médio)

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade de Edificações Residenciais

SNHIS - Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social

TBS - Temperatura de Bulbo Seco

Var - Taxa de Ventilação

Vi - Taxa de Infiltração

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo	21
1.2 Estrutura da dissertação	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1 “Cidade murada”: necessidade de muros no ambiente urbano	22
2.2 Habitação de Interesse Social e o Conforto Ambiental	28
2.3 Ventilação natural no clima tropical quente e úmido	32
2.3.1 Influência dos muros no escoamento dos ventos	39
2.3.2 Estratégias passivas de ventilação natural: uso de elementos vazados	48
2.3.3 Ferramentas para análise da ventilação natural	50
2.3.3.1 Simulação computacional – CFD	52
2.4 Considerações sobre o capítulo	55
3. METODOLOGIA	57
3.1 Etapa de Preparação	58
3.1.1 Caracterização climática de Maceió/AL	58
3.1.2 Seleção e caracterização das tipologias de muros vazados	62
3.1.3 Habitação de interesse social - PMCMV: seleção e caracterização do exemplar	64
3.1.4 Escolha dos parâmetros fixos e variáveis	66
3.2 Etapa de Simulação	71
3.2.1 Pré-processamento – configurações	71
3.2.2 Processamento – solver	77
3.2.3 Pós-processamento – tratamento dos resultados	77
3.3 Etapa de Avaliação	79
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4.1 Análise Qualitativa	80

4.1.1 Incidência do vento a 90°	80
4.1.2 Incidência do vento a 45°	88
4.1.3 Incidência do vento a 135°	94
4.2 Análise Quantitativa	100
4.2.1 Velocidade do vento	100
4.2.1.1 Incidência do vento a 90°	100
4.2.1.2 Incidência do vento a 45°	106
4.2.1.3 Incidência do vento a 135°	110
4.2.2 Coeficientes de pressão (Cps)	114
4.2.2.1 Incidência do vento a 90°	114
4.2.2.2 Incidência do vento a 45°	117
4.2.2.3 Incidência do vento a 135°	119
4.3 Considerações sobre o capítulo e proposição de uso dos muros vazados	122
4.3.1 Modelo de Referência (MR) x Tipologias de Muros Vazados	122
4.3.2 Análise do ângulo de incidência do vento	123
4.3.3 Análise da porosidade do muro	123
4.3.4 Comparação geral entre as Tipologias de Muros Vazados	124
4.3.5 Proposição de alternativas de uso dos muros vazados	125
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE A - Matriz de referência para simulações	140
APÊNDICE B - Parâmetros de configuração das simulações	141

1. INTRODUÇÃO

O estado de conforto humano é multifacetado, perpassa tanto as necessidades físicas e biológicas, como os anseios subjetivos da “dimensão social” do indivíduo. Muitas vezes, essas diferentes facetas se chocam e uma é tomada como prioridade em relação à outra. O muro, objeto de estudo da pesquisa, é inserido nesse conflito ao passo que os anseios por segurança, privacidade e demarcação do ambiente privado colocam, comumente, em detrimento o aproveitamento da ventilação natural, que é considerada uma importante estratégia bioclimática para o conforto térmico no clima tropical quente e úmido.

As regiões de clima tropical quente e úmido são caracterizadas por pequenas flutuações diárias e sazonais da temperatura do ar, além de elevados níveis de umidade. Como o padrão do céu é, em sua maioria, parcialmente nublado, é gerada uma quantidade significativa de radiação difusa e luminosidade. Com isso, recomenda-se que as edificações, nessas regiões, evitem ganhos de calor advindos da radiação solar, na medida que dissipam o calor produzido internamente. Nesse sentido, o resfriamento é o principal foco do projeto arquitetônico, sendo a ventilação natural um fator relevante no estabelecimento do conforto térmico humano (GIVONI, 1994).

No Zoneamento Bioclimático Brasileiro, disposto na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a recomendação da ventilação natural é sugerida em todas as zonas em alguma época do ano, com exceção da zona 1. Tratando-se da zona bioclimática 8, que inclui a maior extensão do território, orienta-se que esse recurso seja utilizado permanentemente. Assim, o desenvolvimento de estudos voltados para a utilização de mecanismos que explorem a ventilação natural, tanto nos espaços externos como internos às edificações, é relevante para a obtenção das condições de conforto térmico, sem recorrer aos sistemas de climatização artificial.

Entretanto, o conforto térmico muitas vezes fica suplantado diante de outras demandas que surgem na elaboração do projeto arquitetônico ou durante a vida útil da edificação. Além das necessidades biológicas, o habitat humano é constituído de conceitos que englobam também a dimensão social do indivíduo, os quais, entre outros aspectos, referem-se à sensação de apropriação, posse, segurança, privacidade e pertencimento à residência e ao lugar onde ela se insere (PALERMO *et al.*, 2007).

Nas cidades brasileiras, a busca por segurança tem transformado edificações e bairros em fortalezas à prova de roubos, criando dinâmicas e elementos construtivos que têm por

finalidade proporcionar a sensação de proteção. Segundo Moreira (2007), a presença de muros fechados cada vez mais altos, esquadrias com grades, cercas elétricas entre outros, são reflexos do contexto de insegurança que acaba caracterizando os espaços urbanos. Kowaltowski *et al.* (2006) afirmam que culturalmente a população deposita mais confiança nos muros altos em detrimento do controle de seu espaço, através da visualização plena da área.

Dentro da perspectiva do conforto ambiental, os muros fechados passam, então, a se constituir em obstáculos à livre circulação dos ventos no meio urbano, com impactos significativos na ventilação natural de construções térreas em climas quentes com alta umidade do ar, principalmente quando se trata de edificações em lotes pequenos, a exemplo das Habitações de Interesse Social (BITTENCOURT; CÂNDIDO; 2015, OLIVEIRA, 2009). Algumas pesquisas de Avaliação Pós Ocupação (APO) de conjuntos habitacionais de interesse social projetados constataram que a principal modificação realizada após a entrega do empreendimento é a construção do muro, justificada pela busca de privacidade e segurança (LACERDA; MARROQUIM; ANDRADE, 2011; SANTOS; BARROS; AMORIM, 2013).

No contexto brasileiro, em que ainda há um significativo déficit habitacional¹, a política voltada à Habitação de Interesse Social age prioritariamente dentro da perspectiva quantitativa no intento de reduzir essa demanda. Nesse sentido, os aspectos qualitativos são colocados em segundo plano, uma vez que estes são associados ao aumento dos custos de construção (MONTEIRO, 2012). Assim, aspectos como conforto e segurança são comumente fragilizados e negligenciados em projetos com este fim.

Para o melhor aproveitamento dos ventos nas edificações, trabalhos como o de Oliveira (2009), constatando o impacto significativo do muro impermeável na redução da velocidade do vento nas habitações populares, sugerem a realização de pesquisas com a utilização de barreiras mais permeáveis, como grades. Estas além de proporcionarem benefícios para a ventilação dos ambientes internos, poderiam influenciar no fluxo de vento nas vias locais. Holanda (1976, p. 19) já indicava que o recurso de vaziar os muros permite que estes “filtrem a luz e deixem a brisa penetrar”.

Observando a paisagem urbana, verifica-se alguns exemplos de residências utilizando muros vazados, com diferentes tipologias, materiais e níveis de porosidade. Além dos benefícios relacionados ao conforto térmico, o recurso de vaziar os muros possui um

¹ De acordo com a Fundação João Pinheiro, o déficit habitacional brasileiro corresponde a cerca de 6,2 milhões de habitações (FJP, 2017).

significativo potencial plástico, possibilitando composições diversas, principalmente com a utilização de elementos vazados e tantos outros componentes que dinamizam e enriquecem as texturas das fachadas. Como enfatizou Holanda (1976, p. 19): “Tiremos partido das imensas possibilidades construtivas e plásticas do elemento vazado de parede – o cobogó – que pode assumir uma ampla gama e configurações entre filigrana e marcado jogo de relevos”.

Porém, observa-se, a partir da percepção do muro como elemento de proteção, que muitas das configurações de muros vazados existentes são demasiadamente porosas, transmitindo a sensação de falta de privacidade ou de vulnerabilidade. Dentro desse contexto, percebe-se a relevância de pesquisas que investiguem possibilidades de unir o fator privacidade com eficientes condições de desempenho térmico.

Identifica-se na literatura alguns trabalhos que estudaram a influência dos muros na ventilação natural, considerando principalmente o fator da porosidade, a exemplo dos estudos de Li, Wang e Bell (2003), Chang (2006) e Chang e Cheng (2009). Estas pesquisas demonstraram que diferentes configurações e formas de inserção do muro resultaram em modificações nas condições da ventilação natural nas edificações, principalmente em relação aos valores de velocidade do ar e ao direcionamento do fluxo de vento. Considerando a distribuição dos coeficientes de pressão (Cps), Marin (2017) verificou que o muro é um elemento que interfere diretamente nessa variável, ocasionando a redução das taxas de renovação de ar e o aumento na temperatura interna nos períodos noturnos, pois limita o potencial da ventilação natural em remover os ganhos de calor. O autor constatou que o acréscimo do muro na divisa do lote provoca um aumento do desconforto térmico na habitação.

De uma maneira geral, a maioria das pesquisas que se relacionam à ventilação natural e aos muros são anteriores à década de 1990 (MELARAGNO, 1982²; BOUTET, 1987³; HARE; KRONAUER, 1969⁴), e por se tratarem de estudos em contexto climático distinto do clima tropical quente e úmido, são voltadas ao uso de muros como quebra-ventos e não com ênfase no aproveitamento dos ventos. Em nível nacional, têm-se trabalhos utilizando outros componentes para captação da ventilação natural, como sheds, peitoris ventilados, pérgolas, entre outros, descritos em pesquisas como as de Lukiantchuki (2015), Bittencourt *et al.* (2007), Leal, Bittencourt e Cândido (2006) e Lima, Cândido e Bittencourt (2005).

² Melaragno (1982) *apud* Brown e Dekay (2004).

³ Boutet (1987) *apud* Bittencourt e Cândido (2015).

⁴ Hare e Kronauer (1969) *apud* Oliveira (2009).

Nesse sentido, este trabalho busca trazer contribuições no aprofundamento da investigação de estratégias de ventilação natural. Possuindo como temática a avaliação do potencial de uso de muros com componentes vazados para o melhor aproveitamento da ventilação natural em edificações térreas.

1.1 Objetivo

A pesquisa tem como **objetivo geral** avaliar o desempenho da ventilação natural produzido por diferentes configurações de muros vazados laminados, com vistas à promoção do conforto térmico em habitações de interesse social com tipologias térreas em clima tropical quente e úmido.

A partir do objetivo geral, definiu-se como **objetivos específicos**:

- a. Investigar a influência que o uso de muros vazados laminados proporcionam na ventilação natural em edificações térreas, comparando-os com o muro impermeável, sem aberturas.
- b. Propor alternativas do uso de muros vazados laminados em habitações de interesse social em clima tropical quente e úmido.

Para o alcance dos objetivos propostos, foram utilizadas análises paramétricas realizadas por meio de simulações baseadas na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação foi estruturada em quatro capítulos seguidos das considerações finais e das referências. O primeiro capítulo trata da introdução, em que se abordou o contexto, a problemática e a justificativa do trabalho, além dos objetivos propostos. O segundo capítulo consistiu na fundamentação teórica, abarcando uma revisão de literatura acerca das principais temáticas tratadas na pesquisa, sendo elas: (1) o muro no contexto urbano, dentro dos aspectos histórico, simbólico e social; (2) habitação de interesse social e o conforto ambiental; e (3) ventilação natural no clima tropical quente e úmido, com foco nos recursos de captação da ventilação natural e ferramentas de análise.

O terceiro capítulo se refere aos procedimentos metodológicos utilizados, abordando materiais, métodos e etapas percorridas, principalmente relacionadas à definição das tipologias e características dos muros e do modelo de habitação de interesse social escolhidos, como também do processo de simulação computacional. Por fim, tem-se o quarto capítulo, com a análise e os resultados da pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo aborda as principais temáticas que envolvem a construção do trabalho. Inicialmente, tratou-se da contextualização e problematização do objeto de estudo: o muro, em que, de forma breve, realizou-se uma retomada das suas origens e transformações, como também foram abordadas suas funções físicas e subjetivas, no contexto geral e sobretudo dentro da habitação de interesse social.

O segundo tópico abrange mais especificamente a habitação de interesse social e seus aspectos históricos, abordando as características conceituais e projetuais dos programas habitacionais, especialmente o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O terceiro e último item do capítulo trata do detalhamento e caracterização da ventilação natural, como variável basilar da pesquisa. Assim, foi realizada uma revisão dos conceitos fundamentais, relacionando-os com o clima tropical quente e úmido, além da descrição das ferramentas de análise mais utilizadas.

2.1 “Cidade Murada”: necessidade de muros no ambiente urbano

O intuito de debater brevemente sobre a presença e a necessidade do muro no espaço urbano, a sua origem e sua inserção no contexto atual derivou na relevância de compreendê-lo como um elemento quase “onipresente” na construção da cidade. A constatação histórica é importante dentro da presente pesquisa visto que dá sentido ao objeto estudado, sendo ele um elemento culturalmente concebido e pertencente ao ambiente urbano e suas constantes transformações. Assim, o muro representa o reflexo de uma situação atual, mas também pode ser o enquadramento de uma memória construída socialmente ao longo da história. Mesmo que as teorias do planejamento urbano versem sobre outros meios diferentes para o desenvolvimento de espaços mais seguros, a construção de muros relaciona-se a outras inúmeras motivações que vão além da função de proteção, como será debatido a seguir.

Um olhar pela cidade revela, em maior ou menor número, o muro como elemento recorrente, com vistas à proteção, demarcação e isolamento, entre tantas outras atribuições. No contexto das cidades brasileiras, este elemento torna-se ainda mais presente, motivado principalmente pela insegurança e altos índices de violência (CALDEIRA, 2000), tornando sua materialidade e imaterialidade parte da paisagem urbana.

A necessidade de proteção é intrínseca à natureza humana, revelada a partir da escolha da localização dos primeiros assentamentos, inicialmente em vales e platôs. Ao longo da estruturação da sociedade, emergiu a necessidade de demarcá-la, com uso de muros e cercas

(VASCONCELLOS, 2000). Filgueiras (2016) afirma que o muro é um dos primeiros elementos fixos construídos pelo homem para se habitar de forma permanente num lugar.

Mumford (1998) aborda que a origem dos muros remonta inicialmente um caráter mais simbólico religioso, evidenciado pelas suas grandes proporções, que até então eram injustificáveis para as ameaças do período: “[...] a primeira utilização da muralha pode ter sido de natureza religiosa: defender os sagrados limites do tēmenos⁵ e manter à distância antes os maus espíritos do que os inimigos humanos” (MUMFORD, 1998, p. 44).

O muro foi sendo modelado em conjunto com o espaço construído da aldeia primitiva. O seu potencial de proporcionar o isolamento das ameaças da natureza foi um importante recurso para o desenvolvimento das sociedades pré-históricas. Estas, nesse ambiente fechado, foram se desenvolvendo com os melhoramentos na capacidade produtiva e cultural, surgindo um ambiente complexo e dinâmico, especialmente no que se refere ao poder militar e religioso. (FILGUEIRAS, 2016).

Nesse sentido, estabelece-se, segundo Filgueiras (2016), a dualidade da significância do muro: se por um lado, era defesa, por outro, era controle e dominação; protegia das ameaças físicas, como também dos perigos espirituais. Elementos de defesa, seja com função espiritual ou física, como muralhas, baluartes, canais e valas, fazem parte da formação primitiva da cidade, principalmente a partir da Antiguidade. É nesse período que, de acordo com Vasconcellos (2000), há uma estruturação da cidade e da sociedade em diversas atividades, funções e classes, e a muralha divide exatamente os que pertencem ou não ao lugar, exercendo divisão entre o espaço do homem e o espaço natural, entre a cidade e o campo.

Das muralhas que cercavam toda a cidade aos muros que limitam o lote, em cada período histórico o muro foi se adequando às necessidades e aos simbolismos do contexto social ao qual estava inserido. Filgueiras (2016) aborda que em vários momentos da história, o muro foi além de uma simples barreira física, perpassando o sentido de força e até a materialização de um deus.

Na realidade brasileira, os muros têm suas origens no período colonial, como herança da cultura medieval europeia. Porém, a forma com a qual conhecemos hoje surge do final do século XIX e início do século XX associado ao lote urbano e do estabelecimento de afastamentos entre as edificações, que antes eram predominantemente geminadas. No entanto, inicialmente, os muros eram de pouca altura e composto por grades, pois a sua função principal

⁵ “Recinto sagrado em que havia um templo ou altar” (MICHAELIS, 2015).

era demarcar o lote (FILGUEIRAS, 2016). Segundo Filgueiras (2016), as preocupações com segurança, e conseqüentemente elevação dos muros ocorrem a partir da segunda metade do século XX, com o crescimento dos índices de violência e criminalidade.

Além da violência, as transformações nos modos de vida da sociedade alteraram consideravelmente o panorama da cidade, sendo gerados novos padrões de segregação espacial, que modificaram a arquitetura e o espaço público. Vasconcellos (2000) afirma que o avanço da tecnologia, com o surgimento e a propagação dos novos meios de comunicação, tem afetado diretamente a organização espacial urbana, principalmente no que se refere à relação local de moradia e local de trabalho, como também moradia e lazer, uma vez que as facilidades e as flexibilidades da contemporaneidade favorecem ao isolamento dos indivíduos em suas residências.

Caldeira (2000) aborda, entre outros aspectos, os novos “enclaves fortificados”, fazendo referência aos condomínios fechados, shopping centers, conjuntos de escritórios e outros espaços, que cada vez mais tendem ao enclausuramento. Segundo a autora, esses espaços têm características semelhantes:

São propriedades privadas para uso coletivo e enfatizam o valor do que é privado e restrito ao mesmo tempo que desvalorizam o que é público e aberto na cidade. São fisicamente demarcados e isolados por muros, grades, espaços vazios e detalhes arquitetônicos. [...]. Os enclaves são literais na sua criação de separação. São claramente demarcados por todos os tipos de barreiras físicas e artifícios de distanciamento e sua presença no espaço da cidade é uma evidente afirmação de diferenciação social (CALDEIRA, 2000, p. 258-259).

Assim, utilizado entre outros recursos tecnológicos, o muro é um elemento construído por razões de segurança e segregação. Mas além disso, de acordo com Caldeira (2000), é um recurso que atribui status e dialoga com a “estética da segurança”. Exemplificando no contexto da cidade de São Paulo, a autora afirma que atualmente essa arquitetura da segurança é cada vez mais explícita e disseminada no meio urbano. Diferentemente de alguns anos atrás, em que era algo mais estranho e imposto aos usuários, hoje é um conceito incorporado como necessário.

A “estética da segurança” é generalizada. Apesar da sua associação direta com as construções destinadas às classes médias e altas, ela também está incorporada nas edificações das classes baixas. Segundo Caldeira (2000), a casa isolada, cercada e segura é símbolo de status em qualquer contexto, seja em bairros ricos ou pobres: “No nível mais elementar, uma casa isolada com todos os sinais de distinção definitivamente marca a distância entre uma casa e um cortiço ou uma favela” (CALDEIRA, 2000, p. 297). Inclusive os condomínios fechados, símbolo de prestígio e tradicionalmente direcionados às classes mais abastadas, disseminaram-

se nos últimos anos em projetos destinados à habitação de interesse social, através do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV do governo federal (MEDVEDOVSKI; GOMES; BERGER, 2012).

Com todas as suas motivações, seja como reflexo do medo, da busca pela privacidade e/ou pela estética diferenciada, o muro, unido a outros elementos de isolamento, constrói uma cidade segregada, privilegiando o espaço privado em detrimento do espaço público. Bauman (2006) afirma que os espaços vedados são instrumentos da desintegração da vida comunitária, induzindo o espaço público a ser apenas um ambiente "inutilizável que restou entre bolsões de espaço privado" (BAUMAN, 2006, p. 106). Nesse sentido, o autor desenvolve o conceito de "Mixofobia", referindo-se ao "medo de misturar-se", que favorece às tendências e aos elementos construtivos segregacionistas. Segundo o autor, esse sentimento de insegurança e a ideia do perigo constante são inerentes à sociedade moderna, sendo a cidade e sua arquitetura reflexos de problemas gerados pela globalização.

Carlos (2001), ao abordar as "novas" contradições do espaço, denuncia a existência de uma tendência que reduz os espaços públicos, em que os ambientes de lazer e de vida coletiva são predominantemente monitorados e normatizados. A autora afirma que a base da compreensão da reprodução espacial, atualmente, se dá pelo processo de produção social do espaço pela apropriação privada. O muro se localiza nessa contradição entre a produção espacial coletiva e a apropriação privada, como também é símbolo dessa redução gradativa dos espaços públicos.

Percebe-se que o muro está envolto nas inúmeras contradições existentes no espaço urbano, é presente nos bairros ricos ou pobres e pode representar uma reação à insegurança. Nesse sentido, é um produto da segregação social, como também é elemento de segregação, ou autosegregação, que segundo Souza (2004), auxilia na formação da cultura da criminalidade, pois dissemina a sensação de medo, insegurança e agressividade. Ou seja, ao mesmo tempo que o muro é reação, é também ação, corroborando com a compreensão de Jacobs (2000) de que o isolamento e o vazio induzem à insegurança, ao contrário da diversidade e do movimento constante de pessoas, que promovem a vitalidade e a vigilância constante.

Dentro desse contexto urbano, a arquitetura foi se moldando aos anseios de segurança e muitos estudos foram sendo desenvolvidos no sentido de elaborar princípios de planejamento urbano e design físicos, como estratégias de prevenção e redução do crime. Entre esses estudos pode-se citar autores como Newman (1996) e Jacobs (2000). Com algumas distinções conceituais, ambos apontam a importância da vigilância e visão sobre a rua, porém como

abordado por Kowaltowski *et al.* (2006) e Resende, Medvedovski e Sopena (2012), por questões culturais, a população recorre aos muros totalmente fechados, sem aberturas.

Kowaltowski *et al.* (2006) realizaram uma avaliação pós-ocupação de cinco conjuntos habitacionais situados no Estado de São Paulo. O objetivo principal do estudo foi determinar diretrizes para uma metodologia de avaliação do desenvolvimento de projetos para novos conjuntos. O estudo verificou que apesar da maioria dos moradores se sentir seguro dentro das unidades residenciais, o mesmo não ocorria ao ser questionado sobre a localização dos conjuntos. Outros pontos diagnosticados foram as deficiências encontradas no controle de acesso ao lote, como também o controle visual da área externa, somados aos problemas na iluminação pública. A pesquisa constatou que a delimitação do território, os sentimentos de posse, de privacidade, como também da propriedade individualizada são aspectos importantes na satisfação dos moradores em relação ao ambiente, bem como na sua qualidade de vida.

De forma semelhante, Coswig (2011), ao realizar um estudo em três conjuntos habitacionais de interesse social-comunitários localizados na cidade de Pelotas-RS, identificou uma correlação proporcional entre a satisfação com a segurança gerada por muros e telas, com uma maior satisfação com o conjunto habitacional como todo, revelando a importância da existência desses elementos para o bem-estar do usuário. Outro estudo interessante foi desenvolvido por Granja *et al.* (2009), em que se aplicou o conceito de valor desejado para introdução de melhorias em projetos de quatro conjuntos habitacionais localizados no Estado de São Paulo. Os resultados apontaram que o item segurança, dentre os vinte e seis analisados, destacou-se como prioridade para a agregação de valor, mesmo em conjuntos que tinham baixos níveis de violência.

Resende, Medvedovski e Sopena (2012) estudaram o bairro Porto, também situado em Pelotas-RS, com o intuito de levantar e caracterizar as alternativas utilizadas no fechamento da divisa frontal do lote e sua relação com o espaço público, a fim de confrontá-las com as teorias e diretrizes encontradas na bibliografia e na legislação. O resultado desta pesquisa identificou divergências entre as características observadas em campo com as recomendações da literatura e do código de obras municipal, principalmente no que se refere ao fator de transparência do fechamento (visibilidade) em que, diferente das recomendações, o fechamento quase total é predominantemente encontrado na área de estudo.

Nesse sentido, é recorrente a identificação da inserção de elementos que remetam à segurança e à privacidade nas habitações de interesse social, principalmente, à utilização de muros. Lacerda, Marroquim e Andrade (2011) realizaram uma Avaliação Pós-Ocupação (APO)

em unidades residenciais de um conjunto habitacional localizado na cidade de João Pessoa-PB, comparando as modificações realizadas com o projeto original. Diagnosticou-se que, entre outros aspectos, a construção do muro foi a alteração mais comum e imediata realizada pelos moradores, por motivos de segurança e privacidade.

Em pesquisa semelhante, Santos, Barros e Amorim (2013) estudaram um conjunto habitacional localizado na periferia urbana da cidade de Delmiro Gouveia – AL, tendo como objetivo diagnosticar as principais reformas realizadas pelos usuários. Constatou-se que a maioria das habitações construíram o muro, realizando o fechamento total ou parcial do lote, sendo que as motivações decorrem do desejo de privacidade visual, além de inibir a entrada de intrusos.

Essas pesquisas realizadas no contexto da habitação de interesse social demonstraram que o muro transmite inúmeras mensagens. Além do sentimento de insegurança, ele atende à necessidade de demarcação e de posse, assim, estabelecendo correlação com o conceito de território tratado por Haesbaert (2004). É possível identificar que o muro tem a dimensão física visível, mas também agrega a dimensão simbólica, visto que possui o potencial de representar diferentes discursos, como o da insegurança de viver na cidade e o da necessidade de delimitar o que é privado; este relacionado com a ideia de estabelecer privacidade.

O muro inserido dentro do contexto da habitação de interesse social, especificamente a projetada em conjuntos populares a partir de programas governamentais, como o Minha Casa Minha Vida (PMCMV), representa também que os indivíduos que convivem nesse espaço são indivíduos dominados pelo poder institucional. De forma mais enfática, são os excluídos, aqueles que a memória é silenciada (POLLAK, 1989). A edificação que o indivíduo deseja “proteger” muitas vezes é símbolo de luta por um lugar na cidade. O fato de ser projetada, revela ainda mais elementos a considerar, seja pela edificação, seja pelo seu entorno (conjunto habitacional, espaço público). Os projetos, geralmente padronizados e replicados (PALERMO *et al.*, 2007), podem não atender às necessidades do usuário, e o recurso do muro, potencialmente, pode “esconder” as modificações realizadas. Como argumenta Jacques (2008), os arquitetos e urbanistas podem até elaborar o projeto, mas são os que se apropriam que o atualizam de acordo com seu cotidiano.

A inserção do muro associa-se aos anseios por satisfação e conforto com o ambiente vivido, sendo esses bastantes negligenciados no contexto da habitação de interesse social. Essa discussão será aprofundada, em certos aspectos, no próximo tópico.

2.2 Habitação de Interesse Social e o Conforto Ambiental

A problemática da moradia no Brasil não é recente, sendo principalmente caracterizada por um grande déficit habitacional. Ao longo da história, com mais ênfase a partir da década de 1930, políticas públicas foram sendo desenvolvidas com intento de suprir a demanda crescente. No entanto, segundo Bonduki (2004), o Estado não foi eficiente em sanar esse problema, pois os investimentos destinados à habitação popular apenas promoveram a capitalização de recursos para o setor privado em detrimento do interesse social. Nesse sentido, Ferreira *et al.* (2017) apontam que essa demanda alarmante é resultado do processo de urbanização segregador, moldado aos interesses capitalistas.

A atual política habitacional do Governo Federal é pautada no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que foi instituído pela Lei nº 11.977/2009 (MOREIRA; RIBEIRO, 2016). O PMCMV passou a integrar o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e teve como finalidade básica a diminuição do déficit de moradia através da concessão de incentivos à produção e aquisição de unidades habitacionais (ROLNIK *et al.*, 2015).

Em oito anos de implantação, o PMCMV foi avaliado de diferentes formas, tanto em seus potenciais benefícios quanto em suas reais limitações. Segundo Moreira e Ribeiro (2016), os entusiastas apontaram os grandes volumes de subsídios disponibilizados, que possivelmente poderiam atenuar de forma efetiva a demanda, além de reduzir os custos da habitação, facilitando o acesso pela população de baixa renda. Porém, Cardoso e Aragão (2013) apontam oito dimensões mal equacionadas pelo programa:

(I) a falta de articulação do programa com a política urbana; (II) a ausência de instrumentos para enfrentar a questão fundiária; (III) os problemas de localização dos novos empreendimentos; (IV) excessivo privilégio concedido ao setor privado; (V) a grande escala dos empreendimentos; (VI) a baixa qualidade arquitetônica e construtiva dos empreendimentos; (VII) a descontinuidade do programa em relação ao SNHIS [Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social] e a perda do controle social sobre a sua implementação. [...] (VIII) as desigualdades na distribuição dos recursos como fruto do modelo institucional adotado (CARDOSO; ARAGÃO, 2013).

Em relação às dimensões acerca dos problemas de localização dos novos empreendimentos e da baixa qualidade arquitetônica, os autores abordaram a falta de controle do poder público municipal sobre a implantação dos empreendimentos habitacionais, que focado nos resultados quantitativos, gerou uma reprodução de soluções tradicionais, caracterizadas pela padronização e pelas negligências nos aspectos qualitativos (CARDOSO; ARAGÃO, 2013).

Recentemente foram estabelecidos novos normativos, como a Portaria nº 269/2017 (BRASIL, 2017) que determina diretrizes e especificações mínimas para elaboração de projetos da unidade habitacional direcionada às contratações do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR). As alterações na legislação prometeram melhorias no acesso e na qualidade habitacional, porém em meio às pressões do mercado da construção civil e às instabilidades políticas, resta a dúvida sobre a efetividade das mesmas.

Segundo Cunha, Santos e Araújo (2017), o PMCMV tem atuado de forma maciça na realidade de Maceió – AL, contexto do presente estudo. Até 2015 Alagoas foi o Estado brasileiro que mais recebeu incentivos federais dentro do programa. Sendo grande parte destinado à Faixa de renda 2⁶, em detrimento da faixa mais baixa, que não atinge nem 1/3 das unidades habitacionais produzidas (MELO; LINS, 2016).

Como diagnosticado por Cunha, Santos e Araújo (2017), Melo, Lins (2016) e Cavalcanti *et al.* (2015), os empreendimentos do PMCMV em Maceió – AL são implantados principalmente em áreas periféricas, sobretudo os destinados à Faixa mais baixa. Áreas não valorizadas, pois são desprovidas de equipamentos urbanos, infraestrutura básica, dificuldade de acesso e mobilidade para o centro urbano. Melo e Lins (2016) identificaram que dentro do bairro Benedito Bentes, onde estão situados a maior parte dos empreendimentos da cidade, é possível perceber distinções na localização, em que as Faixas 2 e 3 possuem melhores condições de acessibilidade do que a Faixa 1.

Outras características encontradas são as grandes dimensões dos empreendimentos, a padronização, o reduzido dimensionamento e pouca flexibilidade das unidades habitacionais (MELO; LINS, 2016). Cunha, Santos e Araújo (2017), ao realizarem um diagnóstico em um residencial na cidade, afirmaram que esses fatores, aliados a outros condicionantes, causam significativos índices de insatisfação e rejeição dos usuários com a moradia que, para amenizar, realizam constantes intervenções e melhorias. Isto demonstra que a produção habitacional de interesse social em Maceió – AL não foge do modelo adotado nacionalmente.

Em relação às condições de habitabilidade, várias pesquisas apontam a baixa qualidade projetual das moradias produzidas dentro do PMCMV. Batista *et al.* (2014) ao realizarem um estudo acerca do desempenho térmico de uma habitação multifamiliar na cidade de Maceió – AL, afirmam que mesmo atendendo aos níveis intermediário ou superior estabelecido pela NBR

⁶ O programa foi elaborado para atender diferentes faixas de renda: “a Faixa 1 é destinada ao atendimento de famílias com renda mensal de até R\$1.600,00; a Faixa 2 a famílias com renda mensal entre R\$1.600,00 e R\$3.100,00; e a Faixa 3 a famílias com renda entre R\$3.100,00 e R\$5.000,00” (ROLNIK *et al.*, 2015).

15575-1⁷, os ambientes da edificação analisada obtiveram nível “E” de eficiência energética, sendo esta a classificação mais baixa, pelo que determina o Regulamento Técnico da Qualidade de Edificações Residenciais (RTQ-R)⁸.

De forma semelhante, Moreno (2013) realizou uma avaliação do desempenho térmico de envoltória de um projeto típico de habitação de interesse social, enquadrada nos critérios do PMCMV, levando em consideração os parâmetros reguladores da NBR 15.220-3⁹, da NBR 15.575, do Selo Casa Azul¹⁰ e do RTQ-R. Aplicando diferentes métodos, os resultados apontaram baixos níveis de eficiência que indicaram a não consonância das edificações construídas dentro do programa com os instrumentos reguladores.

Nesse contexto, Amore, Shimbo e Rufino (2015) reuniram uma análise crítica de diferentes aspectos do PMCMV, resultante do cruzamento de várias pesquisas articuladas dentro de uma rede denominada “Rede Cidade e Moradia”. As pesquisas versam sobre a produção habitacional de seis Estados das regiões Norte, Nordeste e Sudeste (Pará, Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo). A obra é relevante, pois teve o intento de avaliar criticamente o programa, através de dados quantitativos e qualitativos, abarcando suas distintas escalas, modalidades e fases, bem como a qualidade construtiva e arquitetônica e seus impactos e efeitos sobre a cidade e a vida dos usuários.

Amore, Shimbo e Rufino (2015) ratificam que os empreendimentos desconsideram as especificidades locais, visto que ficam evidentes as similaridades dos produtos nas distintas regiões em que as pesquisas foram realizadas. Além disso, identificaram baixa qualidade nas áreas públicas e comunitárias; ausência de integração com o tecido urbano; pouca flexibilidade do projeto padrão, que não leva em consideração a diversidade da composição familiar; como também patologias precoces, decorrentes de erros de execução, redução de custos e aceleração do tempo de construção.

⁷ A NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho, estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais (ABNT, 2013).

⁸ “O RTQ-R apresenta requisitos para a classificação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH), edificações unifamiliares, edificações multifamiliares e áreas de uso comum” (ELETROBRAS; PROCEL, 2014).

⁹ NBR 15.220/2005: Desempenho térmico de edificações - NBR 15.220: “Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social” (ABNT, 2005).

¹⁰ “O Selo Casa Azul CAIXA é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno”. (CAIXA, 2010)

Na perspectiva do conforto térmico, algumas experiências relatadas por Amore, Shimbo e Rufino (2015), demonstraram a negligência em relação à implantação das edificações que não levaram em conta a orientação, provocando uma elevada exposição solar nos ambientes de maior permanência. Esta situação foi agravada pela falta de elementos de proteção solar e do pouco aproveitamento da ventilação natural. Problemas com relação ao conforto acústico também são identificados. Evidentemente, esses aspectos podem ter variações a depender da tipologia analisada. Em algumas pesquisas relatadas, os modelos de habitações unifamiliares, por estarem dispostos isoladamente no lote, apresentaram melhores potencialidades, ao serem comparados com exemplares multifamiliares verticalizados (AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015).

Comparado às experiências anteriores, esses estudos demonstraram que o PMCMV não trouxe, até então, diferenciais em relação à qualidade projetual, perpetuando e reproduzindo problemáticas. Pode-se perceber isto, ao comparar os estudos citados (AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015; MORENO, 2013; BATISTA *et al.*, 2014), com o trabalho de Kowaltowski *et al.* (2006), realizado anteriormente da implantação do PMCMV, mas que identificam semelhantes problemas nos conjuntos habitacionais.

Nesse sentido, é possível perceber que a habitação de interesse social no Brasil, ao seguir a lógica e a visão do setor privado, que visa prioritariamente o lucro, negligencia aspectos elementares para o bem-estar do usuário, a exemplo das condições mínimas de conforto. Como visto, um dos pontos mais questionados é a ausência de uma arquitetura que se adeque às especificidades locais, principalmente às condições climáticas. Os modelos padronizados, aplicados historicamente e reaplicados atualmente, fogem dos princípios bioclimáticos, sobretudo, aos aspectos térmicos, que possuem relativa importância nas regiões tropicais e subtropicais, onde se encontra o território brasileiro (ROMERO, 2013).

Na observância dessas constatações e reflexões, o próximo item do capítulo aborda a ventilação natural, uma das estratégias bioclimáticas indicadas como mais eficiente para o alcance do conforto ambiental por meios passivos, principalmente no clima tropical quente e úmido (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015), no qual se insere o objeto de estudo desta pesquisa. Portanto, deveria ser um recurso melhor aproveitado nos projetos das habitações de interesse social, como ressaltado por Bittencourt e Cândido (2015, p. V-VI):

[...] o alcance social dessa estratégia [ventilação] é indiscutível. Enquanto os indivíduos mais abastados podem “corrigir” os erros de uma construção desconfortável, por meio de aparelhos de condicionamento de ar, a população de baixa renda depende, fundamentalmente, de um projeto elaborado de forma adequada para

obter conforto térmico em suas edificações. É importante salientar que esta faixa da população não dispõe de recursos para adquirir os aparelhos de refrigeração e, muito menos, os recursos para pagar os elevados custos de energia necessários para operar esses equipamentos.

2.3 Ventilação natural no clima tropical quente e úmido

As regiões de clima tropical quente e úmido são caracterizadas por baixas amplitudes diárias e sazonais da temperatura do ar, além de elevados níveis de umidade. O padrão do céu é parcialmente nublado, gerando uma quantidade significativa de radiação difusa e luminosidade. Com isso, recomenda-se que nessas regiões as edificações evitem ganhos de calor advindos da radiação solar, na medida que dissipam o calor produzido internamente. Assim, tem-se o resfriamento como principal foco do projeto arquitetônico, sendo a ventilação natural um fator relevante no estabelecimento do conforto térmico humano (GIVONI, 1994).

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro, definido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas, estabelecendo diretrizes construtivas com foco nas habitações de interesse social¹¹. No zoneamento ficou evidente a recomendação para o uso da ventilação natural, visto que, excetuando a zona 1, este recurso foi sugerido em todas as outras zonas em alguma época do ano¹². Para a zona bioclimática 8, que possui a maior extensão do território, orientou-se que a ventilação seja utilizada permanentemente¹³.

A NBR 15220-1 (ABNT, 2005) conceitua ventilação natural como a passagem de ar do exterior para o interior de um edifício, por suas aberturas planejadas. Ela é expressa pela Taxa de Ventilação (V_{ar}). Quando o ar circula através de aberturas não intencionais, como frestas, se denomina infiltração, sendo expressa pela Taxa de Infiltração (V_i). Além da ventilação natural, a circulação de ar no interior de edificações pode ocorrer de forma artificial, por meios mecânicos ou por meios híbridos, que utilizam ambos os tipos, como aborda Bittencourt e Cândido (2015, p. 24).

O projeto do edifício em climas quentes e úmidos pode tomar três caminhos diferentes. O primeiro refere-se a edifícios onde o uso do ar condicionado é fundamental [...]. A segunda opção consiste no uso de ar condicionado somente em partes do edifício [...] tratando-se o resto do edifício através de processos passivos. [...] O terceiro direcionamento de projeto, e o mais comum, utiliza exclusivamente técnicas de controle passivo, onde a ventilação natural se destaca e a permeabilidade do edifício ao vento desempenha importante papel.

¹¹ A partir de 2012 foram lançadas propostas de revisão do zoneamento bioclimático. Estas propostas visam contribuir para uma caracterização climática mais precisa das cidades brasileiras (RORIZ, 2012).

¹² Para as zonas 4, 6 e 7 a norma recomenda uma ventilação seletiva nos períodos quentes, principalmente quando a temperatura interna for superior à externa. Nas zonas 2, 3 e 5, a norma sugere ventilação cruzada no período do verão (ABNT, 2005).

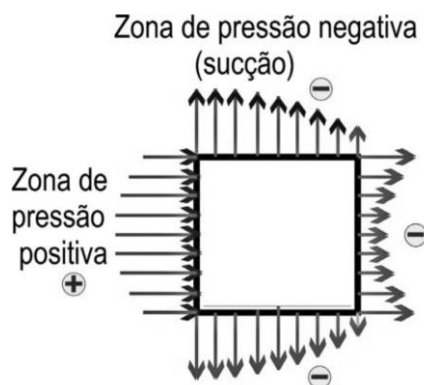
¹³ A cidade de Maceió – AL, contexto de estudo, situa-se na Zona Bioclimática 8.

O resfriamento passivo pode ser obtido por seis tipos de processos: (1) radiação; (2) evaporação; (3) inércia térmica; (4) condução para o solo; (5) convecção; e (6) estratégias híbridas, em que há uma combinação dos processos citados. A convecção, por meio da ventilação natural, é o mais indicado em climas quentes e úmidos, pois as elevadas taxas de umidade relativa do ar restringem às outras alternativas. As principais funções da ventilação natural são: proporcionar o resfriamento da edificação, através das trocas de calor; promover o conforto térmico dos usuários, com o resfriamento fisiológico; e possibilitar a renovação e a qualidade do ar (OLGYAY, 1998; GIVONI, 1994).

A ventilação natural dos edifícios é alcançada pelas diferenças de pressão, ocasionadas por meio de dois processos: (1) pela ação do vento; e/ou (2) pelos gradientes de temperatura do ar. A ventilação pela ação do vento, foco do presente trabalho, é promovida pelo deslocamento de ar, no sentido horizontal, causado pelas diferenças de pressão entre as aberturas da edificação. Nesse sentido, quando uma corrente de ar entra em contato com um edifício, as faces expostas ao vento (barlavento) estão em uma região de incidência de pressão positiva ou alta pressão, ao passo que as faces não expostas, faces laterais e oposta à corrente de ar (sotavento), estão em uma região com pressão negativa ou baixa pressão (Figura 1) (OLGYAY, 1998; BROWN; DEKAY, 2004).

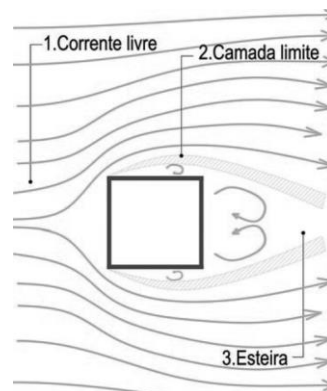
Como ilustrado na figura 2, a face a barlavento é caracterizada por ser uma zona de fluxo livre de ar (1). A região a sotavento, também conhecida como zona de sombra de vento ou esteira (3), é uma região de recirculação, onde há ocorrências de zonas de turbilhões, vórtices e refluxos de baixa velocidade. A região intermediária (2), onde ocorre a separação do fluxo livre da região de recirculação, é denominada de camada limite (BROWN; DEKAY, 2004; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015).

Figura 1 - Campos de pressão em um cubo



Fonte: Aynsley *et al.*, 1977 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

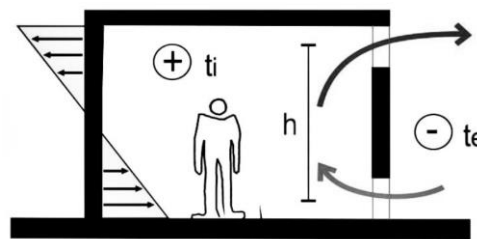
Figura 2 – Esquema em planta das três zonas formadas no escoamento do vento em torno das edificações



Fonte: Aynsley *et al.*, 1977 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

O processo de ventilação pelo gradiente de temperatura do ar é promovido pelas diferenças de densidade do ar. Assim, o deslocamento da massa de ar ocorre da zona de maior pressão, com temperatura mais baixa, para a zona de menor pressão, temperatura mais alta. Esse fenômeno é comumente denominado de efeito térmico ou chaminé, pois o movimento do ar se distribui no sentido vertical. Os principais fatores que afetam o efeito chaminé são a diferença de temperatura entre o ar externo e o ar interno, o tamanho das aberturas de entrada e saída do ar e a diferença de altura entre elas, como ilustrado na Figura 3 (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015).

Figura 3 – Esquema da movimentação do ar pelo efeito chaminé



Fonte: Bittencourt e Cândido, 2010.

Os dois tipos de processo de obtenção da ventilação natural, pela ação do vento e pelo gradiente de temperatura, podem ser utilizados de forma combinada, porém a depender das condições de aplicação, tanto podem ocasionar melhoras nos valores de velocidade do vento, como também podem diminuí-las (OLGYAY, 1998; TOLEDO, 1999).

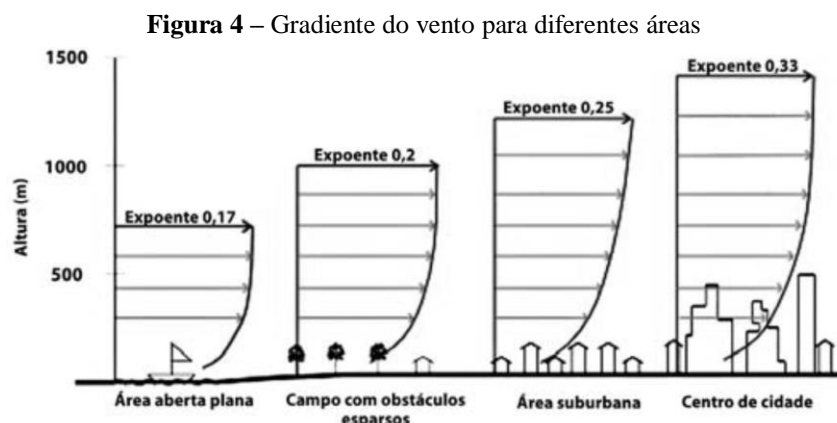
A disposição das aberturas de entrada e de saída gera dois tipos de ventilação: cruzada e unilateral, promovidas pela ação do vento. Além dessas, existe a técnica do efeito chaminé, ocasionado pelos gradientes de temperatura (KLEIVEN, 2003). Na ventilação cruzada, as aberturas de entrada estão dispostas em zonas de altas pressões (barlavento) e as de saída em zonas de baixas pressões (sotavento), sendo o movimento do ar ocasionado pelos diferentes campos de pressão. É um sistema que pode alcançar bons desempenhos na ventilação por ação do vento, como também, unido aos gradientes de temperatura, no efeito combinado, caso as aberturas tenham uma diferença de altura significativa (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006).

Na ventilação unilateral, as aberturas estão dispostas em uma mesma face, ou seja, na mesma orientação da fachada, ou quando o ambiente possui uma única abertura. Nesse sistema o fluxo de ar pode ocorrer devido à ação do vento, como também pelo gradiente de temperatura. Na maioria dos casos, apresenta baixos desempenhos em relação à renovação do ar e ao conforto térmico. Para o alcance de níveis satisfatórios, as diferenças de temperatura entre o exterior (mais baixa) e o interior (mais elevada) devem ser significativas (KLEIVEN, 2003).

Segundo Brown e Dekay (2004), o efeito chaminé pode ser uma estratégia eficiente de conseguir ventilação nos ambientes internos quando as condições climáticas ou o entorno da edificação não favorecerem à disponibilização do vento externo em grandes quantidades ou durante os períodos de calmaria. Isto ocorre, pois, a massa de ar mais quente presente no interior, tende a se mover para camadas superiores do ambiente, liberando espaço para massa de ar mais densa e com temperatura menos elevada. Nesse sentido, é possível utilizar esta técnica, ao dispor aberturas de entrada nas camadas próximas ao piso e aberturas de saída localizadas próximas à cobertura, promovendo a exaustão (TOLEDO, 1999).

Os fatores que influenciam na ventilação natural são: os elementos climáticos e os elementos do entorno natural e construído, além das características próprias do edifício. Os elementos climáticos se referem, sobretudo, aos ventos e às temperaturas. Para o aproveitamento da ventilação natural, deve-se considerar os aspectos da direção, velocidade e frequências diária e sazonal dos regimes de ventos, coletados nas estações meteorológicas (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015).

Dos dados meteorológicos, o vento é o que mais varia, podendo ser influenciado por diversos fatores. O fluxo de vento ao entrar em contato com uma superfície é alterado pelo seu grau de rugosidade, sendo nas camadas mais baixas da atmosfera onde o fluxo torna-se mais turbulento e sua velocidade é reduzida pelo atrito gerado. Esse fenômeno ocorre na chamada Camada Limite Atmosférica (CLA), que tem sua altura variando conforme a rugosidade do solo (Figura 4): “tem-se então que a altura da camada-limite aumenta com o incremento da rugosidade e as velocidades do ar aumentam com a altitude, até a camada-limite, a partir da qual permanecem mais ou menos constantes” (ROMERO, 2013, p. 43). Nesse sentido, o gradiente de velocidade do vento varia de acordo com as diferentes características das áreas: campo aberto, áreas suburbanas ou cidades (Figura 4).



Fonte: Adaptado de Jackman, 1980 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

Assim, a velocidade do vento na altura da edificação depende do entorno no qual ela está inserida. Para a correta utilização dos dados meteorológicos é recomendado realizar a correção da velocidade, ajustando-a para a altura das aberturas e as características específicas do entorno do caso em estudo, considerando o coeficiente de rugosidade do terreno. Para essa correção utiliza-se a equação (Eq. 01) estabelecida pelo Building Research Establishment (BRE, 1978 *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015):

$$V/V_m = k \cdot z^a \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

V = Velocidade do vento para a altura da abertura (m/s)

V_m = Velocidade média do vento medida na estação meteorológica (m/s).

z = Altura da abertura (m).

k, a = Coeficientes de rugosidade do terreno (Tabela 1)

Tabela 1 – Coeficientes de rugosidade do terreno para diferentes características do entorno

Coeficientes do terreno	k	a
Área aberta plana	0,68	0,17
Campo com obstáculos esparsos	0,52	0,20
Área urbana (suburbana)	0,35	0,25
Centro da Cidade	0,21	0,33

Fonte: BRE, 1978 *apud* Bittencourt e Cândido, 2015.

Tratando-se do clima tropical quente e úmido, presente em praticamente todo litoral do Nordeste brasileiro, o potencial de aproveitamento da ventilação natural pela ação do vento é grande. Isto se deve pela ocorrência dos ventos Alísios de Sudeste e Nordeste. Além da boa abrangência, o padrão de escoamento dos ventos recomendado para as edificações nessas regiões baseia-se no valor da velocidade, sendo os níveis aceitáveis: até 0,25 m/s para manutenção da qualidade do ar e até 2 m/s para promoção do conforto térmico. Esses valores possuem uma tolerância maior, em torno de 5 m/s, em espaços externos (GIVONI, 1994; HERTZ, 1998).

Algumas normas internacionais, como a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) e ISO 7730 (ISO, 2005), estabelecem limites aceitáveis da velocidade do ar. Contudo, em se tratando do clima quente e úmido, os valores fornecidos podem ser inferiores aos desejados pelos usuários. É o que constatou o trabalho de Cândido *et al.* (2010), em que foram discutidos os limites de aceitabilidade, verificando que nessas regiões climáticas “as flutuações do movimento e velocidade do ar, quando associadas à temperatura, podem ser não só bem-aceitas como também desejadas pelos usuários” (CÂNDIDO *et al.*, 2010, p.67).

Em outros estudos, que relacionam a velocidade e a temperatura do ar com os níveis de sensação térmica do usuário, foi considerado que o aumento da velocidade pode amenizar valores de temperatura elevados, conseqüentemente podendo gerar um satisfatório resfriamento fisiológico (LUKIANCHUKI, 2015). Dentre estes estudos, pode-se citar o esquema (Tabela 2) exposto por Freixanet e Viqueira (2004):

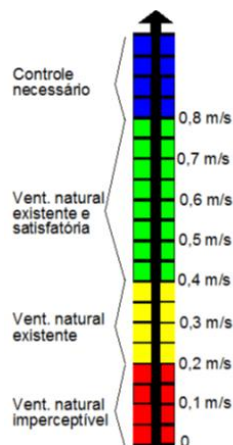
Tabela 2 - Velocidades do vento em espaços internos e seus efeitos nos usuários¹⁴

Velocidade do ar (m/s)	Efeitos sobre os seres humanos	Efeito de esfriamento (TBS °C) ¹⁵
		Pele úmida – 30°C ¹⁶
0,10	Pode-se sentir sufocação	0,0
0,25	Há movimento imperceptível exceto a baixas temperaturas do ar	0,7
0,5	Sensação de frescor a temperaturas confortáveis, porém incomoda a baixas temperaturas	1,2
1,0	Agradável geralmente quando o clima é confortável ou quente, porém causa sensação de movimento evidente. É o nível máximo aceitável de conforto noturno.	2,2
1,5	Incômodo a temperaturas confortáveis. Limite máximo de conforto para atividades internas.	3,3
2,0	Aceitável apenas em condições muito quentes e úmidas, quando nenhum outro alívio ambiental está disponível.	4,2

Fonte: Freixanet e Viqueira, 2004

Morais (2013), tomando como referência as pesquisas de Bedford (1948), Allard (1998) e Cândido *et al* (2010), desenvolveu uma “escala cromática” levando em consideração os limites de velocidade para o conforto térmico. A escala se divide em quatro níveis de velocidades médias (Figura 5), sendo o intervalo de 0,41 a 0,8 m/s em que é possível perceber uma redução de carga térmica.

Figura 5 - Escala cromática de velocidades médias aplicadas ao conforto térmico



Fonte: Moraes (2013)

¹⁴ Informações traduzidas pela autora.

¹⁵ Temperatura de Bulbo Seco (TBS)

¹⁶ Os autores também incluem o efeito sobre a pele seca, porém para a presente pesquisa considerou-se apenas a pele úmida, já que esta sensação de desconforto é mais predominante no clima quente e úmido (MORAIS, 2013).

Além da velocidade do vento, os Coeficientes de pressão (Cps) são parâmetros considerados importantes na análise da ventilação natural. Com os dados de Cps é possível avaliar a ação dos ventos na envoltória dos edifícios (WIT, 2001). O Cp pode ser definido como um quociente adimensional entre a pressão dinâmica medida em um ponto específico da fachada da edificação (Px) e a pressão dinâmica do fluxo de vento não perturbado a barlavento (Pd), conforme a equação a seguir (Eq. 02) (ETHERIDGE; SANDBERG, 1996 *apud* CÓSTOLA; ALUCCI, 2011):

$$Cp = \frac{P_x}{P_d} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

$$P_d = \frac{\rho \times V_{ref}^2}{2} \quad [\text{Eq. 03}]$$

ρ : Massa específica do ar (kg/m³).

V_{ref} : Velocidade do fluxo (m/s), medida em um ponto antes da alteração sofrida pelos obstáculos, na cota da cobertura do edifício.

Vários elementos externos podem influenciar no aproveitamento da ventilação em edifícios, como topografia, vegetação, massas d'água, traçado das ruas, adensamento e demais características da configuração urbana. Por exemplo, a conformidade com o relevo é uma condição que pode incrementar ou reduzir a velocidade dos ventos regionais, pois as variações do relevo, como a presença de vales ou barreiras íngremes, são geradoras de zonas de turbulência e de recirculação de ar. A presença de massas d'água pode originar ventos locais, através das brisas diurnas e noturnas, que são decorrentes da diferença de capacidades térmicas entre a terra e a água. Outro elemento importante é a vegetação, sua existência, tipo e disposição, podem beneficiar ou criar barreira para a circulação do fluxo de vento (ROMERO, 2013; OLGAYAY, 1998).

Além desses elementos, a análise dos fatores da própria forma e tipologia do edifício (relação entre altura, comprimento e largura), como também a orientação das suas faces, do arranjo construtivo e implantação, a presença de anteparos nas fachadas, divisão interna dos espaços e outros elementos arquitetônicos, como o tipo e dimensão das esquadrias, são relevantes para a compreensão do comportamento do escoamento do vento (OLGYAY, 1998; GIVONI, 1994; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015).

Segundo Toledo (1999), a existência de anteparos no entorno das edificações, sejam muros, árvores ou outras construções, deve ser levada em consideração, pois modifica substancialmente o fluxo de ar que incide na edificação estudada e conseqüentemente na distribuição de pressões sobre a mesma.

Alguns estudos, como os de Melaragno, 1982¹⁷; de Boutet, 1987¹⁸; e de Hare e Kronauer, 1969¹⁹), demonstraram o uso de muros, cercas e outros elementos similares, com a função de quebra-ventos, pois são empregados como barreiras ao fluxo de vento. Essa situação teria um uso indesejado para o contexto do presente estudo – que aborda o clima tropical quente e úmido. Visto que para este, o aproveitamento da ventilação natural, aliado ao sombreamento, é a principal estratégia de conforto térmico. Entretanto, o conhecimento de estudos sobre quebra-ventos se torna relevante para a compreensão do seu efeito no escoamento e, por conseguinte, a possibilidade de planejar o uso dos muros para uma função oposta: de captação dos ventos. Nesse sentido, o próximo subitem abordará o muro e seu impacto no fluxo de vento.

2.3.1 Influência dos muros no escoamento dos ventos

Os quebra-ventos são comumente pesquisados na área da agricultura com o intuito de avaliar seu efeito na redução da velocidade do vento e, conseqüentemente, na proteção de lavouras e edificações rurais, devido ao seu potencial de modificação do microclima na área protegida. Segundo Stipp (1997), este elemento pode ter formas e materiais variados, mas geralmente são constituídos de faixas compridas e estreitas orientadas de modo perpendicular à direção dos ventos dominantes. De acordo com o autor, são utilizadas desde barreiras “mortas”, feitas de cercas e muretas, ou barreiras “vivas”, formadas por fileiras de árvores e arbustos, estas são denominadas quebra-ventos arbóreos ou cortinas florestais.

Olgyay (1998) relata um experimento feito em uma Estação agrícola de Kansas, no qual foram testados diferentes tipos e formas de quebra-ventos. Foram avaliados quatro tipos: (1) uma barreira de seção laminar (semelhante ao muro convencional), (2) uma barreira de seção triangular, (3) uma barreira de seção cilíndrica, e (4) uma barreira vegetal. Como ilustrado na Figura 6 e na Tabela 3, a barreira vegetal foi a que apresentou maior extensão de proteção, seguida da barreira laminar. Esta, no entanto, foi a que mais impactou nas áreas próximas à barreira, reduzindo a velocidade do vento cerca de 10% a mais do que a forma triangular, tanto

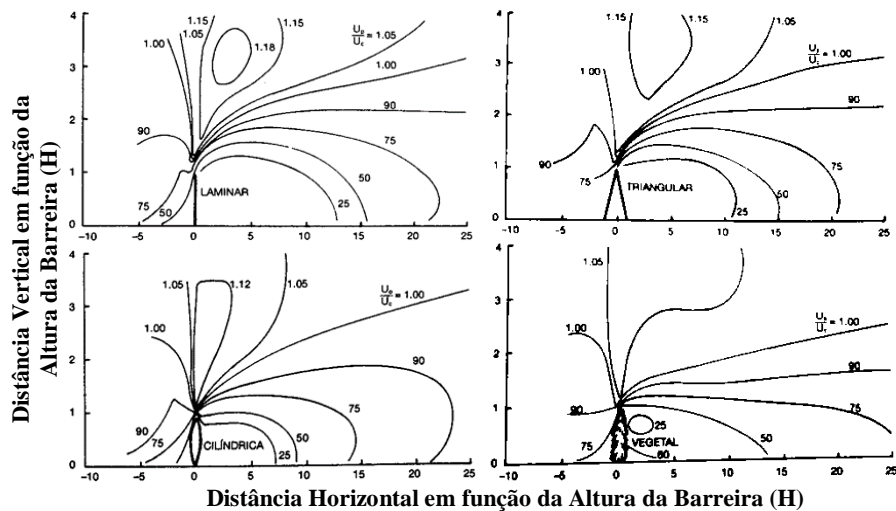
¹⁷ Melaragno, 1982 *apud* Brown e Dekay, 2004.

¹⁸ Boutet, 1987 *apud* Bittencourt e Cândido, 2015.

¹⁹ Hare e Kronauer, 1969 *apud* Oliveira, 2009.

em pequenas como em grandes distâncias. Ressalta-se que em todos os tipos a redução da velocidade a barlavento da barreira foi, relativamente, insignificante.

Figura 6 – Gráfico do fluxo de ar ao redor de quatro barreiras de diferentes formas



Fonte: Olgay (1998)

Tabela 3 – Extensão de redução da velocidade do vento em diferentes tipologias de barreira

Objeto	75% de Redução	50% de Redução	25% de Redução
Lâmina Vertical	13,0 H	15,5 H	21,5 H
Forma triangular	10,5 H	15,0 H	20,5 H
Forma cilíndrica	7,0 H	9,0 H	14,0 H
Barreira vegetal	-----	13,5 H	27,0 H

H = altura da barreira

Fonte: Adaptado de Olgay (1998)

Tratando especialmente em relação a quebra-ventos arbóreos, Brown e Dekay (2004, p. 153) abordam que o emprego deles na redução dos ventos dependerá das variáveis: altura, densidade (porosidade), forma, largura e comprimento, sendo os dois primeiros os fatores mais importantes. Em relação à porosidade, os autores ilustram através da Figura 7, as velocidades médias do vento em barreiras com diferentes níveis de porosidade. Os dados demonstraram que quebra-ventos mais densos são mais eficientes na redução de velocidades nas áreas logo após a barreira.

Figura 7 - Gráfico das velocidades médias dos ventos com quebra-ventos com diferentes porosidades

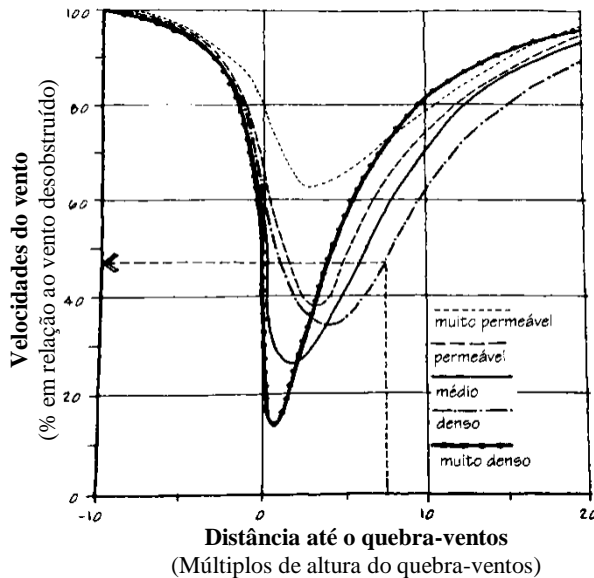
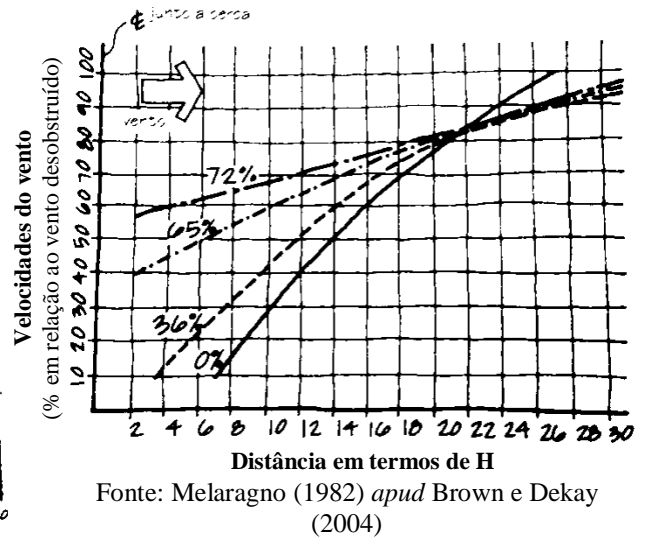


Figura 8 - Gráfico da redução da velocidade dos ventos com o uso de cercas

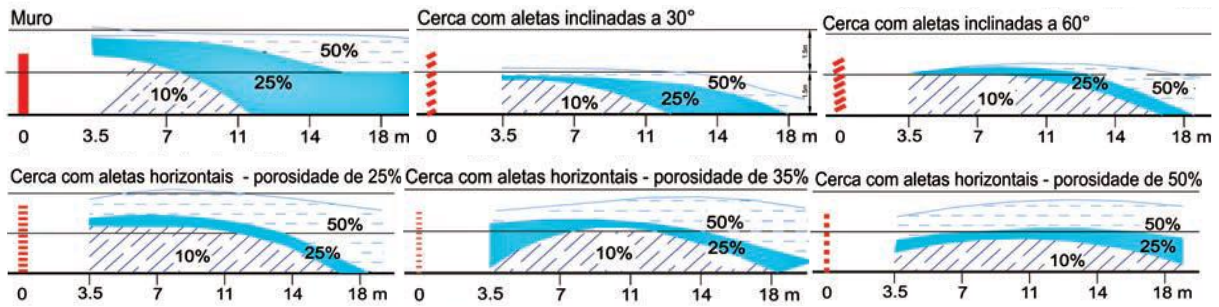


Como ilustrado na figura 8, o desempenho da barreira de proteção é diretamente associado ao nível de porosidade e a altura da mesma. É possível perceber que a redução máxima ocorre na área a sotavento, em uma extensão que mede entre o intervalo de duas a sete vezes o valor da altura da barreira. Como exemplo, em uma cerca com 36% de porosidade promoverá uma redução de 90% do vento em uma distância equivalente a quatro vezes a sua altura. Considerando uma distância de oito vezes, fornece redução de 70%, e em uma distância de dezesseis vezes, ocorre a redução de 30% (BROWN; DEKAY, 2004).

Convergindo com os estudos anteriores, Boutet (1987) *apud* Bittencourt e Cândido (2015) também avaliou a redução da velocidade do vento ao atravessar diferentes configurações de barreiras, constatando que uma cerca de aproximadamente 1,5 m de altura desvia boa parte do fluxo para cima das construções. Conforme a Figura 9, é possível perceber que quanto maior a porosidade e a horizontalidade das aletas, menor é a extensão de proteção, ou seja, existe mais possibilidades de aproveitamento da ventilação natural no nível das aberturas da edificação.

Hare e Kronauer (1969) *apud* Oliveira (2009) realizaram testes com 10 tipologias de muros e cercas (Figura 10). Para o desenvolvimento da pesquisa não foram consideradas as especificações de material construtivo. Os resultados apontaram diferentes características no fluxo de vento para cada tipo de barreira, detectando alterações na velocidade, pressão e direção do vento. Semelhante ao estudo anterior, foi demonstrado que a porosidade de 50% obteve melhor resultado na sustentação da velocidade do vento do fluxo livre.

Figura 9 - Redução da velocidade do vento (% em relação ao fluxo livre) em consequência da presença de cercas e muros com diferentes configurações.



Fonte: Boutet (1987) *apud* Bittencourt e Cândido (2015).

Figura 10 - Tipologias de Muros e cercas estudados por Hare e Kronauer

1. Muro	2. Muro com abertura inferior	3. Lâminas horizontais com 25% de porosidade	4. Lâminas horizontais com 50% de porosidade	5. Lâminas horizontais com 35% de porosidade
6. Lâminas horizontais variadas	7. Lâminas inclinadas a 30°	8. Lâminas inclinadas a 60°	9. Com decréscimo gradativo de angulação	9. Com acréscimo gradativo de angulação

Fonte: Hare e Kronauer (1969) *apud* Oliveira (2009).

Os quebra-ventos podem ser utilizados também para proteção de edificações, tanto de ventos frios como ventos quentes. De acordo com Brown e Dekay (2004, p. 153):

Em climas frios, os quebra-ventos podem reduzir as perdas térmicas nas edificações e a conseqüente redução das perdas por convecção e infiltração. [...] Nos climas quentes e secos, além do conforto térmico, os quebra-ventos desempenham uma importante proteção contra areia e poeira.

O desempenho de quebra-ventos também está vinculado à sua posição com relação à incidência do fluxo de ar. Caso o vento não esteja soprando perpendicularmente à barreira, a área de proteção é menor. Por este motivo Brown e Dekay (2004) afirmam que é mais relevante planejar os quebra-ventos com objetivo de reduzir a velocidade máxima dos ventos, ao invés de tentar maximizar a distância na qual a barreira é eficiente, visto que o nível de infiltração nos edifícios é proporcional à pressão dos ventos.

Oliveira (2009) desenvolveu um estudo sobre os efeitos no aproveitamento da ventilação natural provocados por modificações em casas autoconstruídas. Foi constatado que o muro impermeável, agindo como barreira, reduz significativamente a velocidade do vento

internamente. Segundo a autora, das 150 casas analisadas, apenas 9 conseguiram manter a ventilação natural com velocidade em torno de 10% do fluxo vento da área urbana.

Um estudo desenvolvido por Li, Wang e Bell (2003) avaliou o efeito de quebra-ventos nos espaços urbanos. Um dos objetivos da pesquisa foi a identificação da eficiência desses elementos em relação aos seus parâmetros físicos. A pesquisa analisou variáveis como o recuo entre a cerca e a edificação e a porcentagem de porosidade da cerca. Assim, demonstrou-se, entre outros aspectos, que o efeito do recuo na redução da velocidade do vento em espaços externos relativamente pequenos, se sobrepõe ao efeito da porosidade, representando uma variável relevante.

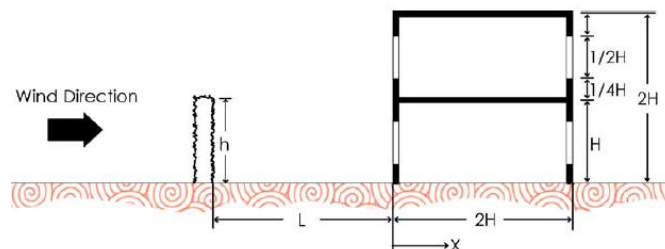
Em um estudo similar, Chang (2006) analisou, por meio de simulações computacionais, o impacto de uma cerca viva em uma habitação de dois pavimentos. Utilizou-se como parâmetros as variáveis: níveis de porosidade, recuo frontal e altura da cerca, conforme Tabela 4 e Figura 11. Os resultados da pesquisa apontaram que na cerca com mais índice de porosidade ($\eta = 0.5$) há maior incidência de fluxo de ar no interior da edificação (Figura 12), contrapondo com o que ocorre na cerca com menor índice ($\eta = 0.1$) (Figura 13). Neste caso, a região logo após a cerca viva se caracteriza por uma área de recirculação do fluxo de ar, sendo similar ao padrão com muro totalmente fechado ($\eta = 0.0$).

Tabela 4 - Parâmetros utilizados para realização das simulações computacionais na pesquisa de Chang (2006)

Níveis de porosidade	Recuo	Altura da cerca
$0 \leq \eta \leq 1$	$0.25 \leq L/2H \leq 3.0$	$0.1 \leq h/2H \leq 1.0$
Onde: 0 = cerca totalmente fechado; 1 = sem a presença da cerca.	Onde: L = recuo 2H = Altura da edificação	Onde: h = altura do muro 2H = Altura da edificação

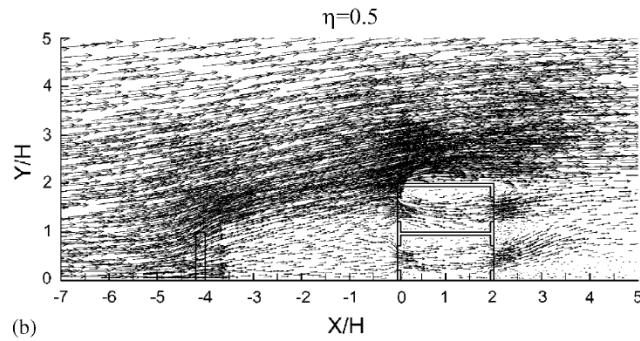
Fonte: Adaptado de Chang (2006)

Figura 11 - Corte esquemático demonstrando as características do modelo simulado na pesquisa de Chang (2006)



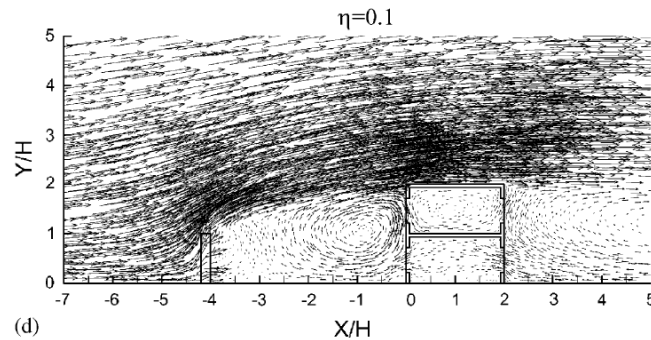
Fonte: Chang (2006).

Figura 12 - Simulação demonstrando o efeito da porosidade $\eta = 0.5$



Fonte: Chang (2006).

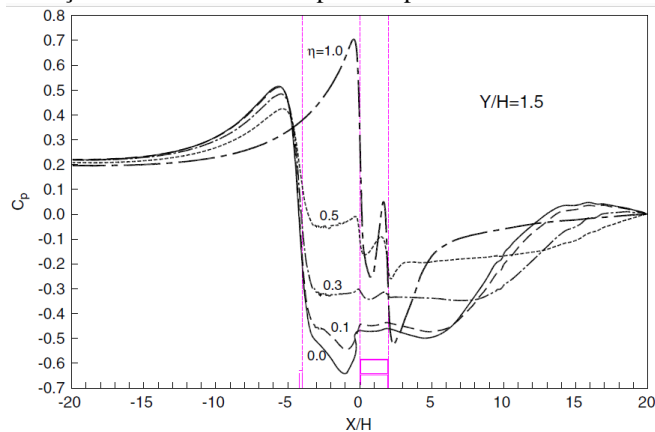
Figura 13 - Simulação demonstrando o efeito da porosidade $\eta = 0.1$



Fonte: Chang (2006).

Segundo Chang (2006), são gerados três padrões diferentes para o fluxo de ar a depender do nível de porosidade: (1) fluxo de incidência ($\eta = 0.5$), facilitando a ventilação cruzada efetiva dentro da edificação; (2) fluxo de estagnação, em que a velocidade do vento no interior foi anulada ($\eta = 0.3$); e fluxo de recirculação ($\eta = 0.1$), ocorrendo uma inversão na entrada do vento na edificação. Neste último caso, o muro teve um impacto na distribuição das pressões nas superfícies da construção, pois as aberturas a barlavento obtiveram pressões menores e as localizadas a sotavento, pressões maiores. Conseqüentemente, são as aberturas a sotavento que assumiram a função de entrada de ar. É possível visualizar essa inversão dos coeficientes de pressão na Figura 14.

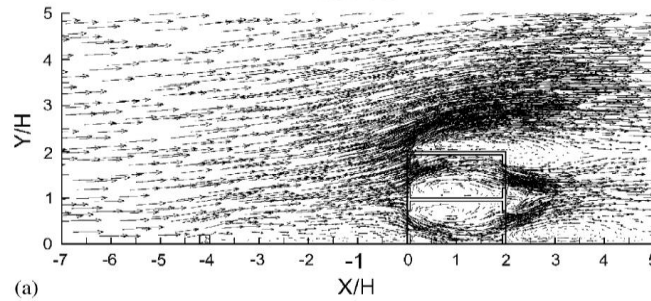
Figura 14 - Gráfico da distribuição dos coeficientes de pressão para cercas com diferentes níveis de porosidade



Fonte: Chang (2006).

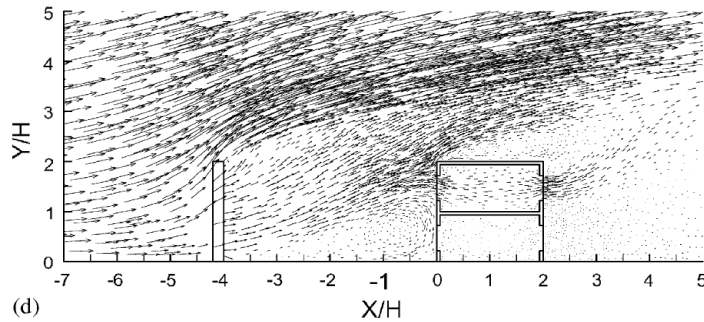
Chang (2006) fixou o nível de porosidade ($\eta = 0.2$) e relacionou os parâmetros de altura do muro e de recuo frontal com a altura da edificação ($2H$). O autor constatou que os melhores resultados foram obtidos nos casos em que o muro possuía menor altura ($h/H = 0.5$) e estava mais próximo da edificação ($L/H = 0.5$), conforme ilustrado nas Figuras 15, 16, 17 e 18.

Figura 15 - Simulação demonstrando o efeito da altura do muro: $h/H = 0.2$
 $h/H=0.2$



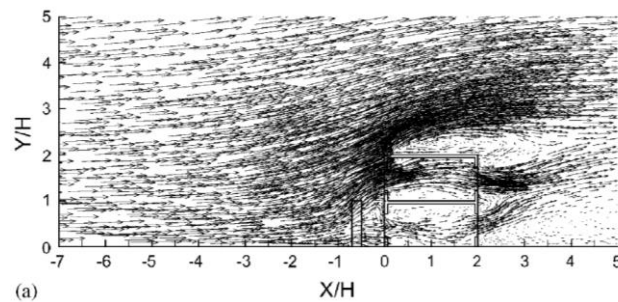
Fonte: Chang (2006).

Figura 16 - Simulação demonstrando o efeito da altura do muro: $h/H = 2.0$
 $h/H=2.0$



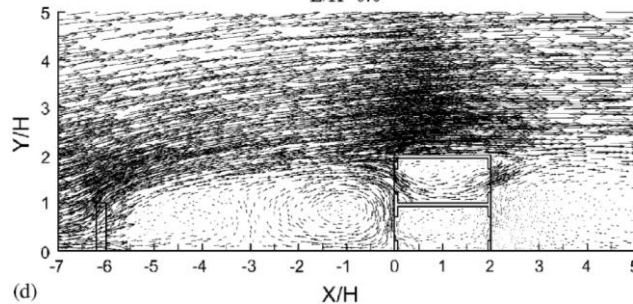
Fonte: Chang (2006).

Figura 17 - Simulação demonstrando o efeito do recuo frontal: $L/H = 0.5$
 $L/H=0.5$



Fonte: Chang (2006).

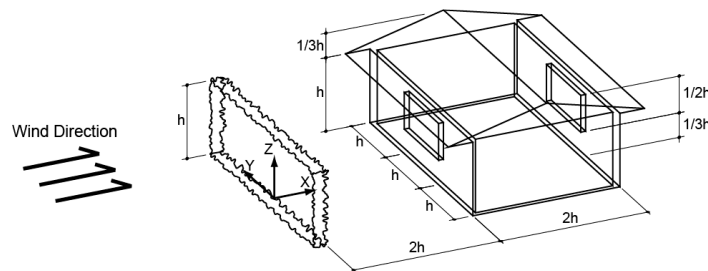
Figura 18 - Simulação demonstrando o efeito do recuo frontal: $L/H = 6.0$
 $L/H=6.0$



Fonte: Chang (2006).

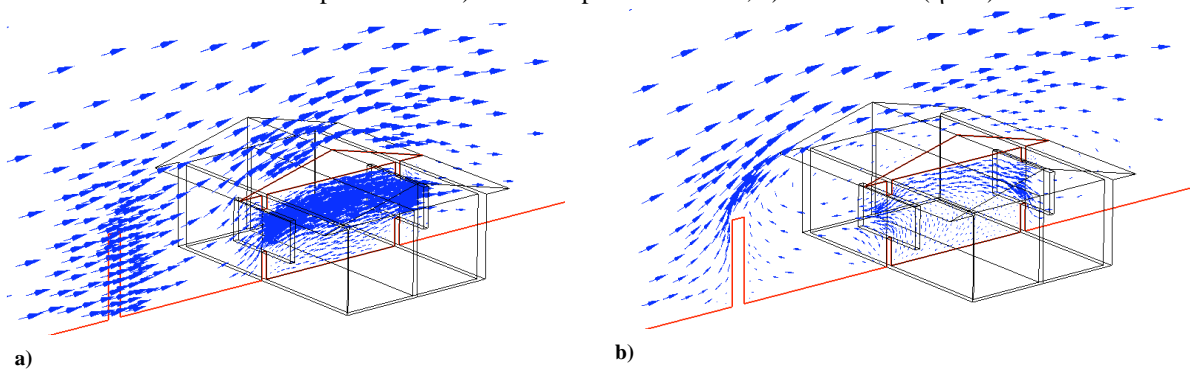
Chang e Cheng (2009) analisaram o comportamento do muro em um modelo de edificação térrea. Eles fixaram a dimensão do recuo frontal ($L/h = 2.0$) e variaram o nível de porosidade da cerca ($0 \leq \eta \leq 1$) (Figura 19). Os resultados do estudo foram similares aos encontrados na pesquisa de Chang (2006), principalmente com relação aos padrões de fluxo de ar para os diferentes níveis de porosidade da cerca. Eles constataram que índices de porosidade altos facilitam à ventilação cruzada. Em contrapartida, índices baixos, ou cercas sólidas ($\eta = 0$), geram o fluxo de recirculação, ou fluxo invertido, como ilustrado nas Figuras 20 e 21, em que são comparados o fluxo médio da velocidade em ambos os casos.

Figura 19 - Geometria esquemática demonstrando o modelo e os parâmetros considerados para simulação



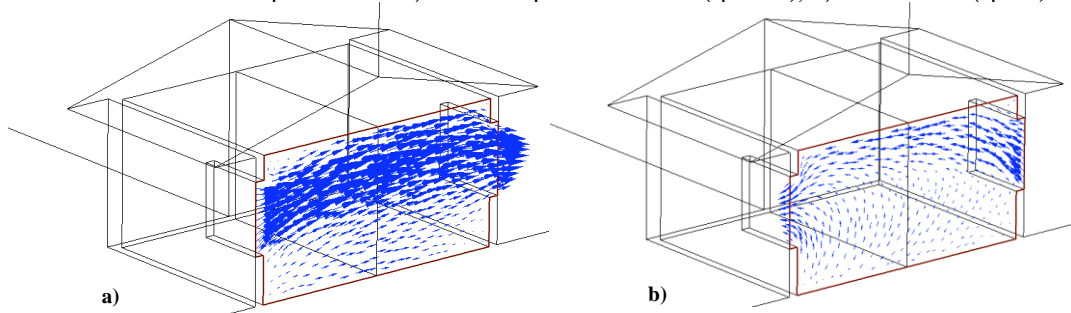
Fonte: Chang e Cheng (2009).

Figura 20 - Cortes esquemáticos comparando o fluxo médio da velocidade para cercas com dois distintos índices de porosidade: a) índice de porosidade alto; b) cerca sólida ($\eta = 0$)



Fonte: Chang e Cheng (2009).

Figura 21 - Cortes esquemáticos da edificação comparando o fluxo médio da velocidade para cercas com dois distintos índices de porosidade: a) índice de porosidade alto ($\eta = 0.8$); b) cerca sólida ($\eta = 0$)



Fonte: Chang e Cheng (2009).

Costa, Bittencourt e Barbosa (2017) investigaram uma determinada tipologia de muros vazados: muros construídos com lâminas horizontais inclinadas, semelhantes a esquadrias com venezianas. A pesquisa utilizou como parâmetros a inclinação e direção das lâminas, e o recuo frontal. Foi constatado que diferentes configurações produzem distintos comportamentos no fluxo de ar que incide nas aberturas a sotavento dos muros. Além disso, os resultados apontaram para as vantagens do muro vazado em relação ao muro sem aberturas, principalmente em lotes pequenos, com recuos menores. Os autores verificaram que os muros vazados com lâminas menos inclinadas (30°), direcionadas mais para a altura das aberturas ou para o solo, são os que apresentaram melhor abrangência do fluxo do vento, com menores perdas de energia cinética. Semelhante à pesquisa de Chang (2006), foi constatado que em muros porosos os recuos menores obtiveram melhores condições de aproveitamento da ventilação, visto que houve menores ocorrências de zonas de turbulências e fluxos de recirculação entre o muro e a edificação.

Olgyay (1998) também abordou a importância da barreira para o desempenho energético em residências, relacionando três variáveis: a potência de aquecimento, os valores de velocidade do vento e a diferença de temperatura entre o interior da edificação e a área externa. Ao comparar uma casa com barreiras de proteção com outro exemplar nas mesmas condições, mas desprotegido, a economia com o aquecimento foi de aproximadamente 23%. Outros estudos, como o de Dewalle e Heisler (1983), também relacionam a inserção de quebra-ventos com a redução de gastos com energia com aquecimento.

O estudo realizado por Marin (2017) avaliou os impactos ocasionados pelo uso de diferentes dispositivos de sombreamento externos e do muro no conforto térmico de uma habitação térrea localizada em clima quente e úmido. O autor constatou que a inserção do muro foi o que mais influenciou os coeficientes de pressão (CPs), verificando o efeito significativo da inversão da sobrepessão, um fenômeno caracterizado pela inversão do sinal do C_p de positivo a negativo. Conseqüentemente, observou-se uma redução da taxa de renovação do ar e um aumento nas temperaturas internas no período noturno. Isto limita o potencial de uso da ventilação natural nos períodos que esta seria mais eficiente na remoção de calor. Nesse sentido, o autor destaca que houve um aumento do desconforto na habitação com o acréscimo do muro.

Na observância dos estudos sobre quebra-ventos e muros é possível tirar proveito de alguns aspectos que melhor se adequem ao interesse da presente pesquisa: o aproveitamento do vento através das barreiras. Assim, o próximo item trata das estratégias de aproveitamento da

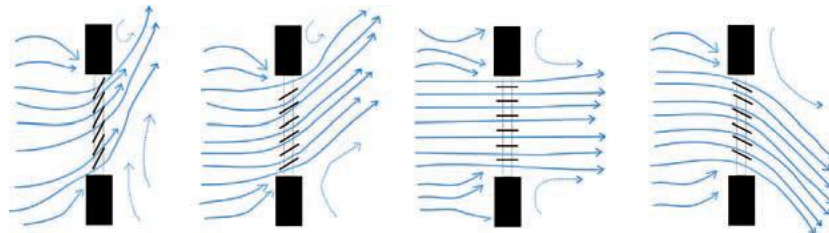
ventilação natural a partir do uso de elementos vazados, visto que a porosidade foi um dos aspectos mais discutidos nas pesquisas descritas anteriormente.

2.3.2 Estratégias passivas de ventilação natural: uso de elementos vazados

Na observância dos variados fatores que interferem no fluxo dos ventos, existem alguns recursos e componentes arquitetônicos que ao serem inseridos na envoltória da edificação podem melhorar o aproveitamento da ventilação natural. Como exemplo podem-se citar: tipologias das aberturas, elementos vazados, elementos horizontais e verticais, torres e captadores de vento, pérgulas e peitoril ventilado. Com foco nos elementos vazados e nos recursos que podem agregar soluções para a análise do objeto de estudo, alguns desses, serão brevemente descritos.

O escoamento do fluxo de vento pode ser influenciado pela distribuição, o posicionamento, o tamanho e o tipo de fechamento das aberturas. Segundo Bittencourt e Cândido (2015), independentemente da tipologia utilizada, a porosidade é uma condição importante e desejável em climas quentes, sendo obtida com o uso de venezianas nas esquadrias ou elementos vazados. As venezianas móveis permitem uma flexibilidade do uso, sendo possível o controle das condições de ventilação, privacidade, proteção contra chuvas e raios solares e aproveitamento da iluminação natural (Figura 22).

Figura 22 - Efeitos de venezianas móveis no fluxo de ar



Fonte: Boutet (1987) *apud* Bittencourt e Cândido (2015).

Os elementos vazados, conhecidos como cobogós, são soluções comumente encontradas nas edificações do nordeste do Brasil, principalmente por promoverem o aproveitamento dos ventos, filtrarem a iluminação natural e por terem um baixo custo (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015). Bittencourt (1995) investigou o desempenho de quatro tipos de geometrias de cobogós no aumento da ventilação em edificações. O autor realizou a avaliação da resistência à passagem do vento em função da velocidade e do ângulo de incidência, utilizando medições em câmara de testes. Os resultados demonstraram que a resistência promovida pelos cobogós é proporcional à porosidade de cada componente, entretanto, essa resistência é seletiva, pois depende da velocidade do ar e da forma do bloco:

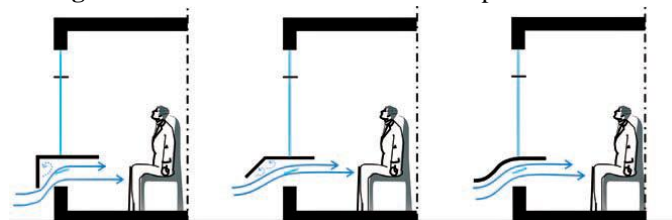
Verifica-se que a resistência à passagem do ar aumenta à medida que a velocidade do vento cresce, indicando uma característica moduladora na velocidade do ar no interior das construções. Os resultados revelam ainda que, a velocidade do ar interior cai à medida que o ângulo de incidência do vento se afasta da normal à fachada. Além do efeito modulador da velocidade do vento, os blocos podem produzir um redirecionamento do fluxo do ar, proporcionando uma distribuição mais uniforme do que aquela que seria proporcionada por uma janela com área aberta igual à dos elementos vazados (BITTENCOURT, 1995, p. 381).

Elementos horizontais, como o beiral da edificação, são componentes que podem influenciar positivamente o comportamento da ventilação, sobretudo em edifícios térreos, ao passo que possibilitam o redirecionamento de parte do fluxo de vento, que seria conduzido para cima da cobertura, para dentro dos espaços internos. As pérgolas contribuem de forma semelhante, visto que podem ter o potencial de direcionar o fluxo e gerar um incremento na ventilação natural. Contudo, tendo em vista que a distribuição do fluxo de ar no interior da edificação é relacionada ao ângulo de incidência dos ventos, torna-se imprescindível a análise projetual da pérgola para que a inclinação dos seus componentes não reduza a velocidade do vento nos ambientes internos (LIMA; CÂNDIDO; BITTENCOURT, 2005; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015).

Outro componente interessante é o peitoril ventilado, que é um dispositivo com a função de promover a movimentação do ar complementando as esquadrias. Geralmente possui um formato de L invertido e é colocado de forma a sobrepor uma abertura posicionada no peitoril da janela principal. A sua composição permite que os ventos sejam captados e direcionados para a altura dos usuários sentados, ao passo que protegem da incidência de chuvas e radiação solar direta. Assim, podem ser inseridos de forma benéfica em ambientes de trabalho e dormitórios (BITTENCOURT *et al*, 2007).

No estudo realizado por Leal, Bittencourt e Cândido (2006), foi avaliado o impacto de três diferentes formatos de peitoris ventilados na distribuição do fluxo de ar e na velocidade do vento em salas de aula (Figura 23). Nos resultados foi verificada a influência do formato do peitoril ventilado na captação do fluxo de ar, sendo os formatos curvo e inclinado os que apresentaram melhor desempenho, em detrimento ao formato ortogonal, que ofereceu uma maior resistência à passagem do ar.

Figura 23 - Três diferentes formatos do peitoril ventilado



Fonte: Bittencourt e Cândido (2015).

Em pesquisa complementar, realizada por Montenegro, Xavier e Bittencourt (2012), foi estudada a influência da inclinação das aletas do peitoril ventilado em dormitórios. Constatou-se que a posição das aletas impacta de forma significativa na distribuição e direção do vento no interior do ambiente. Apesar da existência das aletas ser positiva, ao permitir controle e uso mais flexível do peitoril, elas promovem maior resistência à passagem do fluxo de ar.

Bittencourt e Cândido (2015) afirmam que, mesmo com a constatação dos benefícios proporcionados pelos componentes vazados, sejam cobogós, pérgulas ou o peitoril ventilado, estes são pouco estudados, de forma a considerar suas potencialidades, pelos arquitetos brasileiros. Nesse sentido, pesquisas que tratem da avaliação dos impactos desses elementos, considerando suas vantagens e desvantagens, são relevantes para melhor inserção deles nas edificações. As possíveis desvantagens e divergências projetuais se referem ao isolamento acústico, à incidência de chuvas, aos insetos, aos efeitos na luminosidade e, até mesmo, aos aspectos de segurança da edificação.

Visto a necessidade de estudo sobre o desempenho da ventilação natural, avaliando a adoção de estratégias passivas, torna-se imprescindível abordar os diferentes métodos e ferramentas utilizados para essa finalidade. Assim, este será o escopo do próximo item do capítulo.

2.3.3 Ferramentas para análise da ventilação natural

Variados métodos e ferramentas são utilizados com foco na predição da ventilação natural pela ação do vento. Segundo Cóstola (2006), a escolha dos meios dependerá da relevância da ventilação para o estudo/projeto, além da disponibilidade de recursos humanos e materiais. O uso desses meios se torna imprescindível para o entendimento do comportamento de fenômenos físicos, evitando-se recomendações e soluções generalistas que possuam discrepâncias com a realidade (ARAÚJO, 2011). Porém, ressalta-se que todo modelo estudado, independentemente do método e da ferramenta utilizada, é uma aproximação do real (BUNGE, 1974 *apud* CÓSTOLA, 2006).

Existem duas abordagens principais dentro da realização de experimentos envolvendo ventilação natural: a abordagem quantitativa, que tem como foco mensurar variáveis componentes do fenômeno físico; e a abordagem qualitativa, com o objetivo da visualização do padrão escoamento do vento. Ambas são distintas, porém complementares (TOLEDO, 2006). Considerando essas abordagens, são encontrados diferentes métodos e ferramentas para estimar o fluxo do vento, tanto para ambientes externos como internos às edificações, sendo as

principais: (1) uso de fórmulas analíticas e semi-empíricas (modelo algébrico); (2) túnel de vento (modelo empírico); (3) medições *in loco* (modelo empírico); (4) mesa d'água (modelo analógico); e (5) simulação computacional baseado na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). Cada método possui vantagens e limitações, assim a escolha dependerá do foco e das condições do estudo (CHEN, 2009 *apud* LUKIANTCHUKI, 2015; ARAÚJO, 2011).

Segundo Araújo (2011) e Cunha (2010), o modelo algébrico é o método mais tradicional, sendo ainda bastante utilizado, devido o embasamento teórico do fenômeno físico e da pouca exigência de recursos tecnológicos para sua aplicação. Trata-se do cálculo dos valores de ventilação, que por sua vez se relaciona com as variáveis: coeficiente de descarga, a área de aberturas, velocidade do vento e o coeficiente de pressão. Este cálculo é um importante procedimento para mensurar o desempenho térmico de edificações, porém não são úteis quando se deseja visualizar a distribuição do fluxo de ar (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Para a visualização da distribuição do fluxo de ar geralmente utiliza-se de métodos empíricos, com uso de medições *in loco* e/ou em modelos em escala natural ou reduzida. Segundo Toledo (2006), no caso da predição da ventilação natural pela ação do vento, as medições *in loco* e em modelos de escala natural são processos que necessitam de muito tempo de trabalho, pela variação da ocorrência dos ventos, além da possibilidade de ter interferências ambientais indesejáveis. Dessa forma, é interessante experimentos com modelos em escala reduzida, utilizando ferramentas como o túnel de vento.

O túnel de vento é composto por uma câmara de ensaio de secção retangular, com aletas na entrada e um ventilador mecânico de pás na saída. Dentro dele são colocados os modelos reduzidos de teste, sendo possível realizar análises qualitativas, com a visualização do escoamento através de fumaça ou areia (técnica da erosão), como também análises quantitativas, utilizando equipamentos de medição da velocidade do ar, a exemplo de anemômetro e o tubo de Pitot. O túnel de vento apresenta resultados quantitativos bastante satisfatórios para o estudo da ventilação natural, porém suas desvantagens são a exigência de instalações adequadas, disponíveis apenas laboratórios de pesquisa especializados, e conhecimentos específicos para o operá-lo (TOLEDO, 2006; LUKIANTCHUKI, 2015; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

A mesa d'água é outra ferramenta encontrada em estudos da ventilação natural. Ela consiste num visualizador de escoamento da água com espuma, em que é possível estimar o comportamento do fluxo de ar através do movimento do fluido em modelos físicos reduzidos. A vantagem da ferramenta é a visualização instantânea e satisfatória dos efeitos do escoamento,

além de ser um equipamento de baixo custo de execução e manutenção, porém sua análise é apenas bidimensional e qualitativa (TOLEDO; PEREIRA, 2003; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Com o avanço da tecnologia, principalmente da capacidade computacional, foi possível o desenvolvimento dos modelos CFD. Segundo Bittencourt e Cândido (2015), com exceção dos modelos físicos, os modelos CFD são os únicos capazes de investigar alternativas projetuais e sua influência nos padrões de ventilação natural. Além do escoamento do fluido, é possível prever a transferência de calor e fenômenos relacionados, possibilitando a geração de informações detalhadas sobre a distribuição de pressão, velocidade e temperatura.

As vantagens dos modelos CFD são a redução de tempo, esforço e custo, em comparação com a produção de protótipos. Entretanto, eles possuem desvantagens como: elevada demanda de capacidade computacional; custos significativos com a licença dos programas especializados; necessidade de usuários treinados para a inserção correta dos parâmetros no *software*; e estudos mais aprofundados sobre dinâmica dos fluidos computacional (TOLEDO, 2006; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015; SILVA, 2015). Estas desvantagens limitam o uso dos modelos CFD por arquitetos.

Avaliando as vantagens e desvantagens dos recursos utilizados para predição da ventilação natural, optou-se, na presente pesquisa, pelo uso da simulação por CFD. Nesse sentido, este recurso será melhor detalhado no subitem a seguir.

2.3.3.1 Simulação computacional - CFD

A partir de 1970 a simulação computacional com foco no desempenho de edifícios começou a se desenvolver. Contudo, a maior popularização foi na década de 1990, motivada pela necessidade de conhecer melhor os fenômenos físicos, como também pelos grandes avanços computacionais. Nesse contexto, surgiram variados programas com diferentes finalidades. Dentre eles, os *softwares* CFD ganharam destaque. O uso de simulação por CFD no Brasil é relativamente recente quando comparado ao cenário internacional (MENDES; LAMBERTS; CUNHA NETO, 2001; MORAIS, 2013; SILVA, 2015).

O CFD se baseia na modelagem matemática com objetivo de prever o comportamento térmico e do escoamento dos fluidos. Segundo Anderson (1995) *apud* Cóstola (2006), o CFD faz uso de três leis da física: o princípio de conservação de massa, a segunda lei de Newton e o princípio de conservação de energia. Estas leis são agrupadas nas equações de Navier-Stokes,

descritas por Cóstola (2006) como equações diferenciais parciais, que para serem resolvidas são transformadas em relações algébricas simplificadas, usando o método de diferenças finitas:

O escoamento é composto por milhares de pequenas porções fluidas, cuja interação obedece às equações Navier-Stokes. Para resolvê-las adequadamente, seria necessário aplicá-las a cada uma destas pequenas porções fluidas, de forma a representar a continuidade encontrada no escoamento. Esta técnica é chamada DNS – Direct Numerical Simulation – e só foi aplicada a escoamentos simples, pois a capacidade computacional requerida é enorme. Uma vez que a DNS não é viável devido à capacidade dos computadores atualmente (STATHOPOULOS *apud* YANG, 2004), as equações são aplicadas a pontos dispersos no espaço. A escolha destes pontos é chamada discretização, e como produto dessa escolha é definida uma malha de pontos (ou volumes) para os quais a solução das equações será calculada (CÓSTOLA, 2006, p. 116).

Cóstola (2006) também argumenta que o processo de simplificação, com uso de malhas espaçadas, faz com que a resolução das equações não represente os efeitos da turbulência no escoamento. Para solucionar este problema foram criados vários modelos de turbulência, que estabelecem outras equações com o intuito de descrever esses efeitos. O autor ressalta também que as equações de Navier-Stokes não diferenciam o tipo de fluido, sendo igual para todos os tipos. Nesse sentido, para distinguir os diferentes escoamentos, é definido um conjunto de condições de contornos, sendo este formado pelas fronteiras sólidas (estáticas, móveis, lisas, rugosas) e o vento (direção, intensidade e turbulência).

Ao longo das últimas décadas, foram desenvolvidos diversos *softwares* de CFD. Segundo Costóla (2006), os programas CFD possuem a mesma base conceitual, se diferenciando, mais significativamente, nas características de interface. Os mais utilizados para análise de ventilação são o *Fluent*, *CFX* e *PHOENICS* (SILVA, 2015), sendo os dois últimos os mais recorrentes.

O *PHOENICS*²⁰ é um *software* produzido e atualizado desde 1981 pela empresa *CHAM* (CHAM, 2005). Um dos seus usos é direcionado à predição quantitativa de escoamento de diferentes fluidos, tanto dentro como ao redor de equipamentos, edifícios e recursos hídricos. Assim, é empregado em diferentes áreas, como a engenharia mecânica, arquitetura e ecologia (ARAÚJO, 2011; CÂNDIDO, 2006). Os trabalhos de Cândido (2006), Oliveira (2009), Sacramento (2012) e Tibúrcio (2017) fizeram uso do *PHOENICS* para investigar a influência de diferentes aspectos arquitetônicos no aproveitamento da ventilação natural em edificações.

Cândido (2006) investigou o efeito de diferentes tipologias de esquadria no comportamento do fluxo de ar em edifícios de escritório. Através da simulação computacional,

²⁰ O nome *PHOENICS* é a sigla para *Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series* (CHAM, 2005).

a autora identificou os tipos de esquadria que obtiveram melhores desempenhos no padrão de distribuição e nos valores de velocidade do vento. O estudo de Oliveira (2009) avaliou os efeitos de modificações em casas autoconstruídas no comportamento da ventilação exterior. A simulação foi utilizada para analisar o fluxo, a direção e a velocidade dos ventos em uma quadra típica com diferentes habitações. As conclusões do trabalho ressaltaram que as modificações nas residências alteraram a velocidade do fluxo de vento.

O trabalho de Sacramento (2012) teve como objetivo a avaliação da influência do tamanho das aberturas de saída no desempenho da ventilação natural em edificações residenciais multifamiliares. O programa *PHOENICS* (CHAM, 2005) auxiliou na realização de análises paramétricas dos modelos estudados, em que foi possível perceber o impacto da dimensão das aberturas de saída no potencial da ventilação natural nos ambientes internos. De forma correlata, Tibúrcio (2017) investigou a influência da configuração das aberturas no desempenho da ventilação natural em edificações residenciais multifamiliares. Foram realizadas simulações variando o dimensionamento das aberturas de entrada e saída, a porosidade das portas internas e a orientação em relação aos ângulos de incidências dos ventos. A autora chegou à conclusão que todos estes parâmetros causaram forte influência no desempenho da ventilação natural.

O programa *CFX*, produzido pela *ANSYS* (ANSYS, 2017), simula o escoamento de fluidos a partir de métodos numéricos como os elementos e os volumes finitos (CUNHA, 2010). O *software* é amplamente utilizado em pesquisas internacionais e nacionais envolvendo ventilação natural na arquitetura. No Brasil têm-se como exemplos os trabalhos de Costa (2009), Leite (2010), Andrade (2013) e Lukiantchuki (2015).

Costa (2009) estudou o aproveitamento do vento em habitação multifamiliar. A autora elaborou a modelagem computacional de um apartamento e da quadra onde o mesmo se localizava. As simulações foram úteis para análise e proposição de alterações projetuais para obtenção de melhores condições de ventilação e conforto térmico interno. Na pesquisa de Leite (2010) foi investigada a influência da modificação nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural. A partir da simulação computacional, o autor identificou os cenários que mais comprometiam e os que mais melhoravam as condições de ventilação urbana.

No estudo de Andrade (2013) foram avaliados quatro tipos de torres de vento com a função de captadores de ar. O autor utilizou como recursos os ensaios em túnel de vento e simulações computacionais para estudar as características das torres e o seu efeito na ventilação interna. Com o estudo verificou-se quais tipos e configurações de torres eram mais eficientes

em proporcionar maiores valores de velocidade do ar interno. A pesquisa também demonstrou a compatibilidade entre os dois recursos adotados, ressaltando as convergências e divergências entre os resultados encontrados.

Lukiantchuki (2015) avaliou o efeito de diferentes parâmetros projetuais e climáticos no desempenho de *sheds* captadores e extratores de ar. A autora realizou estudos paramétricos através de simulações CFD e verificou os resultados obtidos por meio de ensaios em túnel de vento. A pesquisa constatou o potencial das estratégias analisadas em otimizar o uso da ventilação natural, verificando as diferenças existentes entre os parâmetros projetuais para um *shed* extrator e para um *shed* captador. De forma semelhante ao estudo de Andrade (2013), foi possível perceber uma boa compatibilidade entre os resultados das simulações no CFX e os resultados obtidos em ensaios no túnel de vento.

Os trabalhos citados demonstraram a utilização dos *softwares PHOENICS e CFX* em diferentes estudos envolvendo a ventilação natural, sendo possível verificar que o CFD é amplamente empregado para a obtenção de dados para análises quantitativas e qualitativas. Visto que é possível ter controle dos parâmetros e variáveis do estudo. Porém ficou evidente a complexidade no uso dos programas, principalmente na inserção precisa dos dados e na sensibilidade envolvendo a configuração da malha computacional. Estes aspectos foram tratados como importantes para obtenção de resultados confiáveis.

Assim, os *softwares* baseados em CFD estão se consolidando como ferramentas importantes no estudo da ventilação natural. Contudo, mesmo diante das vantagens da técnica, a necessidade de simplificação da geometria e da inserção precisa dos dados são aspectos que devem ser considerados nas análises dos resultados obtidos.

2.4 Considerações sobre o capítulo

A revisão de literatura possibilitou o entendimento geral das temáticas, perpassando conceitos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa. Constatou-se no primeiro item do capítulo, “*Cidade Murada*”: *necessidade de muros no ambiente urbano*, a necessidade física e subjetiva do muro ao longo do desenvolvimento histórico da cidade, sendo ele, um elemento culturalmente inserido no ambiente urbano, representando o anseio por segurança, privacidade, posse e outros significados. Além disso, verificou-se a disseminação do muro nas residências de diferentes classes sociais.

O segundo item do capítulo, *Habitação de Interesse Social e o Conforto Ambiental*, abordou aspectos da atual política habitacional brasileira, principalmente sobre o PMCMV.

Observou-se que os projetos tendem a negligenciar o bem-estar do usuário, sobretudo em relação ao conforto térmico. Visto que, é comum a padronização projetual independentemente das condições climáticas locais.

Considerando esse contexto, o terceiro e último item da fundamentação teórica, *Ventilação natural no clima tropical quente e úmido*, trouxe a base conceitual sobre o fenômeno, constatando o potencial do uso dessa estratégia, principalmente pelo processo da ação do vento. Verificou-se que diversos fatores podem influenciar no aproveitamento da ventilação, desde os elementos climáticos, como também as características urbanas e específicas do edifício. Dentre estes fatores, foi observada a influência de muros e elementos similares no comportamento do fluxo dos ventos. Ficou evidente que os aspectos principais para a análise da influência desses componentes são: porosidade, dimensão, formato, posição em relação a incidência dos ventos e recuo frontal. Com foco no aspecto da porosidade, constatou-se o potencial da utilização de componentes vazados para o melhor desempenho da ventilação em ambientes internos.

Encerrando a revisão sobre ventilação, descreveu-se as principais ferramentas utilizadas para sua predição. Dentre elas, optou-se por detalhar a simulação computacional baseada em CFD, visto que é a ferramenta escolhida na presente pesquisa. Verificou-se a utilização do CFD em vários trabalhos, observando suas vantagens, limitações e *softwares* utilizados. As características deste recurso serão melhores delineadas no capítulo seguinte, que tratará da descrição das etapas metodológicas traçadas no presente estudo.

3. METODOLOGIA

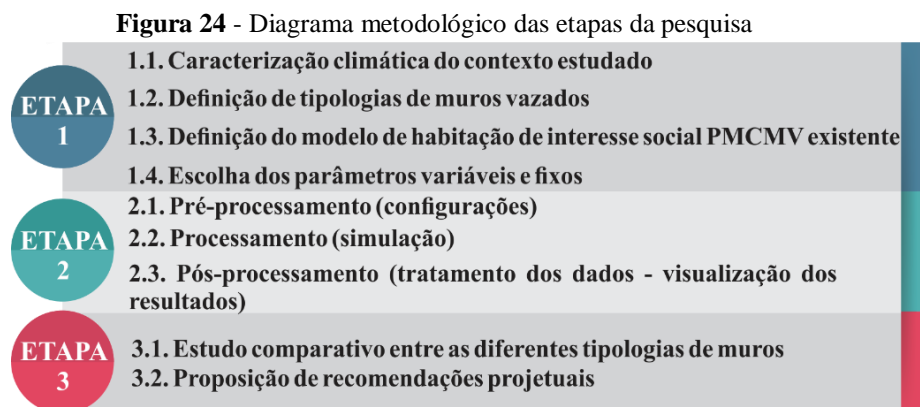
Para atingir os objetivos propostos na pesquisa, foram utilizadas análises paramétricas por meio de simulações baseadas na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). As simulações foram realizadas com o uso do *software CFX*, na versão 18.1 (ANSYS, 2017). O *software* foi escolhido pela maior disponibilidade de materiais de estudo e pela facilidade de treinamento do programa, via versão estudante, em comparação com outros programas similares.

Segundo Groat e Wang (2013), a simulação tem como principal característica a recriação de aspectos de um ambiente físico real, de forma variada, considerando o fenômeno em sua complexidade. Assim, foram realizadas simulações de modelos de muros, aplicados em um exemplar de habitação de interesse social existente e implantado dentro do PMCMV.

A pesquisa foi dividida em três etapas principais:

1. Etapa de preparação: baseada na fundamentação teórica e em pesquisas preliminares. Foi composta por quatro fases de investigação: (1.1) caracterização climática do contexto estudado; (1.2) definição de tipologias de muros vazados; (1.3) escolha do modelo de habitação PMCMV existente; e (1.4) definição dos parâmetros variáveis e fixos, para construção da matriz de referência para próxima etapa.
2. Etapa de simulação: destinada à configuração e desenvolvimento das simulações computacionais, através do *software CFX 18.1* (ANSYS, 2017). Esta etapa foi subdividida em três fases: (2.1) pré-processamento (configurações); (2.2) processamento (simulação); e (2.3) pós-processamento (tratamento dos dados).
3. Etapa de avaliação: corresponde à fase de análise e discussão dos resultados obtidos nas simulações. Foi composta por duas fases: (3.1) estudo comparativo entre as diferentes tipologias de muros; (3.2) proposição de recomendações projetuais.

As etapas e fases estão sintetizadas no diagrama metodológico a seguir (Figura 24):



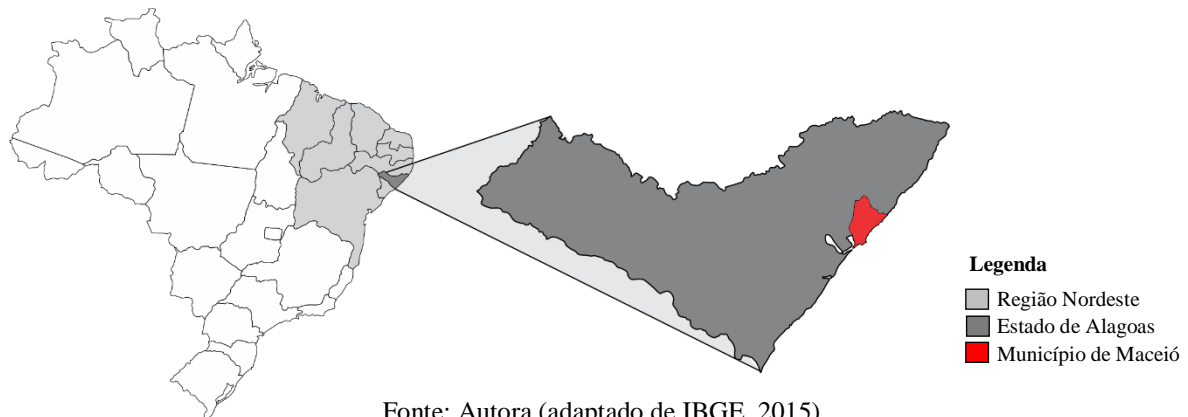
Fonte: Autora, 2017.

3.1 Etapa de Preparação

3.1.1 Caracterização climática de Maceió/AL

A cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas, se localiza na mesorregião Leste e é situada na costa litorânea da região Nordeste do Brasil, sendo a latitude $9^{\circ}40'$ ao sul do Equador e longitude $35^{\circ}42'$ ao oeste do meridiano de Greenwich (Figura 25).

Figura 25 – Mapa do Brasil com destaque na localização do Estado de Alagoas e o Município de Maceió -AL



Fonte: Autora (adaptado de IBGE, 2015).

Maceió possui um clima tropical quente e úmido, sendo caracterizada pela intensa radiação solar, pequenas variações de temperatura diárias, anuais e sazonais. Com base nas Normais Climatológicas²¹, observa-se que Maceió possui temperatura média $25,1^{\circ}\text{C}$ ao longo do ano, com amplitude térmica anual de cerca de $3,0^{\circ}\text{C}$. Como é possível verificar na Figura 26, nos meses mais quentes a temperatura absoluta pode alcançar valores acima de 38°C (BRASIL, 2018).

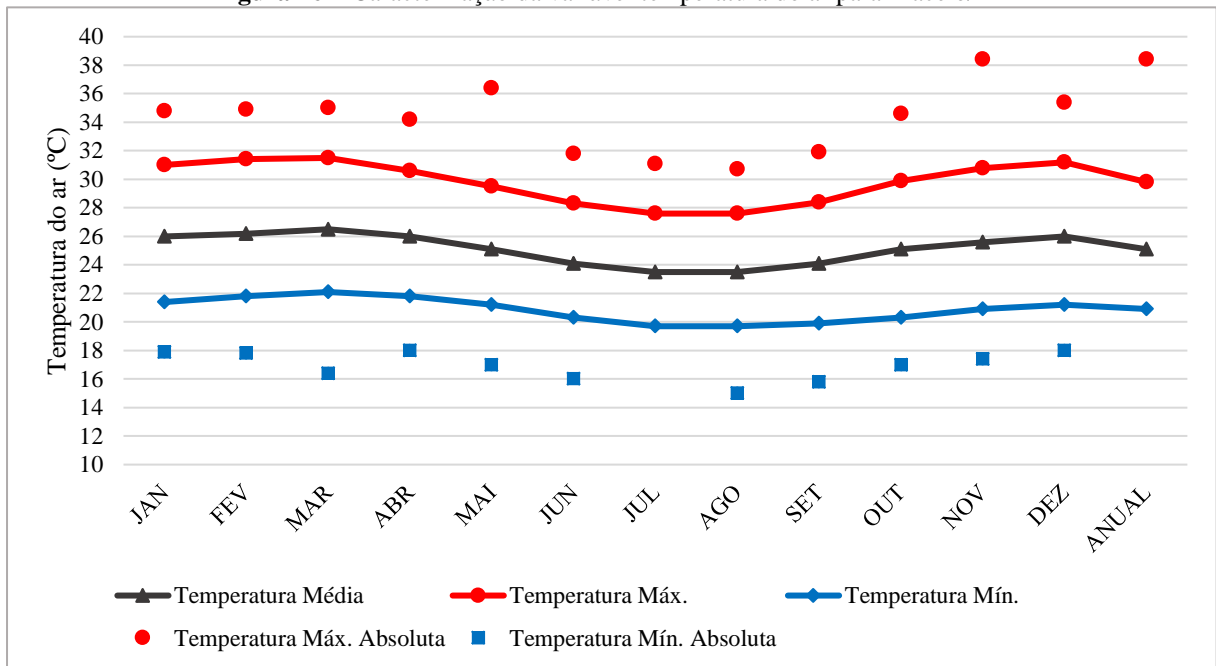
Maceió é uma cidade litorânea e, portanto, é submetida à influência de grandes massas d'água (Oceano Atlântico e Laguna Mundaú). Por este motivo, verifica-se que a cidade possui taxas de umidade relativa do ar elevadas e pouco oscilantes (Figura 27), com variação média mensal entre 73,9% (dezembro) e 82,8% (julho) e média anual de 77,8%. As baixas variações da umidade influenciam nas pequenas oscilações de temperatura do ar (BRASIL, 2018).

Maceió possui uma média pluviométrica anual de 1867,4 mm, variando significativamente quanto à distribuição de chuvas. O período de abril a julho é caracterizado por maiores índices pluviométricos, e o intervalo entre outubro a fevereiro com menores índices (BRASIL, 2018). Destacando-se nesse sentido, a existência de duas estações: uma caracterizada

²¹ As Normais Climatológicas foram organizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normal Climatológica pode ser compreendida como a média de um período de dados climáticos de trinta anos. A última série histórica lançada corresponde ao período de 1981 a 2010. Os principais parâmetros contemplados nas Normais são temperatura, pressão atmosférica ao nível da estação, insolação total, evaporação total, nebulosidade, umidade relativa, precipitação e vento (BRASIL, 2018).

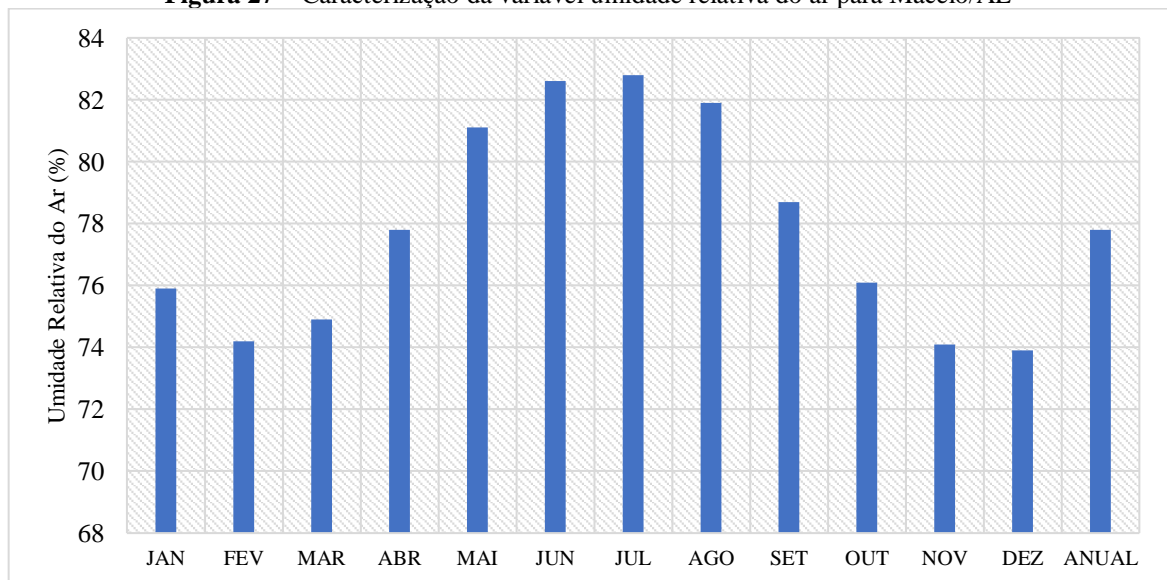
por pouca pluviosidade e altas temperaturas; e outra com alta pluviosidade, elevada umidade e temperaturas mais amenas (BRASIL, 2018).

Figura 26 – Caracterização da variável temperatura do ar para Maceió/AL



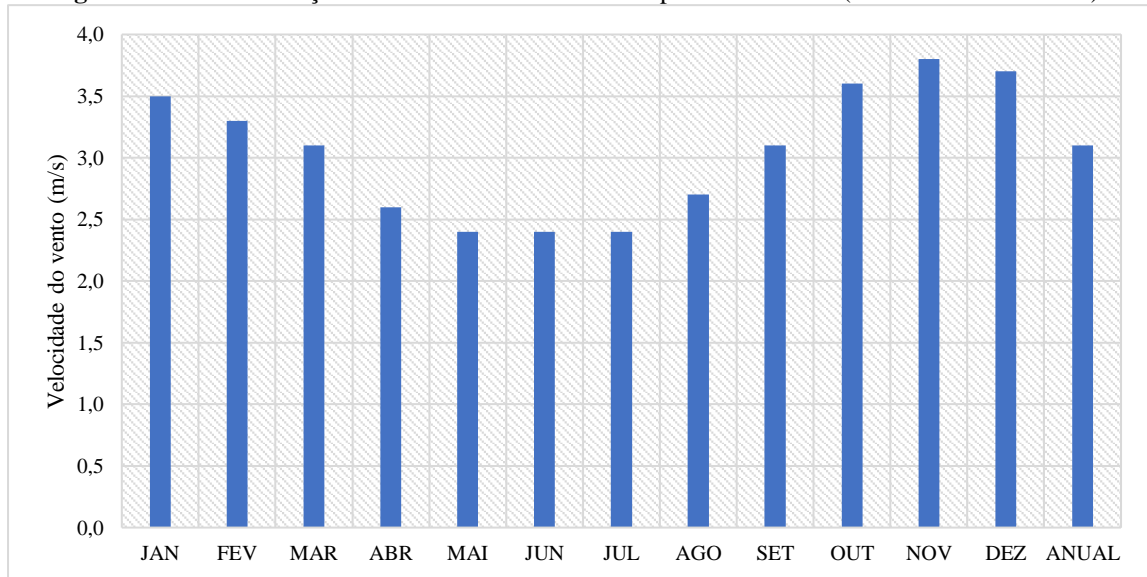
Fonte: Adaptado de Brasil, 2018.

Figura 27 – Caracterização da variável umidade relativa do ar para Maceió/AL



Fonte: Adaptado de Brasil, 2018.

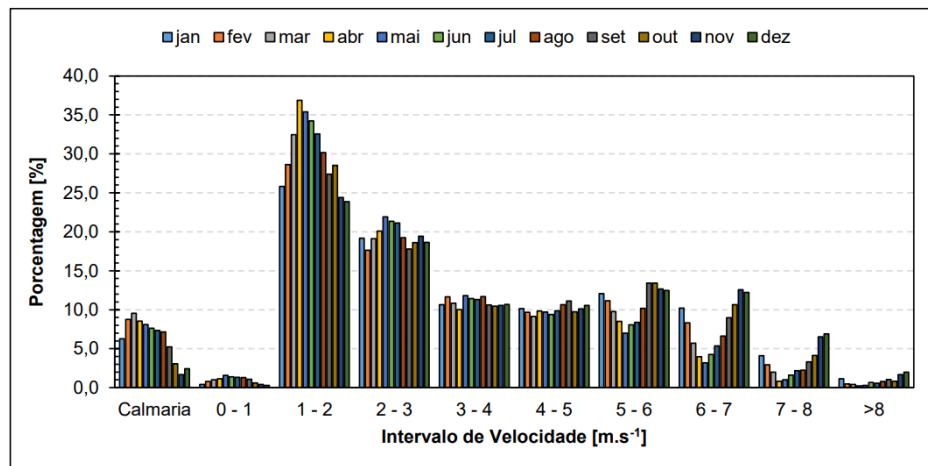
Quanto aos dados de vento, verifica-se nas Normais Climatológicas que a cidade apresenta como valor de velocidade médio mensal de 3,1 m/s, variando entre 2,40 m/s (maio, junho e junho) e 3,8 m/s (novembro), conforme ilustrado na Figura 28. A direção predominante do vento é a Sudeste (SE), sobretudo entre os meses março e novembro, seguida da direção Leste (E), que predomina entre os meses dezembro e fevereiro (BRASIL, 2018).

Figura 28 – Caracterização da variável velocidade do ar para Maceió/AL (médias mensal e anual)

Fonte: Adaptado de Brasil, 2018.

Maia (2016) elaborou um panorama geral do escoamento do vento para a cidade de Maceió - AL, para isto a autora considerou uma série de dados históricos (2003-2012)²². Com o intuito de compreender as principais características sobre a direção e velocidade dos ventos, a pesquisa constatou que em Maceió:

- O regime é governado pela circulação de grande escala dos alísios e pela circulação local das brisas marítimas e terrestres.
- Existe uma sazonalidade anual e diária do vento, com velocidades médias máximas no período seco (outubro a janeiro) e durante o dia; e menores velocidades médias no período chuvoso (abril a julho) e durante a noite. As calmarias são mais presentes no período chuvoso (Figura 29).

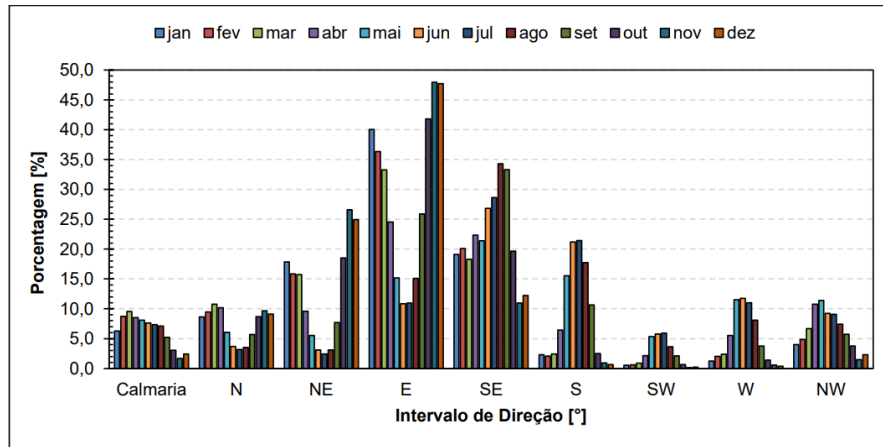
Figura 29 – Distribuição da frequência mensal da magnitude das medições de velocidade do vento (2003-2012)

Fonte: Maia, 2016.

²² Dados meteorológicos do Aeroporto Internacional de Maceió (MAIA, 2016).

- No período chuvoso, existe um predomínio dos ventos SE e E durante a tarde e durante a noite. Já no período seco ocorre uma inversão, visto que há uma predominância maior do vento E em relação ao vento SE (Figura 30, Tabelas 5 e 6 e Quadro 1).

Figura 30 – Distribuição da frequência mensal das medições de direção do vento (2003-2012)



Fonte: Maia, 2016.

Tabela 5 – Distribuição da frequência (%) do vento por setor durante o período chuvoso (abril a julho), por turnos

Setor	01-06h	07-12h	13-18h	19-00h
N	18,4	17,8	0,6	0,7
NE	40	33,4	6,2	8,6
E	24,4	26,2	59,2	68,9
SE	6,3	8,2	31,2	19,1
S	2,2	2,4	2,2	1,5
SW	1,4	1,4	0,2	0,3
W	2,2	2,8	0,2	0,2
NW	5,1	7,7	0,2	0,5

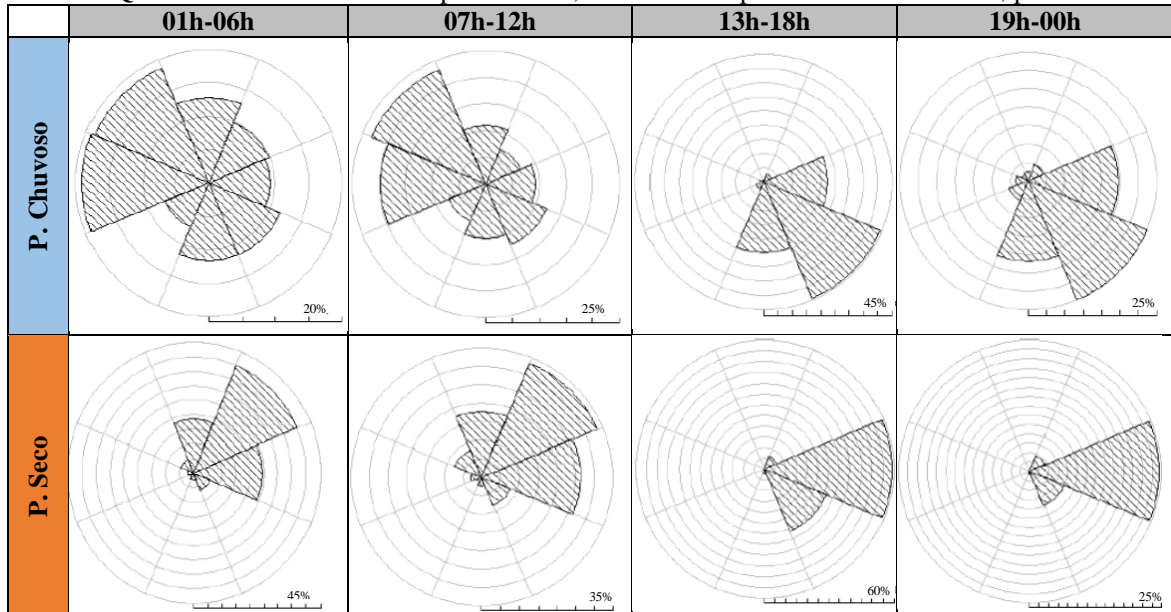
Fonte: Maia, 2016.

Tabela 6 – Distribuição da frequência (%) do vento por setor durante o período seco (outubro a janeiro), por turnos

Setor	01-06h	07-12h	13-18h	19-00h
N	18,4	17,8	0,6	0,7
NE	40	33,4	6,2	8,6
E	24,4	26,2	59,2	68,9
SE	6,3	8,2	31,2	19,1
S	2,2	2,4	2,2	1,5
SW	1,4	1,4	0,2	0,3
W	2,2	2,8	0,2	0,2
NW	5,1	7,7	0,2	0,5

Fonte: Maia, 2016.

Quadro 1 – Rosas dos ventos para Maceió, referentes aos períodos chuvoso e seco, por turno



Fonte: Adaptado de Maia, 2016.

- As maiores velocidades médias do vento são encontradas para a direção SE (4,5 m/s) e E (3,93 m/s), como é possível visualizar na Tabela 7.

Tabela 7 – Velocidades médias mensais e anuais do vento (m/s) por setor (2003-2012)

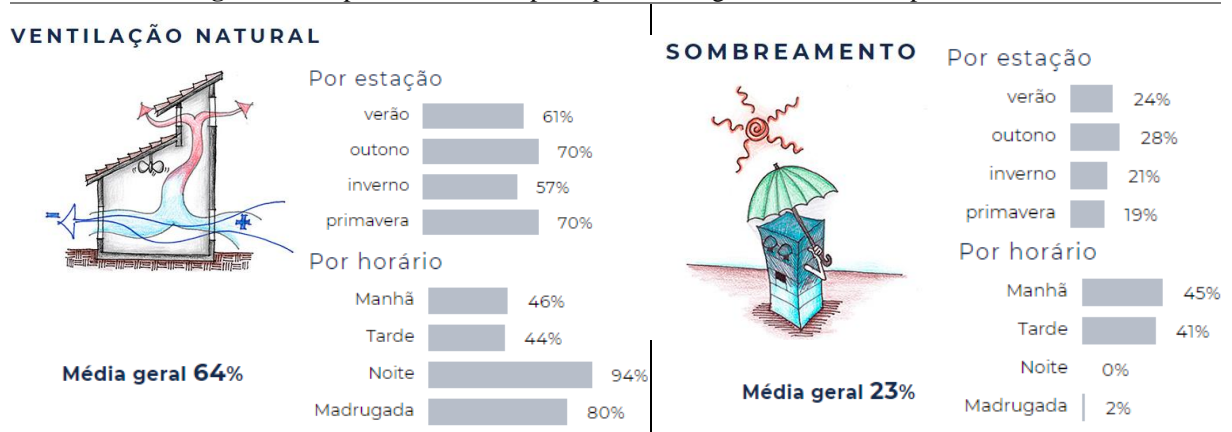
Setor	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	2003-12
N	1,63	1,63	1,57	1,59	1,57	1,42	1,39	1,47	1,57	1,65	1,69	1,67	1,61
NE	2,34	2,21	2,01	1,89	1,86	1,67	1,55	1,63	1,87	2,4	2,53	2,57	2,25
E	4,12	3,79	3,57	3,2	2,95	2,83	3	3,33	3,88	4,15	4,8	4,74	3,93
SE	5,15	4,75	4,51	4,16	3,84	4,05	4,01	4,27	4,63	5,01	5,62	5,69	4,5
S	3,04	2,51	2,46	2,71	3,29	3,28	3,37	3,23	3,6	3,23	2,9	2,53	3,22
SW	1,21	0,98	1,17	1,53	2	1,84	1,85	1,76	1,66	1,44	1,07	1,12	1,75
W	1,3	1,3	1,39	1,59	1,87	1,77	1,83	1,6	1,56	1,45	1,48	1,24	1,69
NW	1,55	1,55	1,47	1,54	1,62	1,56	1,58	1,54	1,52	1,52	1,58	1,52	1,55
Média	3,51	3,2	2,92	2,71	2,68	2,83	2,91	3,12	3,48	3,55	3,86	3,87	3,21

Fonte: Maia, 2016.

Em relação ao zoneamento bioclimático, a NBR 15220-3 define que Maceió pertence à zona bioclimática 8, cujas estratégias passivas recomendadas para o alcance do conforto térmico são: a ventilação cruzada de forma permanente, sombreamento das aberturas, paredes e coberturas leves e refletoras (ABNT, 2005).

A plataforma online *Projeteee* (BRASIL; UFSC, 2018) estabelece que dentre as estratégias bioclimáticas adequadas para o conforto térmico em Maceió, a ventilação natural possui uma aplicabilidade geral de 64% considerando a média anual e diária. Enquanto que o sombreamento das aberturas possui uma média geral de 23%, como ilustrado na Figura 31:

Figura 31 – Aplicabilidade das principais estratégias bioclimáticas para Maceió



Fonte: Brasil; UFSC, 2018.

3.1.2 Seleção e caracterização das tipologias de muros vazados

A seleção do modelo de referência e das tipologias de muros vazados levou em consideração quatro critérios principais:

- Aspectos de exemplares recorrentes nas edificações térreas residências na cidade de Maceió – AL (contexto de estudo): por meio de observação em bairros residenciais, com predomínio de edificações horizontais.
- Características de barreiras estudadas em pesquisas acerca de quebra-ventos, relatadas na fundamentação teórica (vide p. 39 - 48).

- c) Privacidade: aspecto importante para a disseminação de muros mais permeáveis.
- d) Custo e facilidade de execução: por conta da ênfase em habitações de interesse social.

O Modelo de Referência (MR) escolhido na pesquisa é o muro totalmente fechado (Quadro 2), sendo este o mais convencional quando se trata de demarcação dos limites dos lotes residenciais, além de ser, segundo a revisão de literatura (vide p. 39 - 40), o que representa a situação mais desfavorável no aproveitamento da ventilação natural.

Observando o contexto urbano da pesquisa, a cidade de Maceió/AL, verificou-se que as residências possuem variados tipos de muros vazados, com diferentes formatos e materiais, como o uso de grades, cobogós, barras e lâminas verticais de concreto, etc., como ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Exemplos de edificações residenciais localizadas em Maceió/AL com muros constituídos por diferentes elementos vazados



Fonte: Autora, 2017.

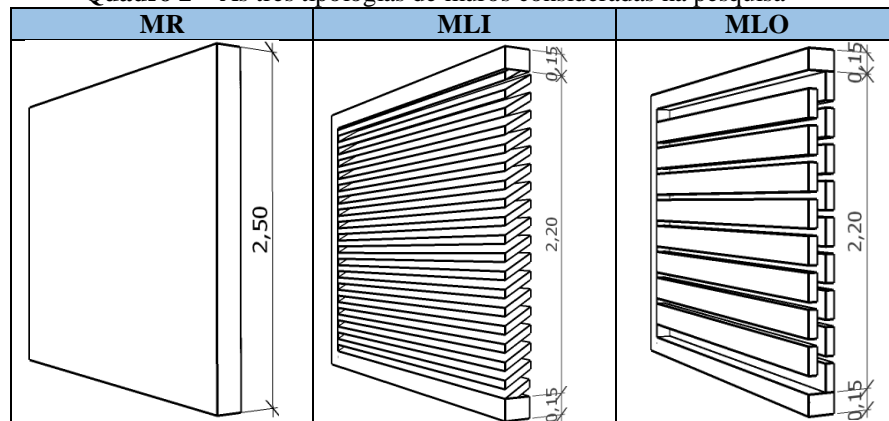
Dentro desse contexto, optou-se pelo estudo de muros constituídos de lâminas ou aletas. Estas são estudadas de forma recorrente na literatura, tanto no estudo de quebra-ventos (BOUTET *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015; HARE; KRONAUER *apud* OLIVEIRA, 2009), como de forma análoga em demais componentes arquitetônicos vazados, como exemplo os peitoris ventilados (MONTENEGRO; XAVIER; BITTENCOURT, 2012). As lâminas são

elementos que podem permitir condições favoráveis à privacidade a depender do seu arranjo e dimensões. Além disso, a fabricação das lâminas pode ter seu custo barateado pela possibilidade do uso de pré-moldados de concreto, visto que estes podem ser produzidos em série (NEOREX, 2007).

Nesse sentido, optou-se por duas tipologias de muros vazados a partir da variação das características das lâminas (Quadro 2)²³:

1. Muro com Lâminas Inclínadas (MLI): lâminas retas dispostas de forma oblíqua, semelhantemente a esquadrias do tipo veneziana. Este tipo é comumente encontrado em residências, principalmente com as lâminas na vertical, como também é encontrado na literatura o estudo de configurações semelhantes (HARE; KRONAUER, 1969 *apud* OLIVEIRA, 2009).
2. Muro com Lâminas Ortogonais (MLO): lâminas retas dispostas verticalmente e alternadamente. O intuito foi verificar se o aspecto da disposição vertical, e não oblíqua, em relação a fachada, interfere positivamente no desempenho da ventilação natural.

Quadro 2 – As três tipologias de muros consideradas na pesquisa



Fonte: Autora, 2017.

3.1.3 Habitação de interesse social - PMCMV: seleção e caracterização do exemplar

Realizou-se um estudo de alguns conjuntos habitacionais populares situados na cidade de Maceió – AL, objetivando a escolha do modelo de habitação térrea de interesse social do PMCMV. Selecionou-se o exemplar de edificação construída no Residencial Jardim Royal, localizado no bairro Cidade Universitária (Figura 33). A escolha derivou de dois aspectos principais: (1) o fato de tratar-se de um conjunto habitacional relativamente recente, entregue entre 2012 e 2014 (CAVALCANTI *et al.*, 2015); e (2) a observância de uma recorrente inserção de muros demarcando os lotes logo após a entrega das unidades habitacionais.

²³Inicialmente foram escolhidas três tipologias de muros vazados, porém em uma delas, a tipologia com lâminas curvas, não se obtiveram resultados confiáveis nas simulações computacionais. Assim, esta foi descartada na pesquisa.

O Residencial Jardim Royal foi projetado englobando 2.122 unidades habitacionais distribuídas em 5 módulos: Jardim Royal, Jardim Royal 2 – Módulo I, Jardim Royal 2 – Módulo II, Jardim Royal 2 – Módulo III e Jardim Royal 2 – Módulo IV (Figura 33). Cada lote possui 126 m² de área total, possuindo as dimensões de 7 m por 18 m. As unidades habitacionais são padronizadas, possuindo cada uma, aproximadamente, 50 m² de área construída, sendo composta de dois quartos, cozinha, sala de estar/jantar, um banheiro, terraço e área de serviço, como ilustrado Figura 34 (CONTRATO ENGENHARIA, 2012). Quanto à implantação no lote, as unidades habitacionais possuem apenas um recuo lateral (Figura 34). Essa configuração é comumente encontrada em projetos de habitação de interesse social (MARROQUIM, 2017).

Com pouco tempo de entrega das unidades habitacionais, estas já haviam sofrido modificações em relação ao projeto inicial. Uma das modificações mais notáveis foi a inserção do muro na divisa frontal do lote. A casa foi projetada para não ter muro frontal, porém em sua execução este foi inserido, possuindo pequena dimensão de altura. Esta altura foi aumentada com a apropriação dos usuários, de modo que não é possível a visualização da edificação na maioria dos exemplares. Os muros construídos pelos moradores são geralmente sem aberturas, ou seja, totalmente fechados. Na linha do tempo, ilustrada na Figura 35, é possível compreender um pouco do processo de modificação do residencial desde a proposta projetual.

Figura 33 – Mapa do Município de Maceió com destaque para localização do bairro Cidade Universitária e o Residencial Jardim Royal e seus respectivos módulos



Fonte: adaptado de IBGE, 2015 e Google Earth, 2016

Figura 34 – Planta baixa ilustrativa do projeto da unidade habitacional do Residencial Jardim Royal



Fonte: Contrato Engenharia, 2012.

Figura 35 – Linha do tempo ilustrativa do Residencial Jardim Royal



Fonte: Contrato Engenharia, 2012; Google Earth, 2012; Autora, 2017.

3.1.4 Escolha dos parâmetros fixos e variáveis

A partir da escolha das tipologias de muros e do modelo de habitação de interesse social, foram selecionados os parâmetros variáveis no intuito de verificar a influência deles sobre o desempenho dos muros vazados. Com o estabelecimento dos parâmetros variáveis, definiu-se os valores dos parâmetros fixos, gerando uma matriz de referência com todos as simulações possíveis (APÊNDICE A). Essas definições levaram em consideração alguns aspectos vistos na revisão de literatura, como: porosidade, dimensão, formato e posição em relação a incidência dos ventos.

Além das características projetuais do modelo de edificação escolhido, foram estabelecidos como parâmetros fixos:

1. Recuo frontal da edificação = 5,45 m: tomando como base o exemplar de habitação estudado (Figura 36).
2. Altura do muro = 2,50 m: valor médio estimado das alturas encontradas na área de estudo (Residencial Jardim Royal).

3. Espessura do muro = 20 cm: a espessura dos elementos vazados comercializados, do tipo pré-moldados de concreto, varia significativamente a depender da tipologia, foram encontrados desde 6 cm até 21 cm (NEOREX, 2007). Optou-se por uma espessura maior, de 20 cm, para facilitar o processo de modelagem das simulações, em que detalhes menores tendem a resultar em inconsistências e/ou maior tempo de simulação.
4. Localização da área destinada ao componente vazado no muro = componente centralizado em relação ao plano vertical; e no lado esquerdo em relação ao plano horizontal, sendo o portão localizado mais para a direita. Essa configuração foi formulada em observância de exemplares existentes na área de estudo, sobretudo em relação a posição do portão (Figura 36).
5. Inclinação das lâminas = 30°. Para a tipologia com lâminas inclinadas (MLI) foi fixado o ângulo de inclinação. Para determinação do valor foram realizadas simulações preliminares comparando os ângulos de 30° e 45°. Verificou-se que o ângulo de 30°, apresentou menor resistência a passagem do vento e, como consequência, menores perdas de energia cinética, possibilitando melhor distribuição do escoamento. Esse comportamento já era esperado, visto que a inclinação de 30° é a mais próxima da posição horizontal, facilitando a passagem do vento.
6. Velocidade do vento = 3 m/s. O valor foi escolhido tomando como base a análise das velocidades médias mensais e anuais do vento para a cidade de Maceió, realizada anteriormente (BRASIL, 2018; MAIA, 2016). O valor é referente aos dados da estação meteorológica, medidos à uma altura padrão de 10 m, sendo necessário a correção dessa velocidade para o valor correspondente à altura de referência das aberturas da edificação estudada. Utilizando a equação a seguir (Eq. 01)²⁴, foi obtido o valor de 1,18 m/s.

$$V/V_m = k \cdot z^a \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

V = Velocidade do vento para a altura da abertura (m/s)

V_m = Velocidade média do vento medida na estação meteorológica (m/s) medida a 10 m de altura. Valor utilizado: 3 m/s.

z = Altura da abertura (m). Valor utilizado: 1,60 m (referente à edificação estudada).

k, a = Coeficientes de rugosidade do terreno. Valores utilizados: $k = 0,35$, $a = 0,25$ (referentes às características do entorno onde se encontra o modelo de edificação estudado, que no caso seria: área urbana – subúrbio, vide p. 36)

²⁴ *Building Research Establishment* – BRE (1978) *apud* Bittencourt e Cândido (2015).

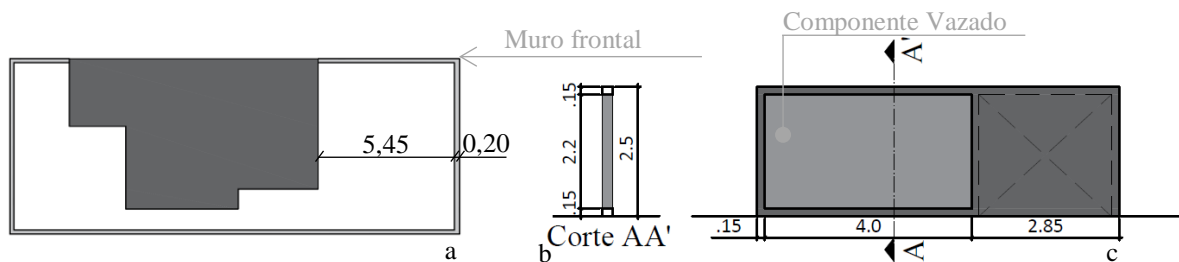
Os parâmetros fixos são sintetizados no Quadro 3 e ilustrados na Figura 36:

Quadro 3 - Parâmetros fixos escolhidos para as simulações

Parâmetro		Valores fixos
1	Recuo para construção (Referente ao modelo HIS escolhido)	5,45 m
2	Altura do Muro	2,50 m
3	Espessura do muro	20 cm
4	Localização da área destinada ao componente	Central (plano vertical) e Esquerda (plano horizontal)
5	Inclinação da lâmina	30°
6	Velocidade do vento	3 m/s

Fonte: adaptado de Contrato Engenharia, 2012; Autora, 2017.

Figura 36 - Ilustrações esquemáticas demonstrando os parâmetros fixos definidos: (a) planta baixa de locação; (b) corte do muro; (c) vista muro frontal



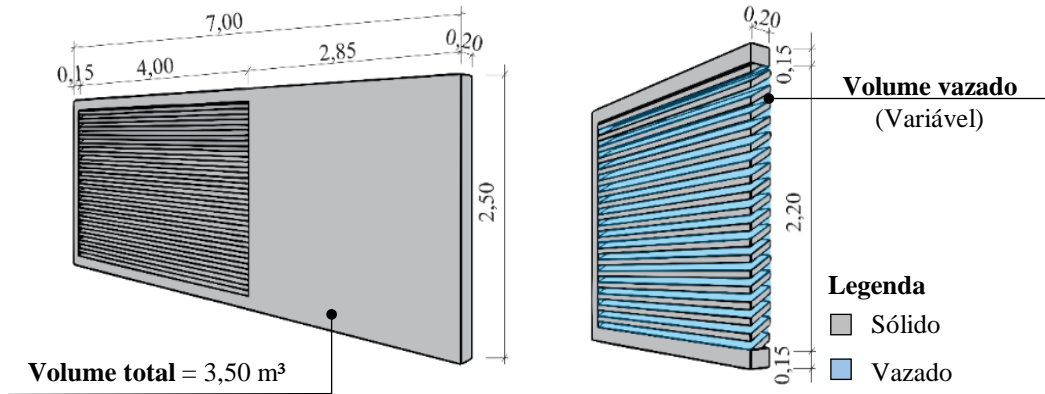
Fonte: adaptado de Contrato Engenharia, 2012; Autora, 2017

Foram definidos quatro parâmetros variáveis, sendo eles: (1) posição da lâmina; (2) direção da lâmina; (3) porosidade do muro; e (4) ângulo de incidência dos ventos. Estes serão descritos e ilustrados a seguir (Quadro 4):

1. Posição da lâmina – duas variações: horizontal e vertical. Constatou-se que exemplares de muros vazados com lâminas na posição vertical são mais recorrentes nas edificações. Assim, decidiu-se considerar esse posicionamento, como também simular a posição horizontal, visto que esta, potencialmente, poderá proporcionar melhores condições de privacidade ao ser comparada com a posição vertical.
2. Direção da lâmina – quatro variações: para cima, para baixo (posição horizontal) e para esquerda e para direita (posição vertical). Considerando o parâmetro anterior, variou-se as lâminas em quatro direções, com intuito de investigar os diferentes padrões de escoamento e os seus respectivos impactos para o desempenho do muro. Esse parâmetro é aplicado para a tipologia com Lâminas Inclínadas (MLI), visto que a configuração da tipologia com Lâminas Ortogonais (MLO) não permite a variação.
3. Porosidade do muro frontal – duas variações: 25% e 35%. Este parâmetro foi escolhido por ter sido um dos aspectos identificado na revisão de literatura como relevante para investigação de muros. Realizaram-se variações nas dimensões da lâmina para determinação das porcentagens. No cálculo da porosidade foi considerado o valor do volume vazado em relação ao volume total do muro, como ilustrado na Figura 37.

Considerando apenas os volumes do componente vazado as variações de porosidade foram de aproximadamente 52% e 73% respectivamente.

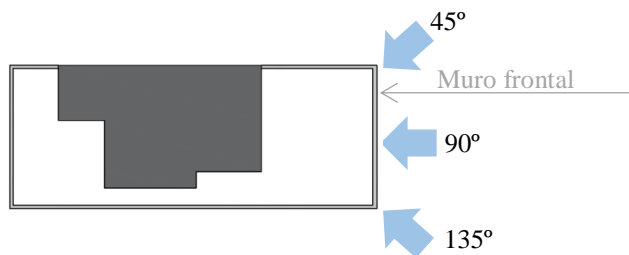
Figura 37 – Ilustração dos volumes considerados no cálculo da porosidade



Fonte: Autora, 2018

4. Ângulo de incidência dos ventos externos em relação ao muro – três variações: 90°, 45° e 135°. O objetivo foi avaliar o desempenho do muro com os ventos incidindo perpendicularmente e obliquamente às configurações estudadas (Figura 38).

Figura 38 - Planta baixa de locação esquemática demonstrando os ângulos de incidência dos ventos analisados

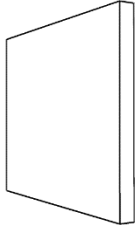
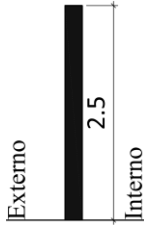


Fonte: Autora, 2018 (adaptado de Contrato Engenharia, 2012).

Considerando a aplicação dos parâmetros variáveis nas três tipologias analisadas, foi elaborada a matriz de referência com um total de 39 casos. Esta matriz é ilustrada no Quadro 4 e detalhada no Apêndice A.

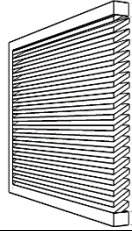
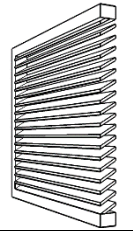
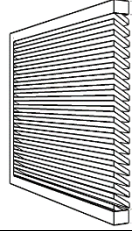
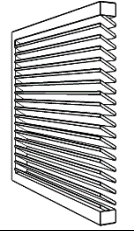
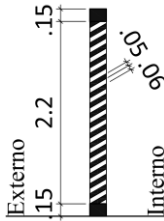
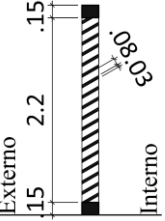
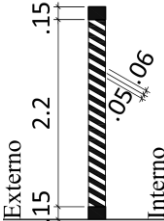
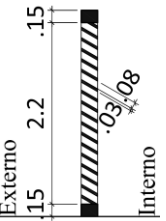
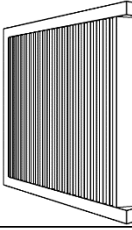
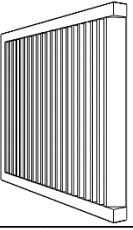
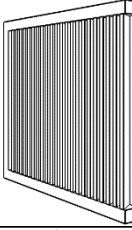
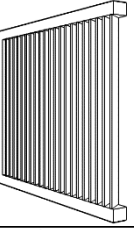
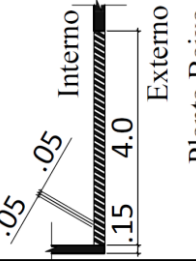
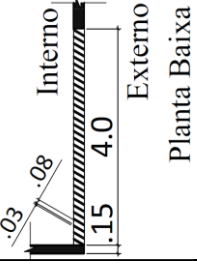
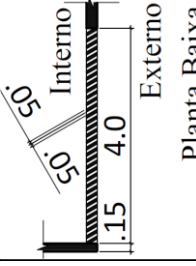
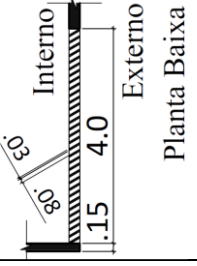
Quadro 4 - Síntese dos casos analisados nas simulações

(continua)

TIPOLOGIA		Casos (variações)			
Modelo de Referência (MR)	Ilustração	Corte em Perspectiva		Corte	
	Variável climática	Incidência do vento: 90°, 45° e 135°		Total de casos	3 casos simulados

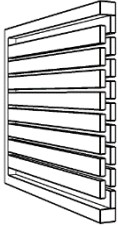
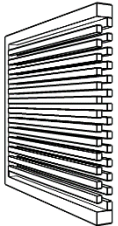
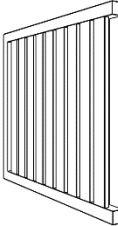
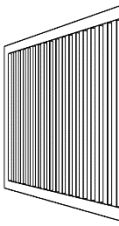
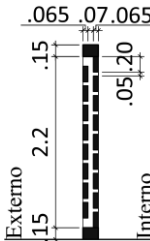
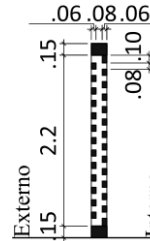
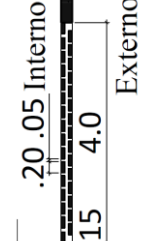
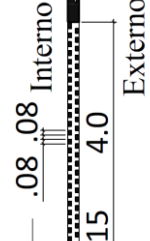
Quadro 4 - Síntese dos casos analisados nas simulações

(continuação)

TIPOLOGIA		Casos (variações)				
Muro com Lâminas Inclinadas (MLI)	Ilustração	Corte em Perspectiva				
		Corte				
	Variável geométrica	Posição: horizontal	Posição: horizontal	Posição: horizontal	Posição: horizontal	
		Direção: p/ cima	Direção: p/ cima	Direção: p/ Baixo	Direção: p/ Baixo	
		Porosidade: 25% Espessura da Lâmina (P) = 5 cm	Porosidade: 35% Espessura da Lâmina (P) = 3 cm	Porosidade: 25% Espessura da Lâmina (P) = 5 cm	Porosidade: 35% Espessura da Lâmina (P) = 3 cm	
	Sigla	MLIHC25	MLIHC35	MLIHB25	MLIHB35	
	Ilustração	Corte em Perspectiva				
		Planta baixa				
	Variável geométrica	Posição: vertical	Posição: vertical	Posição: vertical	Posição: vertical	
		Direção: p/ direita	Direção: p/ direita	Direção: p/ esquerda	Direção: p/ esquerda	
Porosidade: 25% Espessura da Lâmina (P) = 5 cm		Porosidade: 35% Espessura da Lâmina (P) = 3 cm	Porosidade: 25% Espessura da Lâmina (P) = 5 cm	Porosidade: 35% Espessura da Lâmina (P) = 3 cm		
Sigla	MLIVD25	MLIVD35	MLIVE25	MLIVE35		
Variável climática	Incidência do vento: 90°, 45° e 135°		Total de casos	24 casos simulados		

Quadro 4 - Síntese dos casos analisados nas simulações

(conclusão)

TIPOLOGIA		Casos (variações)				
Muro com Lâminas Ortogonais (MLO)	Ilustração	Corte em Perspectiva				
		Corte/ Planta baixa				
	Variável geométrica	Posição: horizontal	Posição: horizontal	Posição: vertical	Posição: vertical	
		Porosidade: 25% Lâmina (A x P)= 20 x 6,5 cm	Porosidade: 35% Lâmina (A x P)= 10 x 6 cm	Porosidade: 25% Lâmina (A x P)= 20 x 6,5 cm	Porosidade: 35% Lâmina (A x P)= 10 x 6 cm	
	Sigla	MLOH25	MLOH35	MLOV25	MLOV35	
Variável climática	Incidência do vento: 90°, 45° e 135°		Total de casos	12 casos simulados		

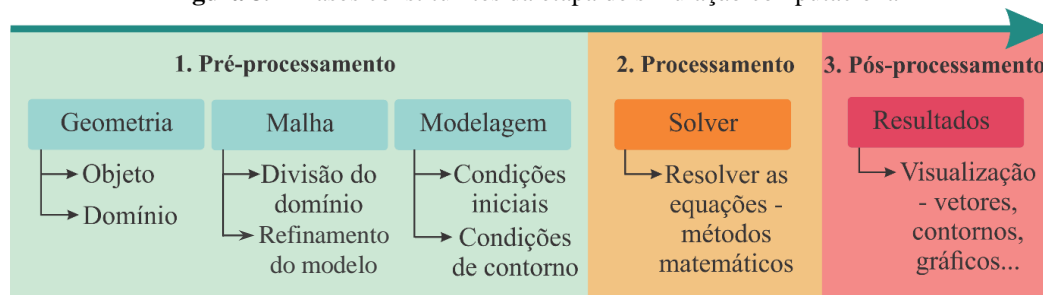
Fonte: Autora, 2018.

3.2 Etapa de Simulação

As simulações computacionais foram realizadas utilizando o *software Ansys CFX 18.1* (ANSYS, 2017). O programa apresentou resultados coerentes e um bom nível de confiabilidade nos estudos envolvendo ventilação natural (LUKIANTCHUKI, 2015; CÓSTOLA, 2006).

A etapa de simulação foi dividida em três fases principais: (1) Pré-processamento; (2) Processamento; e (3) Pós-processamento. Cada fase possui definições específicas, sintetizadas na Figura 39, estas serão detalhadas nos tópicos a seguir.

Figura 39 - Fases constituintes da etapa de simulação computacional



Fonte: Autora, 2017.

3.2.1 Pré-processamento - configurações

- Geometria:

A geometria dos modelos foi construída no *software AutoCad* (AUTODESK, 2015) e posteriormente foi editada na ferramenta *SpaceClaim* do ANSYS (ANSYS, 2017). A geometria

foi elaborada ponderando o que era essencial para a análise, visto que o maior nível de detalhamento ocasiona a demanda por uma malha mais refinada, resultando em um maior tempo de simulação. Por este motivo foi estabelecido como prioridade o detalhamento do componente vazado do muro (Figura 40).

Nesse sentido, optou-se por modelar a edificação desconsiderando as paredes e demais elementos internos. Considerou-se apenas a envoltória: paredes externas e as aberturas para ventilação (Figura 40). Foram consideradas como aberturas para ventilação as janelas das fachadas frontal (sala e quarto 1) e posterior (quarto 2)²⁵ (Figura 34, vide p. 66). Estas aberturas foram dimensionadas seguindo o estabelecido na tabela de desconto das esquadrias do RTQ-R (ELETROBRAS; PROCEL, 2014). Para a tipologia de janela existente na edificação, janela de correr (2 folhas), o regulamento determina uma porcentagem de 45% de abertura para ventilação natural.

Os modelos analisados não foram simulados de forma isolada, optou-se por colocar em suas laterais (direita e esquerda) réplicas simplificadas da edificação. O intuito foi simular considerando o escoamento do fluxo em condições mais próximas da realidade (Figura 40).

Posteriormente à construção da geometria foram definidas as configurações do domínio. O domínio é o volume do espaço onde o modelo será inserido, ou seja, nele são estabelecidos os limites da simulação. As dimensões e o formato escolhidos para o domínio devem possibilitar o escoamento do fluxo, evitando que suas fronteiras influenciem nos resultados (Figura 40).

Optou-se pelo domínio retangular (paralelepípedo), visto que este formato possibilita uma quantidade menor de elementos de malha, otimizando o processamento das simulações (LUKIANCHUKI, 2015). A maioria dos trabalhos que utilizaram o CFD, com a utilização do *software CFX*, definiram as dimensões do domínio baseadas nas recomendações de COST C14²⁶ e de Alan Harries²⁷ (CÓSTOLA, 2006; LUKIANCHUKI, 2015; ANDRADE, 2013; LEITE, 2010). Em síntese, eles utilizaram como parâmetro de referência a altura do edifício (H), que no caso específico da pesquisa é igual 4,60 m. Nesse sentido, foram definidas as seguintes dimensões:

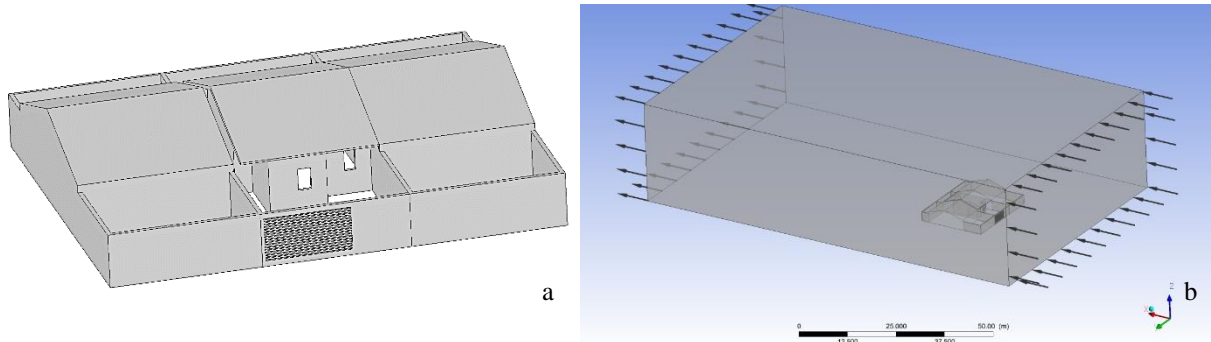
²⁵ O RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade de Edificações Residenciais) determina que: “Portas de acesso principal e de serviço não serão consideradas como aberturas para ventilação” (ELETROBRÁS; PROCEL, 2014, p. 27-28). Assim, estas aberturas foram desconsideradas na geometria da edificação. Além das portas, as janelas do banheiro e da cozinha foram retiradas, pois a tipologia existente (janela alta tipo “boca-de-lobo”) não permitia uma ventilação efetiva.

²⁶ *European Cooperation in Science & Technology (COST) - Cost Action 14: recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment* (COST, 2004 *apud* CÓSTOLA, 2006).

²⁷ *Workshop: CFX – FAU-USP* (HARRIES, 2005 *apud* LUKIANCHUKI, 2015; CÓSTOLA, 2006).

- A distância da entrada (barlavento) e laterais para qualquer obstáculo = $5H$ (caso específico = 23 m);
- A distância da saída (sotavento) para qualquer obstáculo = $15H^{28}$ (caso específico = 69 m);
- Altura do domínio = $6H$ (caso específico = 27,6 m).

Figura 40 - Modelos de análise: (a) geometria da edificação; (b) domínio



Fonte: Autora, 2018.

A porcentagem da área referente à obstrução da edificação no domínio foi de 2,72% no sentido do fluxo e de 2,20% no sentido perpendicular ao fluxo, valores que estão dentro dos 3% estipulado por COST (2004) *apud* Cóstola (2006). Esta recomendação é relevante para que não ocorra o efeito de blocagem, no qual as fronteiras do domínio influenciariam no escoamento.

- Malha:

Segundo Cóstola (2006), a etapa de definição da malha é de extrema importância para o sucesso da simulação, sendo a quantidade de elementos que a constitui o que define a demanda computacional requerida e, conseqüentemente, o tempo de simulação. Os elementos da malha podem assumir o formato de tetraedros, pirâmides, prismas e hexaedros. Quanto à distribuição dos elementos, a malha pode ser do tipo estruturada (distribuição regular) ou não estruturada.

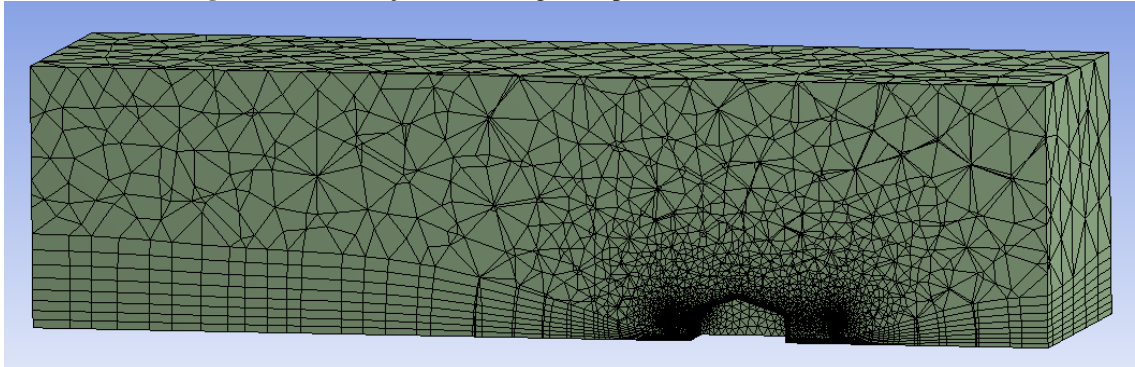
Optou-se por uma malha tetraédrica levando em consideração a capacidade de processamento computacional disponível. Nas áreas do modelo que tinham maior importância na pesquisa, como os elementos vazados, foi necessário refinar a malha. O refinamento tem a finalidade de verificar detalhadamente e de forma mais precisa o fluxo de vento em áreas de interesse (Figura 41).

Foram estabelecidos parâmetros globais e valores de refinamento para os elementos de malha. A partir dessas configurações, a malha foi gerada automaticamente pela ferramenta *Ansys Meshing*. Para definição desses parâmetros, foram realizados vários testes de

²⁸ A distância maior a sotavento deriva da necessidade de permitir que o fluxo possa retomar o seu perfil original (ANDRADE, 2013).

convergência da malha, para garantir que os resultados obtidos na simulação fossem coerentes e fornecessem informações confiáveis.

Figura 41 – Ilustração da malha gerada para os modelos analisados



Fonte: Autora, 2018

- Modelagem das condições iniciais e de contorno:

Após as definições do modelo e da malha, foram inseridos parâmetros gerais da simulação e configurações específicas para cada componente do modelo. Assim, foram determinadas características do fluido estudado: expressões, variáveis, unidades de grandeza e regime adotado para a simulação, como também as características de cada face do modelo. Estas definições foram descritas no Apêndice B.

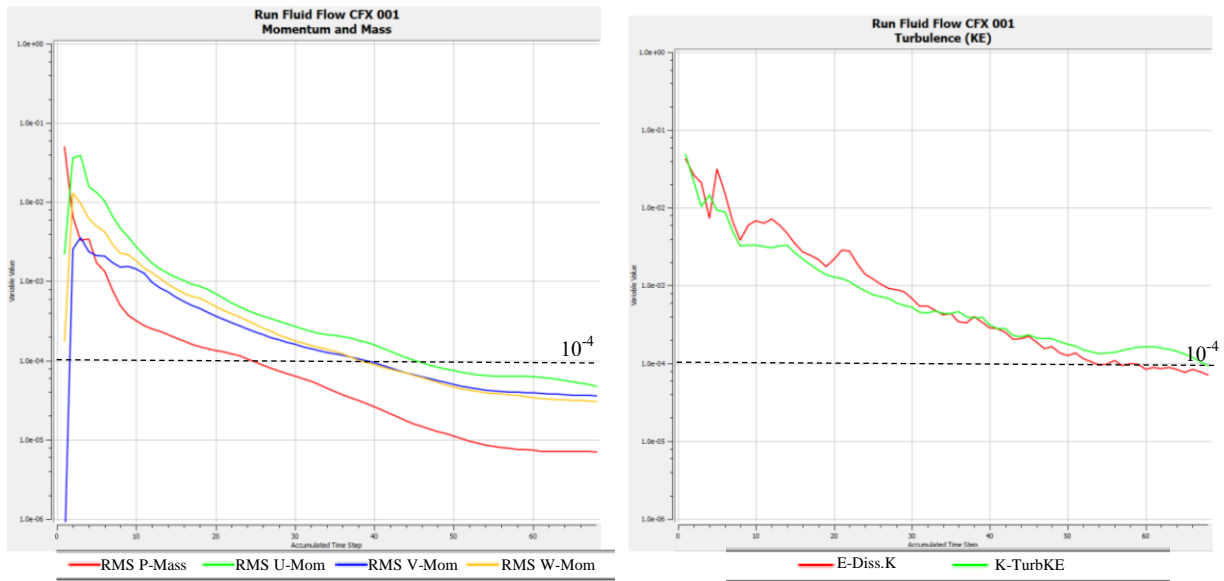
Dentre as configurações, um aspecto importante é a definição do modelo de turbulência. A maioria dos trabalhos similares utilizaram o modelo $k-\epsilon$ (k -Épsilon), visto que este possui melhor relação custo-benefício entre o tempo de processamento e a precisão (LUKIANCHUKI, 2015; ANDRADE, 2013).

Para o controle da solução matemática foi estabelecido como critério de convergência o RMS (*Root Mean Square*) com valor de 10^{-4} . Este valor foi escolhido baseando-se nas recomendações de COST (2004) *apud* Costóla (2006). Valores acima dessa marca indicam que os resultados não são suficientemente confiáveis e fornecem apenas uma noção superficial do escoamento (CFX, 2003 *apud* COSTÓLA, 2006). Desta forma, no momento que a simulação foi iniciada, observou-se a evolução do critério de convergência adotado para variáveis de: massa (RMS P-Mass), momento (RMS U-Mom, RMS V-Mom e RMS W-Mom), energia e turbulência (E-Diss.K e K-TurbKE). Na Figura 42 é possível observar a convergência dos resíduos para todas as variáveis em questão para um dos modelos analisados, mas todos os demais modelos obtiveram resultados similares.

Além dessa análise, foi feito o monitoramento do comportamento das variáveis de interesse ao longo da solução. No caso de um regime permanente, as variáveis, como a velocidade média na saída, deveriam permanecer constantes a partir do momento que a solução

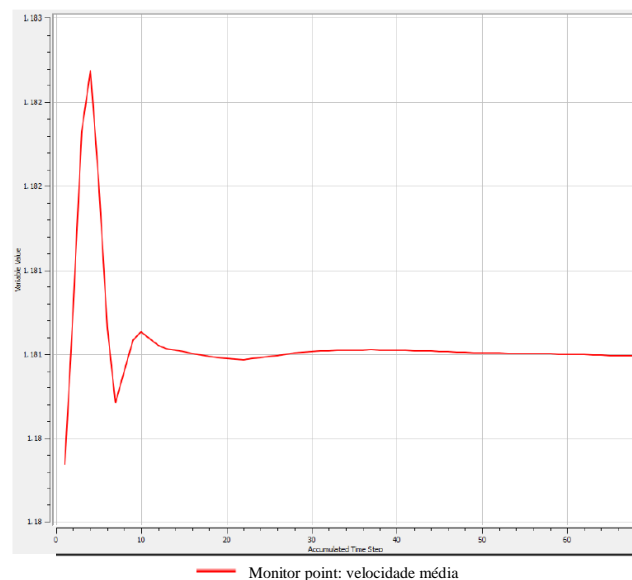
é alcançada. Desta forma, a Figura 43 apresenta o comportamento do monitor de velocidade média na saída do domínio fluido. Como pode ser observado, a solução do problema foi realmente alcançada, visto que o monitor atingiu um valor constante.

Figura 42 – Evolução do critério de convergência da malha para um dos modelos analisados



Fonte: Autora, 2018.

Figura 43 – Monitor de velocidade média na saída do domínio para um dos modelos analisados



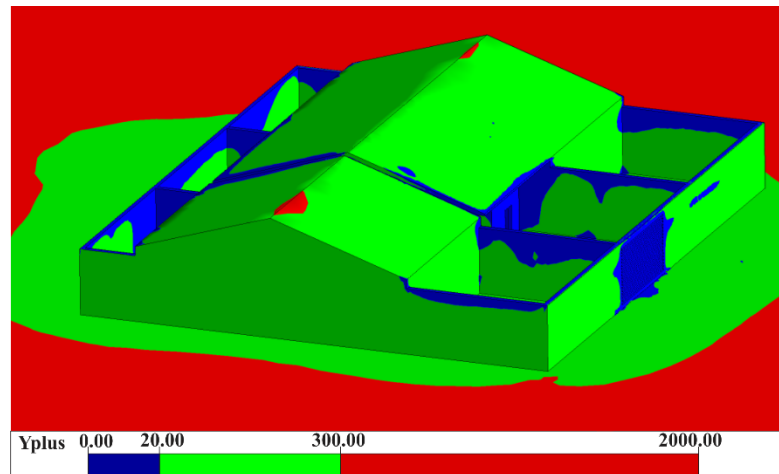
Fonte: Autora, 2018.

Além do critério de convergência, a malha foi avaliada segundo os resultados obtidos para o y^+ (Yplus). O y^+ é um número adimensional que está relacionado com o tamanho da primeira célula do domínio fluido próxima à parede (camada limite). Ele fornece um valor quantitativo para a qualidade da malha em relação a sua capacidade de capturar bem o fenômeno do escoamento próximo as superfícies do modelo. Para que haja uma correta captura deste fenômeno é indicado que sejam geradas camadas de prismas adjacentes às condições de

contorno de parede, e que o valor de y^+ esteja adequado com o modelo de turbulência escolhido. Com base nas recomendações de Cóstola (2006) e Leite e Frota (2013)²⁹, procurou-se gerar valores de y^+ entre 20 (mínimo) e 300 (máximo). O valor de y^+ é um parâmetro relevante, contudo, ressalta-se que este é um dado de saída da simulação, não podendo ser fixado a priori, ou seja, será avaliado junto com os resultados das simulações (CÓSTOLA; ALUCCI, 2011).

A Figura 44 demonstra o comportamento do y^+ em um dos modelos analisados, mas todos os demais modelos obtiveram resultados similares. É possível observar que algumas regiões da geometria não obtiveram valores dentro do intervalo recomendado. Algumas áreas do espaço interno da edificação e do componente vazado alcançaram valores de y^+ menores que 20. Os resultados apresentaram ainda regiões com y^+ com valores acima de 300, no entanto, essas áreas estão fora da região da edificação analisada (central).

Figura 44 – Ilustração demonstrando os resultados obtidos para o y^+ para um dos modelos analisados



Fonte: Autora, 2018.

Associa-se o y^+ inferior a 20 no espaço interno da edificação aos baixos valores de velocidade do vento obtidos nesta região, como será visto nos resultados das simulações. O que caracterizaria o predomínio de um fluxo de vento com escoamento laminar, para qual são esperados baixos valores de y^+ ($y^+ < 5$) (ALMEIDA, 2013).

Em relação a região vazada do muro, a dificuldade de alcance dos valores consiste em se aumentar a espessura da primeira camada de prisma para obter um melhor resultado de y^+ , em oposição a tendência de diminuir os elementos de malha para representar melhor as pequenas dimensões da geometria do componente vazado. Problemas semelhantes também foram encontrados nos trabalhos de Leite e Frota (2013) e Lukiantchuki (2015). Com base nestas pesquisas, decidiu-se priorizar o nível de convergência ($RMS 10^{-4}$) e a definição da

²⁹ Cóstola (2006) determina o valor de y^+ entre 20 e 100. Contudo, Leite e Frota (2013) sugerem um valor mínimo de 30 e máximo de 300, com aceitação de níveis até 1000.

malha com valores satisfatórios de qualidade. Estes foram escolhidos a partir dos vários testes realizados.

Ressalta-se que melhores resultados de y^+ poderiam ser encontrados com uso de outros modelos de turbulência, visto que o modelo K- ϵ (k-Épsilon) possui limitações com relação a representação do fenômeno na região próxima à parede (LEITE; FROTA, 2013). Nesse sentido, foram realizados alguns testes com o modelo Shear Stress Transport (SST), que segundo Leite e Frota (2013, p. 8): “foi desenvolvido para misturar de forma eficaz a formulação robusta e precisa do modelo K- ω [k-omega] na região próxima à parede com as características de representação do modelo K- ϵ [k-Épsilon] no restante do fluxo”. Contudo, os testes com o modelo SST demonstraram que além da necessidade de refinamento maior da malha, não foram alcançados os níveis de convergência dos resíduos. Nesse sentido, priorizou-se o uso do modelo de turbulência K- ϵ (k-Épsilon).

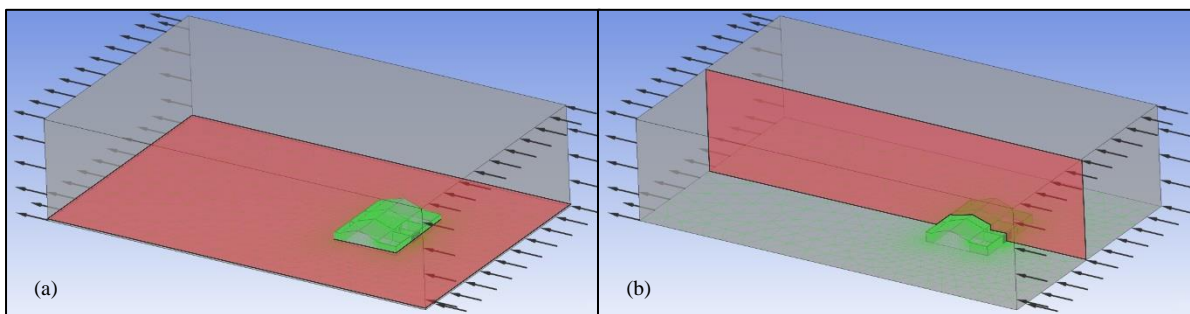
3.2.2 Processamento – *solver*

Na etapa do processamento foram aplicados os parâmetros estabelecidos na fase anterior. Esta etapa representa o momento que ocorreu de fato a simulação. O processo foi acompanhado através da evolução do critério de convergência adotado.

3.2.3 Pós-processamento – tratamento dos resultados

Com a conclusão da simulação, foi possível obter diferentes informações qualitativas e quantitativas do escoamento. Foram gerados e extraídos vetores, contornos e dados de velocidades e coeficientes de pressão (Cps). Para visualização dos resultados qualitativos, foram determinados dois planos de corte, um horizontal (altura = 0,85 m) e um vertical longitudinal (no sentido do fluxo). Este plano foi posicionado de forma que seccionasse o componente vazado (Figura 45).

Figura 45 – Planos de corte horizontal (a) e vertical (b) elaborados na etapa de visualização dos resultados

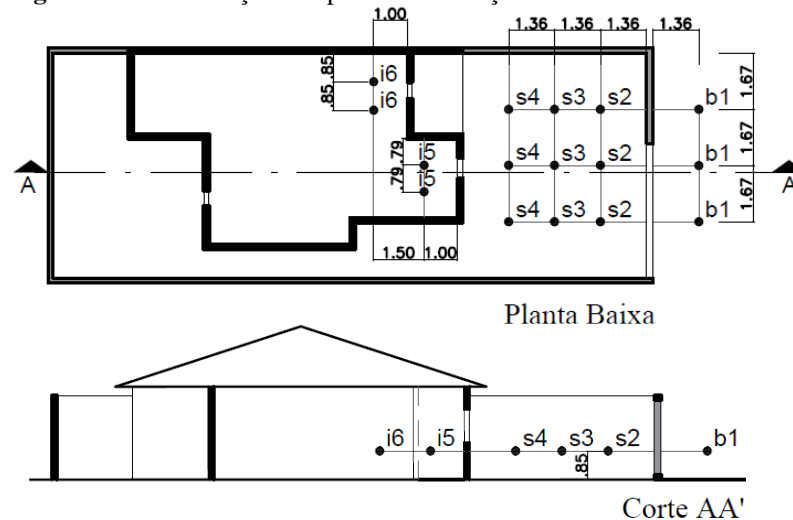


Fonte: Autora, 2018.

Para a análise quantitativa foram distribuídos pontos de medição no modelo, com eles foi possível monitorar a velocidade do vento. Definiu-se uma malha com o total de 16 pontos de medição, sendo 3 pontos externos ao modelo (a barlavento do muro); 9 pontos distribuídos

no recuo frontal (a sotavento do muro); e 4 pontos localizados no espaço interno da edificação³⁰. Estes pontos internos foram dispostos próximos às aberturas da fachada frontal, visto que a intenção foi obter os valores de velocidade do fluxo de vento que incide na edificação. Os pontos de medição foram colocados a uma distância de 0,85 m do solo, esta medida se baseou nas recomendações da ISO 7726 (ISO, 1998)³¹ (Figura 46).

Figura 46 – Localização dos pontos de medição da velocidade do vento



Fonte: Autora, 2018.

A análise dos Coeficientes de pressão (C_p) foi realizada considerando o plano de corte vertical (Figura 45). A partir dos pontos contidos neste plano, foi gerado um perfil de comportamento da variável. Para obtenção dos valores foi inserida no software a expressão³² que corresponde a equação (Eq. 04) que define o cálculo dos C_p , sendo esta (ANDRADE, 2013, BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015):

$$C_p = \frac{P_x - P_e}{\frac{1}{2} \rho \cdot V^2_{ref}} \quad [\text{Eq. 04}]$$

Onde:

C_p : Coeficiente de pressão

P_x : Pressão em um determinado ponto de interesse no modelo.

P_e : Pressão estática de referência, do fluxo de ar não perturbado (Pa). Nas condições da simulação computacional, a pressão estática de referência é adotada como sendo nula.

³⁰ A nomenclatura utilizada nos pontos de medição da velocidade do vento foi: “b” para os pontos a barlavento do muro; “s” para os pontos a sotavento do muro; e “i” para os pontos internos da edificação.

³¹ Segundo a ISO 7726 (ISO, 1988), as partes sensitivas do corpo humano para a pessoa sentada são: 0,10 m no nível do pé; 0,60 m no nível do tórax e 1,10 m no nível da cabeça. Para uma pessoa em pé são: 0,10 m no nível do pé; 1,10 m no nível da cintura e 1,70 m no nível da cabeça. Nesse sentido, optou-se pelo valor médio entre a pessoa sentada (0,60 m) e a pessoa em pé (1,10 m), no nível do tórax.

³² $c_{pcoef} = \text{Pressure} / (0.5 * 1.184 * (1.53)^2)$.

ρ : Massa específica do ar (kg/m^3). Nas condições de temperatura de 25°C (temperatura média anual para cidade de Maceió) e pressão de 1atm, têm-se que $\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$.

V_{ref} : Velocidade do fluxo (m/s) medida em um ponto antes da alteração sofrida pelos obstáculos, geralmente na cota da cobertura do edifício. Sendo a altura do edifício igual a 4,60 m, considerou-se $V_{ref} = 1,53 \text{ m/s}$.

3.3 Etapa de Avaliação

Com a obtenção dos resultados qualitativos e quantitativos de cada modelo, foi realizada a avaliação comparativa. Inicialmente foram analisados os dados obtidos para o Modelo de Referência (MR) e depois estes foram comparados com os resultados dos muros vazados. Ao final da análise, foi possível estabelecer configurações e alternativas projetuais para o uso de muros vazados dentro do contexto específico de estudo. Ressalta-se que para a análise quantitativa dos valores de velocidade do vento, utilizou-se como base a escala cromática desenvolvida por Moraes (2013), abordada na fundamentação teórica (vide p. 37).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo foi dividido em duas seções: (1) uma para análise dos resultados qualitativos, em que foram avaliados os padrões de distribuição do fluxo de vento, e (2) outra seção para análise dos resultados quantitativos, em que os casos foram avaliados a partir dos dados obtidos para velocidade do vento e coeficientes de pressão (Cps). As seções foram subdivididas de acordo com os três ângulos de incidência do vento considerados na pesquisa (90°, 45° e 135°). As ilustrações e a identificação (sigla) de cada caso analisado poderão ser melhor compreendidas no Quadro 4 (vide p. 69 - 71).

4.1 Análise Qualitativa

A análise qualitativa foi realizada considerando os vetores de direção e intensidade do fluxo de ar e os contornos de velocidade para cada caso estudado. Para fins comparativos, as imagens foram agrupadas por tipologia de muro vazado. Além disso, para facilitar a análise, optou-se por repetir em cada agrupamento os padrões obtidos no Modelo de Referência (MR).

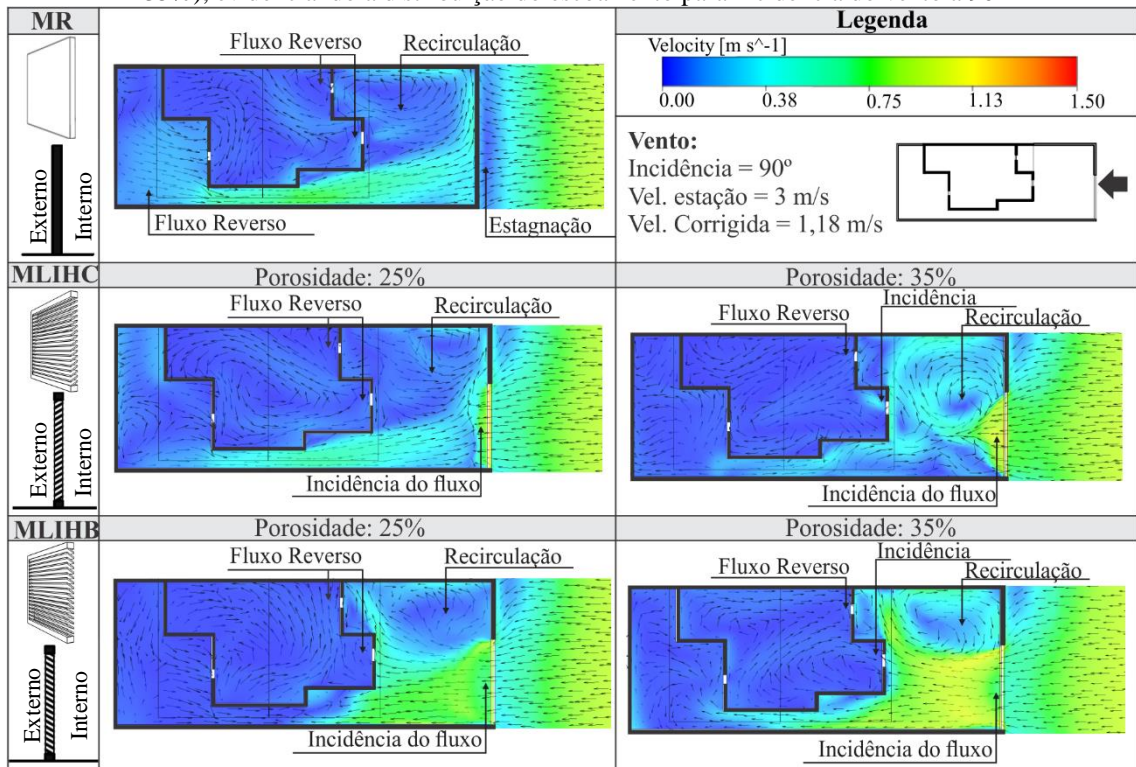
4.1.1 Incidência do vento a 90°

No modelo de referência (MR), o escoamento ao encontrar a barreira sofreu um desvio para as laterais e para cima do muro. Como é possível visualizar nos quadros 5 e 6, o fluxo ao ultrapassar o muro se desloca para a cobertura da edificação, esta redireciona parte do escoamento para região frontal. Assim, nesta área gerou-se uma zona de turbulência, onde houve recirculação do fluxo de ar. O muro posterior também contribuiu para a formação desse padrão de escoamento, visto que ele atuou como elemento direcionador, fazendo uma parte do fluxo regressar para a região de recuo frontal (Quadro 6).

Como consequência desse padrão de distribuição, observa-se a ocorrência de fluxos reversos através das aberturas da habitação, ou seja, independentemente da localização da abertura, seja a barlavento ou a sotavento, estas funcionaram como entrada e saída de vento. Isso indicou o impacto que o muro provoca na distribuição das pressões nas superfícies do modelo, fato que converge com outros estudos, com o de Chang (2006). Ademais, nota-se no Modelo de Referência (MR) que as áreas a barlavento e internas da edificação são caracterizadas por zonas de estagnação, com baixas velocidades do vento (Quadro 5 e 6).

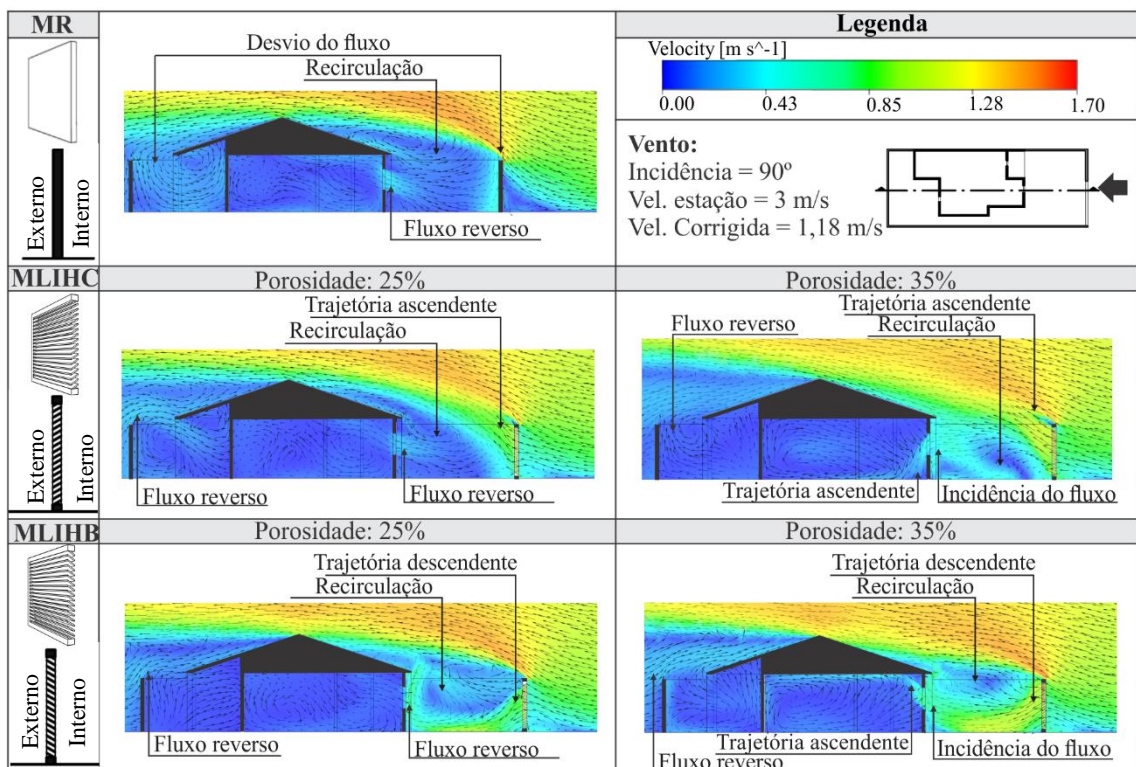
Nos muros vazados o padrão de circulação do fluxo de vento foi significativamente distinto do MR, pois parte do fluxo incidiu no lote através do componente vazado. Como consequência, percebe-se o incremento da velocidade do vento nas regiões a barlavento e a sotavento do muro.

Quadro 5 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



Fonte: Autora, 2018.

Quadro 6 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



Fonte: Autora, 2018.

Semelhante ao Modelo de Referência (MR), o muro posterior continuou atuando como elemento direcionador nos modelos vazados, promovendo um fluxo reverso. No entanto,

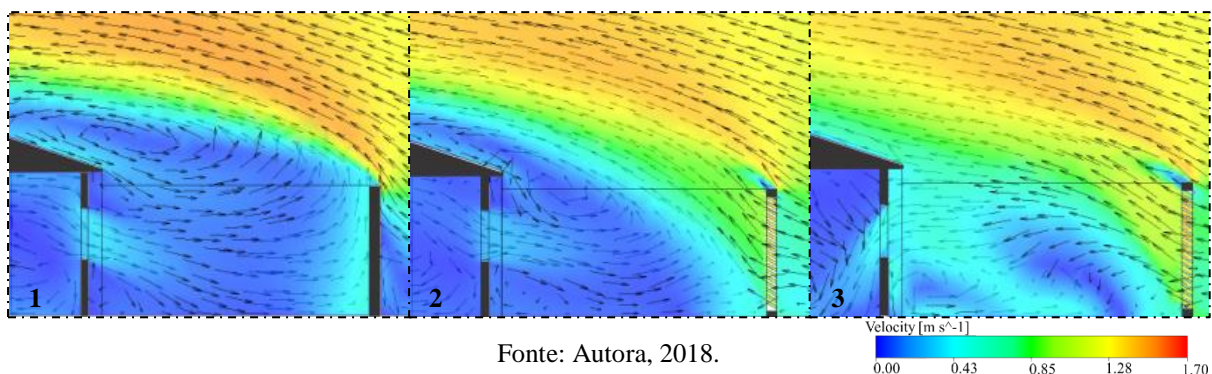
percebe-se também a influência da recirculação de ar gerada na região a sotavento da geometria geral (Quadro 6). Apesar dessa região não ser o foco direto da pesquisa, nota-se o fluxo tende a retornar para dentro do lote em direção a região frontal da edificação, indo de encontro com o fluxo que incidiu através dos elementos vazados. Conseqüentemente, ocorreu a formação de vórtices, comprometendo o aproveitamento da ventilação na edificação.

Nota-se que nos casos com maior porosidade (35%) ocorreu uma suavização do efeito do fluxo reverso. Visto que, como esperado, o aumento da porosidade do muro ocasionou uma distribuição mais ampla do fluxo de vento. Este alcançou mais as regiões próximas da edificação e, conseqüentemente, reduziu as áreas de estagnação do fluxo. Este padrão confirmou o já relatado na literatura, em que índices de porosidade mais altos facilitam o aproveitamento da ventilação (BOUTET, 1987 *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015; CHANG, 2006; CHANG; CHENG, 2009).

Contudo, de uma forma geral, o incremento na circulação do fluxo de ar na região de recuo frontal não se refletiu visualmente em melhores condições de ventilação no espaço interno, visto que, semelhante ao modelo de referência (MR), a tendência foi a formação de zonas de estagnação, com baixas velocidades de vento.

Comparando as tipologias de muros vazados entre si, percebe-se a ocorrência de distintos comportamentos na distribuição do fluxo de vento. Nos casos da tipologia de Muro com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC), o fluxo ao incidir no muro seguiu uma trajetória ascendente. Quando o escoamento se aproximou da cobertura da edificação retornou para região frontal, gerando zonas de turbulência e reduzindo a abrangência do escoamento (Quadros 5, 6 e Figura 47).

Figura 47 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHC 25%, (3) MLIHC 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



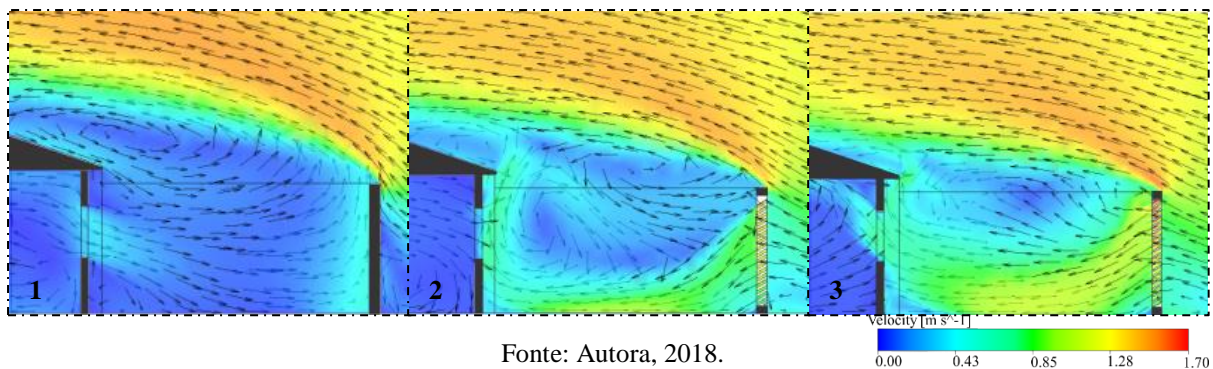
Fonte: Autora, 2018.

O modelo MLIHC com a taxa de porosidade menor (25%) não se diferenciou do Modelo de Referência (MR), sobretudo nas regiões próximas à edificação. Assim, como no MR, também foi observado o fluxo reverso através das aberturas. Em contrapartida, no caso com a

porosidade maior (35%), percebe-se que o fluxo de ar se distribuiu de forma mais ampla e com maior velocidade. Conseqüentemente, foram reduzidas as áreas de recirculação e estagnação a sotavento do muro, como também o efeito do fluxo reverso. Isto possibilitou uma pequena incidência de ventilação através de uma das aberturas de entrada da edificação (Figura 47).

Ao analisar os casos com Muro de Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), verificou-se que parte do fluxo de ar ultrapassar o elemento vazado seguiu uma trajetória descendente. Após tocar no solo do modelo, o escoamento ascendeu na direção da edificação, gerando uma zona de turbulência. Percebe-se que a distribuição do escoamento ocorreu de forma mais ampla do que nos modelos anteriores (MR e MLIHC), sobretudo no caso com maior porosidade (35%). Neste o fluxo incidiu no lote apresentando maiores velocidades, o que conseqüentemente promoveu uma redução considerável das zonas de estagnação a barlavento da edificação. Contudo, esse padrão não se refletiu no interior da edificação, visto que o fluxo que entrou pela abertura assumiu uma trajetória ascendente, se concentrando no nível do teto. Assim, ainda predominou um padrão de circulação com baixas velocidades do vento (Quadros 5, 6 e Figura 48).

Figura 48 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHB 25%, (3) MLIHB 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



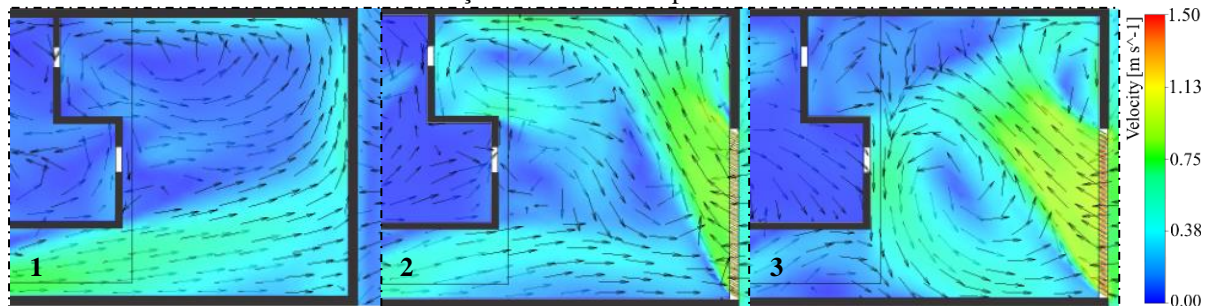
Fonte: Autora, 2018.

Ressalta-se que o modelo com MLIHB com a porosidade menor (25%) obteve um desempenho regular. Neste caso, o aproveitamento da ventilação pela edificação não foi evidente devido ao fluxo de vento com maiores velocidades ser desviado para o recuo lateral (Quadro 5).

Nos modelos de Muro com Lâminas Inclinadas Verticais (MLIV) o fluxo se deslocou no sentido de direção da lâmina. Nos casos com Lâminas direcionadas para Direita (MLIVD), o escoamento foi conduzido para a fachada frontal da edificação, incidindo na abertura próxima à lateral direita (Sala). Pela outra abertura frontal (Quarto 1), ocorreu o predomínio do fluxo reverso, ou seja, ela funcionou mais como saída do que entrada de vento. Percebe-se a ocorrência de maior velocidade no caso com maior porosidade (35%). No modelo com menor

índice (25%) o escoamento foi menos abrangente. Apesar disso, verificou-se que este modelo apresentou maior uniformidade na distribuição do fluxo e alcançou uma das aberturas da edificação (Sala) de forma mais evidente (Quadros 7, 8 e Figura 49).

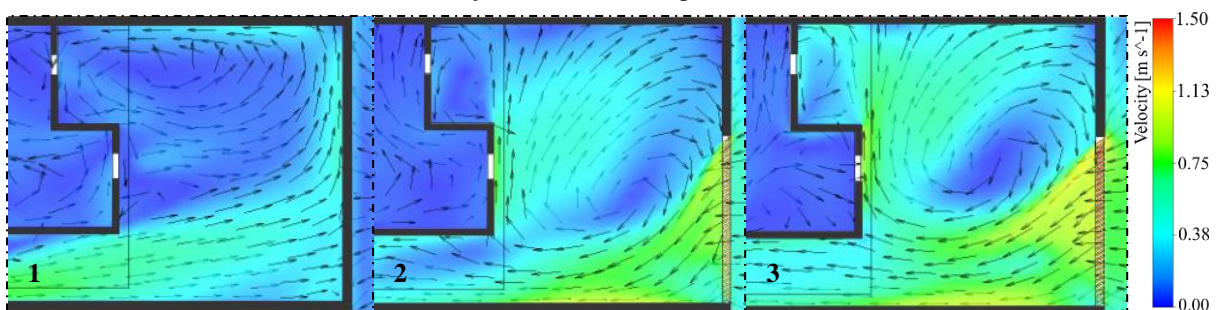
Figura 49 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVD 25%, (3) MLIVD 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



Fonte: Autora, 2018.

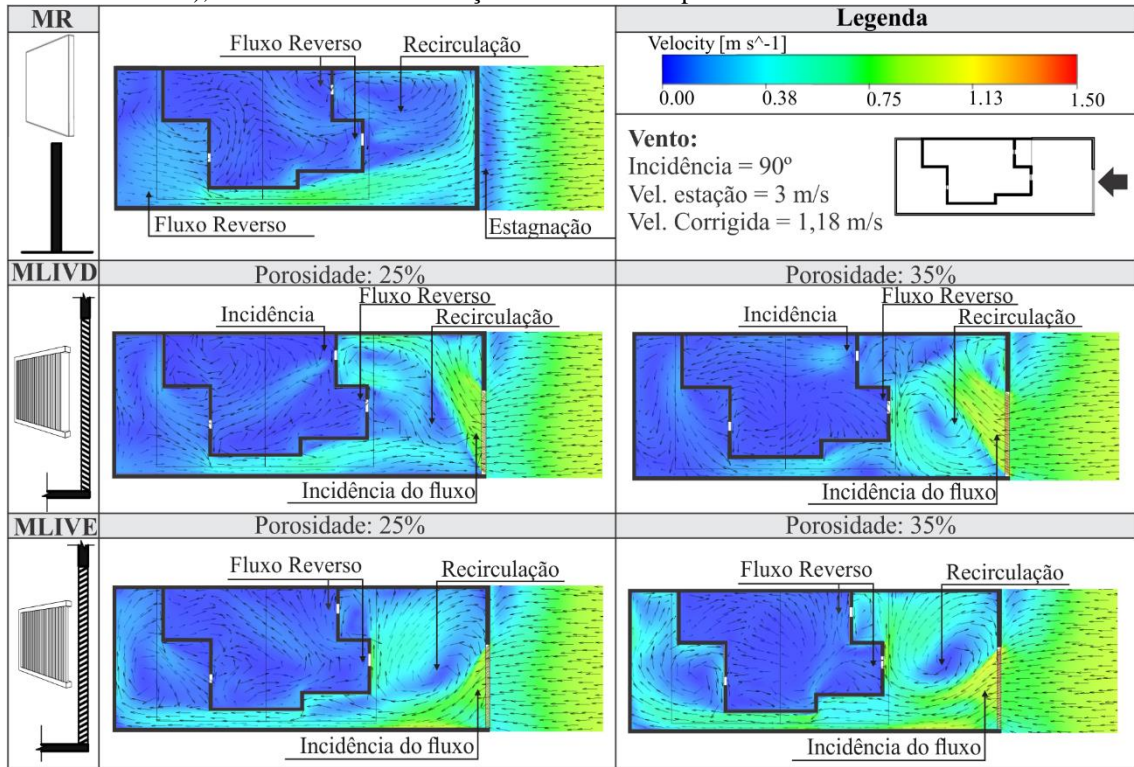
Os resultados demonstraram que nos casos com Lâminas Verticais direcionadas para esquerda (MLIVE) o fluxo de ar ao ultrapassar o componente vazado tendeu a ser conduzido para o recuo lateral. Observa-se que o movimento de ar produzido pela configuração gerou um fluxo que incidiu paralelamente à fachada frontal. Essa condição prejudica o aproveitamento da ventilação na edificação. Nesse sentido, apesar do aumento na velocidade do ar na região a barlavento da edificação, nas aberturas predominaram um fluxo reverso, ou seja, as janelas frontais tenderam a funcionar mais como saída do que como entrada de vento, semelhante ao Modelo de Referência (MR). Quanto à porosidade, nota-se que o caso com maior taxa (35%) apresentou um escoamento com maior abrangência e velocidade, ao ser comparado ao caso com o índice menor (25%) (Quadros 7, 8 e Figura 50).

Figura 50 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVE 25%, (3) MLIVE 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



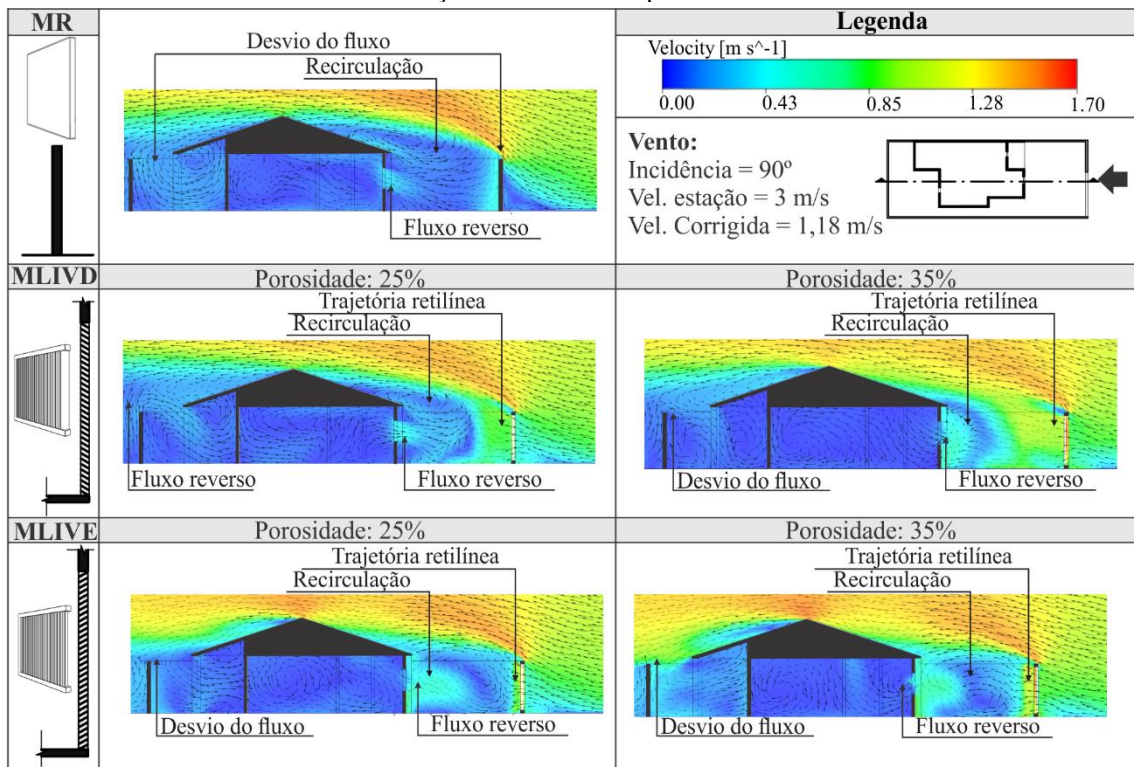
Fonte: Autora, 2018.

Quadro 7 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



Fonte: Autora, 2018.

Quadro 8 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



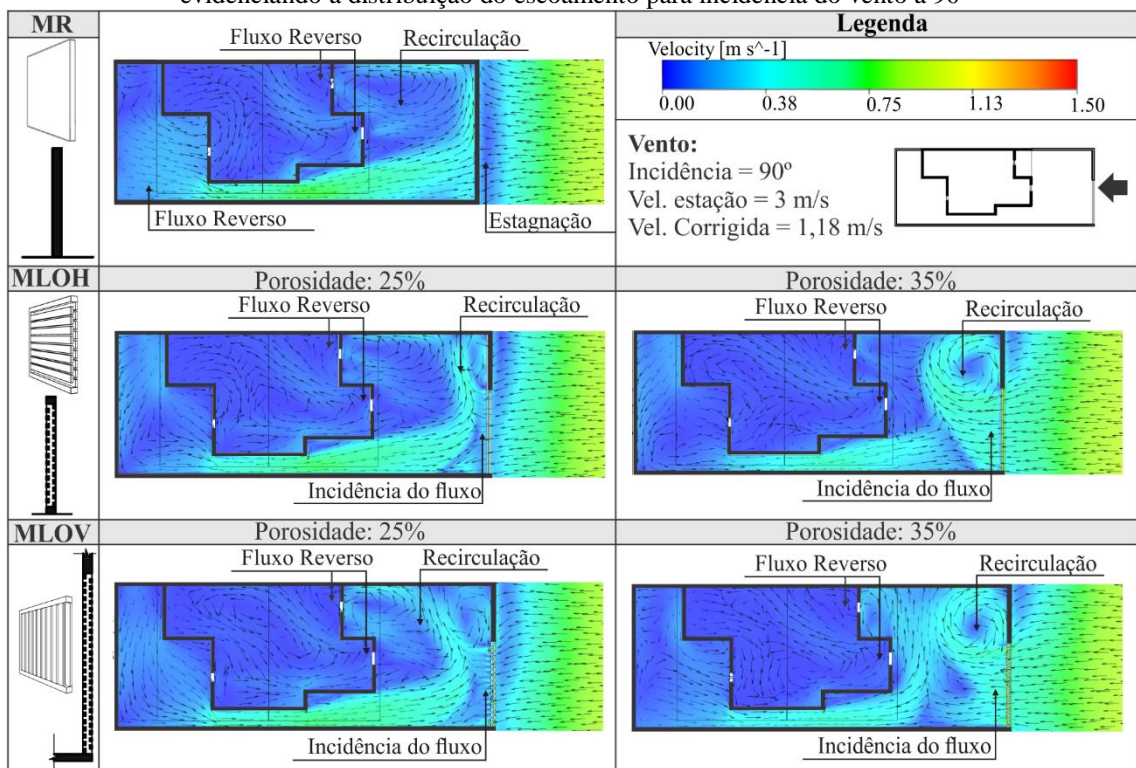
Fonte: Autora, 2018.

Percebe-se que as Lâminas Inclinadas Verticais quando direcionadas para Direita (MLIVD) possibilitaram uma melhor distribuição do fluxo de vento na região a barlavento da

edificação, do que as Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Esquerda (MLIVE). Estas, no entanto, proporcionam condições mais adequadas de privacidade, visto que o direcionamento para direita deixou a habitação mais exposta à visão externa.

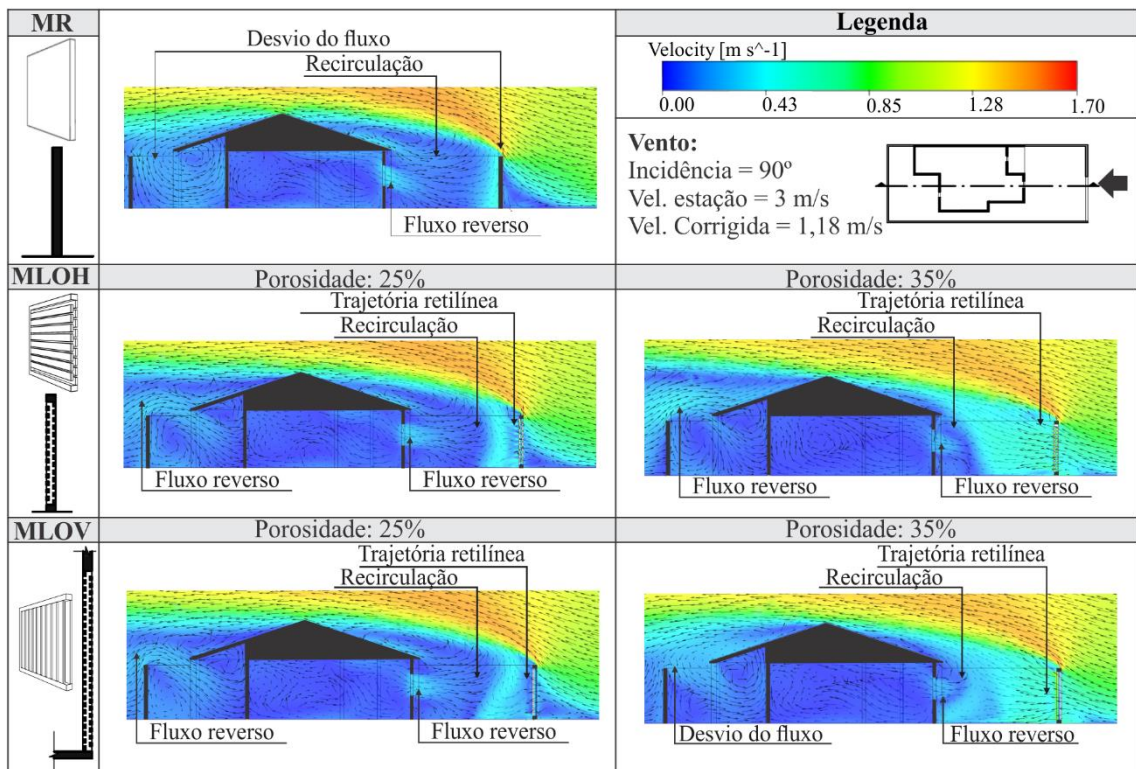
Os ensaios com os modelos de Muro com Lâminas Ortogonais (MLO), de uma forma geral, demonstraram que esta tipologia foi a mais se assemelhou ao Modelo de Referência (MR), sobretudo na abrangência do fluxo de vento na região a sotavento da barreira e na ocorrência do fluxo reverso. Nos casos da tipologia anterior (MLI), ficou evidente a passagem do fluxo de ar com maiores velocidades na região adjacente ao componente vazado. Já nos casos de MLO, tanto as lâminas posicionadas na Horizontal (MLOH) como na Vertical (MLOV), isso não ocorreu. Assim, constatou-se que este tipo de componente vazado proporcionou uma maior resistência a passagem do vento (Quadros 9 e 10).

Quadro 9 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



Fonte: Autora, 2018.

Quadro 10 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 90°



Fonte: Autora, 2018.

Os casos com Lâminas Ortogonais Verticais (MLOV) apresentaram um padrão de distribuição um pouco mais abrangente ao serem comparados com os casos de Lâminas Ortogonais Horizontais (MLOH). Quanto à porosidade, percebe-se uma redução nas zonas de estagnação de fluxo de ar com o aumento do índice (35%) (Quadros 9 e 10).

Comparando todos os modelos vazados no que se referem ao padrão de distribuição do fluxo de vento no recuo frontal e na sua incidência pelas aberturas da edificação, conclui-se que:

- Os melhores desempenhos foram para as tipologias de Muros com Lâminas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB) e de Muros com Lâminas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD). Visto que a posição e o direcionamento das lâminas conduziram de forma mais direta o fluxo para dentro da edificação.
- O MLIHB obteve maior abrangência e intensidade no recuo frontal do que o MLIVD. Contudo, sua incidência nas aberturas é prejudicada devido ao direcionamento do fluxo para o nível do teto, reduzindo o potencial de aproveitamento da ventilação.
- No geral, os piores padrões de distribuição foram visualizados nos casos com o Muro de Lâminas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) e para a tipologia de Muros

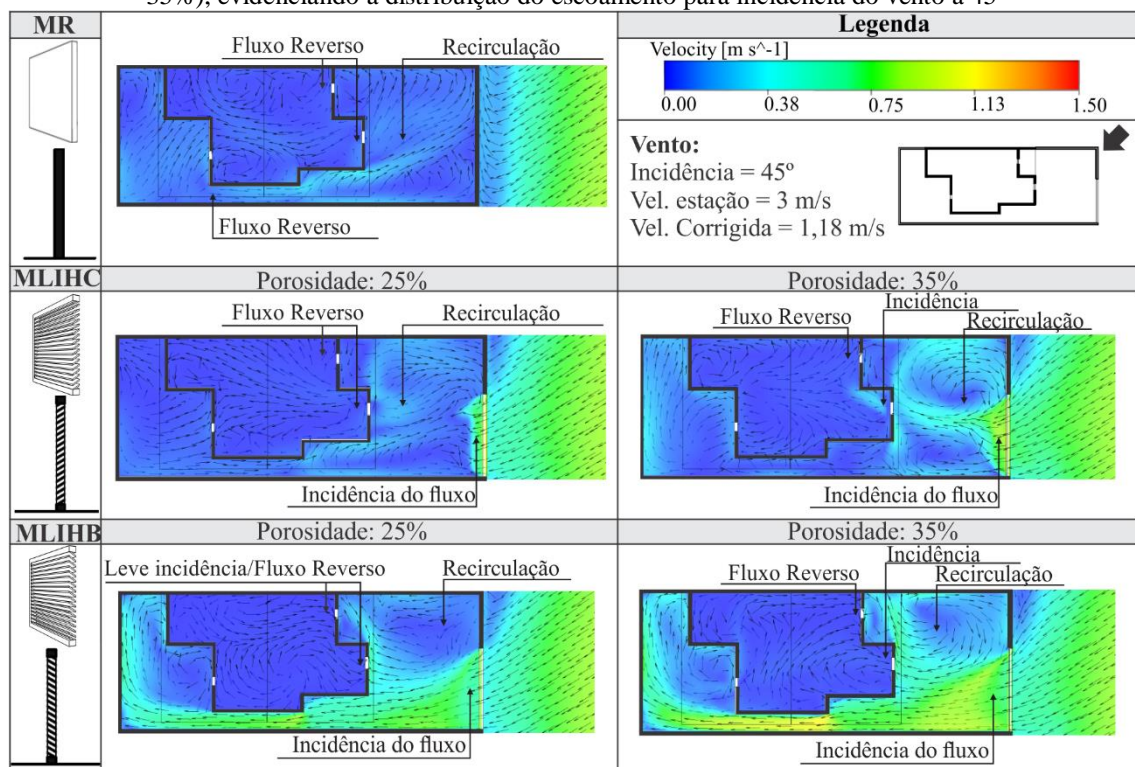
com Lâminas Ortogonais (MLO). Estes casos se assemelharam com o Modelo de Referência (ML) no que se refere ao predomínio de zonas de estagnação.

- Em todas as tipologias, os casos que tinham maior porosidade (35%) foram aqueles que apresentaram melhor padrão de distribuição do fluxo de vento.

4.1.2 Incidência do vento a 45°

No Modelo de Referência (MR) o padrão de movimentação do fluxo de vento ao encontrar a barreira se assemelhou com a incidência a 90°. Contudo, nota-se que ocorreu um aumento considerável das zonas de estagnação. Assim, predominaram baixas velocidades do vento tanto nas áreas externas como internas da edificação (Quadros 11 e 12).

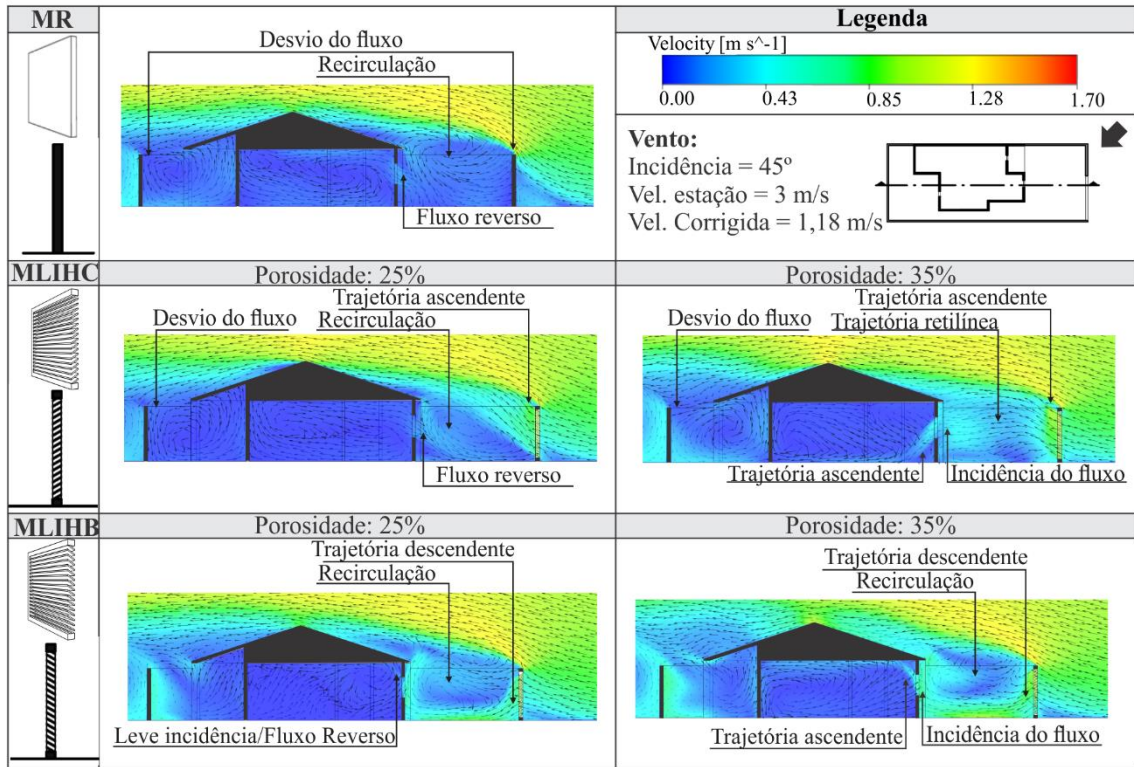
Quadro 11 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°



Fonte: Autora, 2018.

Ao comparar a incidência a 45° com a incidência a 90°, percebe-se que os modelos vazados, de uma forma geral, permaneceram apresentando melhores padrões de distribuição do vento do que o MR, sobretudo nas regiões a sotavento do muro. Entretanto, observa-se que nos modelos vazados também houve uma redução significativa da velocidade do vento. Esta situação fez com que se alterassem alguns aspectos no padrão de distribuição em cada caso. A redução da velocidade também influenciou na diminuição do fluxo reverso promovido pelo muro posterior e pela esteira a sotavento do modelo geral. Contudo, o efeito do fluxo reverso continuou a ser visualizado nas aberturas da edificação.

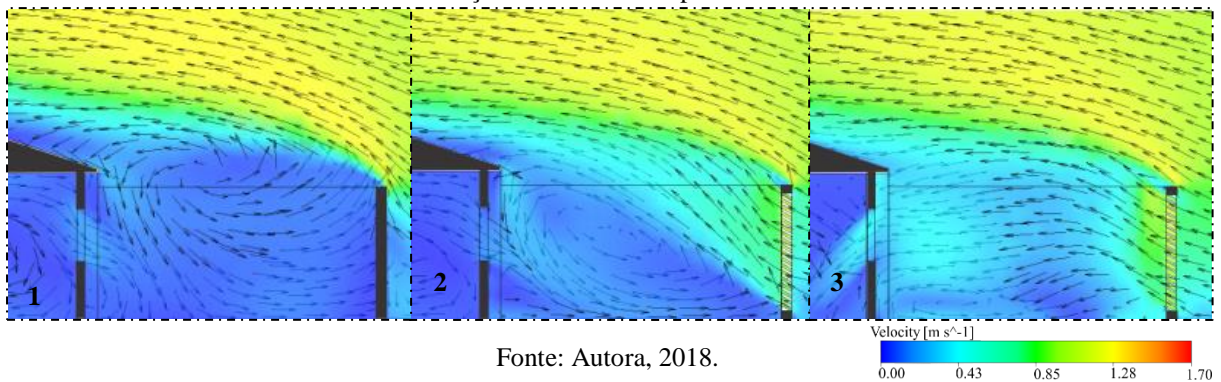
Quadro 12 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°



Fonte: Autora, 2018.

Nos casos com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) percebe-se que a diminuição da velocidade do ar se refletiu em uma menor deflexão ascendente do fluxo. Nesse sentido, ao ultrapassar o componente vazado, o fluxo tendeu a retornar a uma trajetória retilínea indo em direção a abertura da edificação. Esse comportamento foi mais evidente no caso com a porosidade maior (35%). Neste modelo, o escoamento incidiu pela abertura e se dirigiu ao nível do piso da edificação. Em contrapartida, no caso com o índice de porosidade menor (25%), predominou o fluxo reverso, não favorecendo o aproveitamento da ventilação no interior da edificação (Quadros 11, 12 e Figura 51).

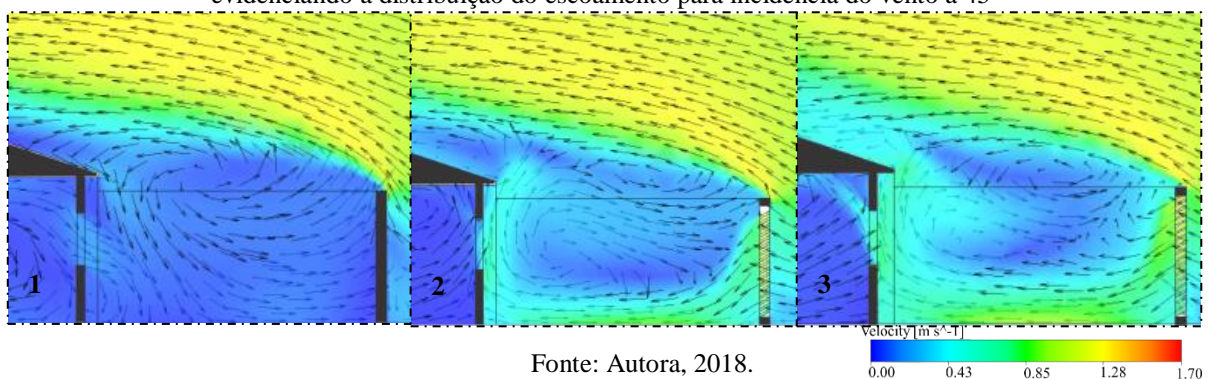
Figura 51 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHC 25%, (3) MLIHC 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°



Fonte: Autora, 2018.

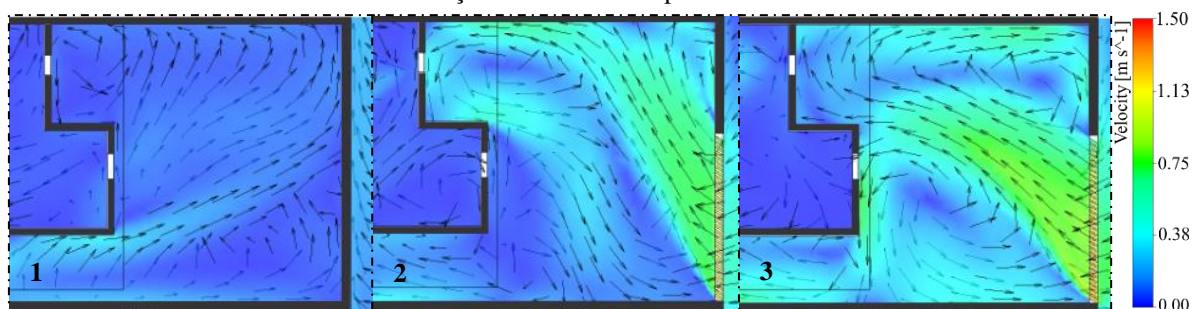
A redução da velocidade também afetou os casos com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB). Nestes modelos o fluxo de ar alcançou as proximidades na edificação com menor intensidade, se diferenciando dos modelos onde o vento incidiu a 90° . Nota-se que o escoamento ao ultrapassar a barreira seguiu uma trajetória descendente e foi conduzido de forma mais acentuada para o recuo lateral. Contudo, o fluxo ainda incidiu suavemente por uma das aberturas, sobretudo o caso com índice de porosidade maior (35%). Porém, o fluxo permaneceu sendo direcionado para o nível do teto da habitação (Quadros 11, 12 e Figura 52).

Figura 52 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHB 25%, (3) MLIHB 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°

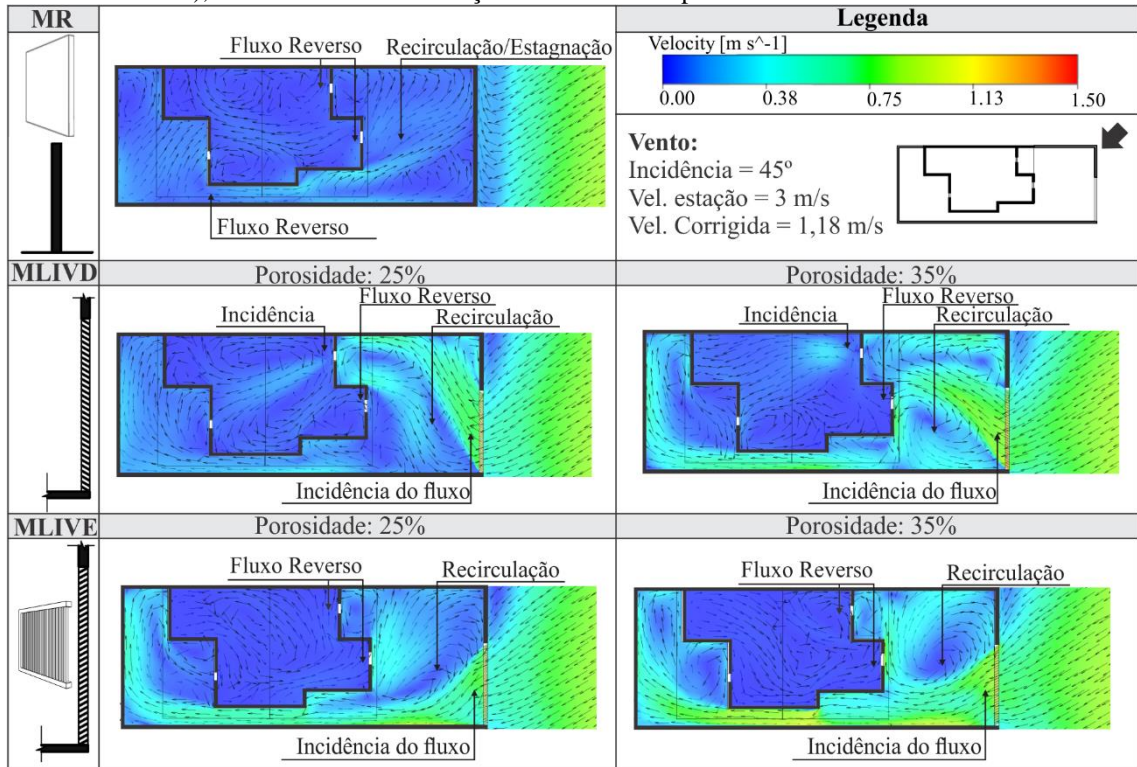


Para os casos com a tipologia de Muro com Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD), o fluxo de ar ao ultrapassar o componente vazado continuou seguindo a direção estabelecida pela lâmina, ou seja, se dirigiu para a região mais próxima da entrada da edificação (lateral direita). Porém assumindo contornos de velocidade mais suaves e padrões mais uniformes do que os casos em que o vento incidiu a 90° . Quanto à porosidade, em ambos os casos ocorreu a entrada de vento por uma das aberturas. Evidentemente, quanto maior a porosidade (35%), mais abrangente foi o escoamento dentro da edificação (Quadros 13, 14 e Figura 53).

Figura 53 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVD 25%, (3) MLIVD 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°

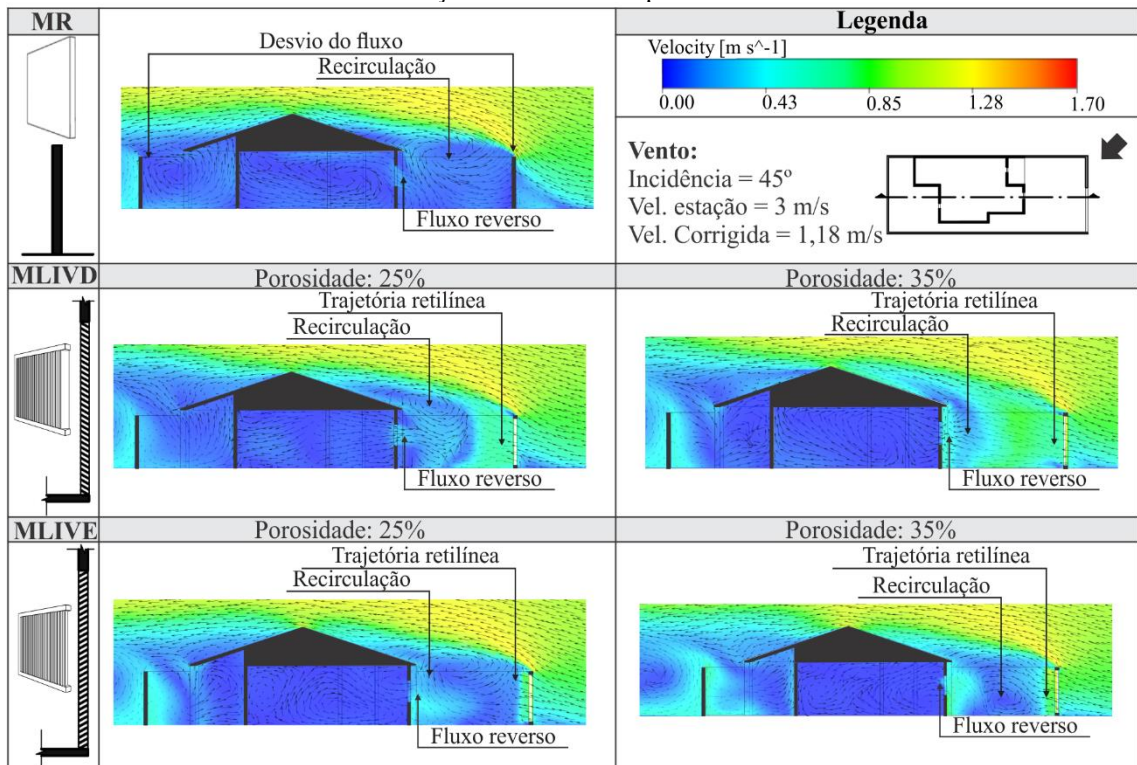


Quadro 13 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°



Fonte: Autora, 2018.

Quadro 14 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°

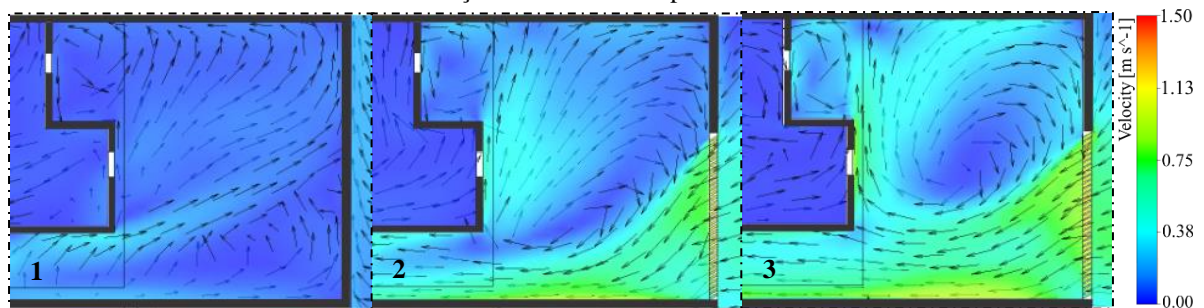


Fonte: Autora, 2018.

Semelhante aos modelos de incidência de vento a 90°, nos casos com Muro de Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Esquerda (MLIVE) o fluxo é conduzido para o recuo

lateral, não alcançando de forma efetiva a edificação. Todavia, esperava-se que nesta tipologia houvesse o incremento dos valores de velocidade a sotavento do muro, visto que as lâminas estão posicionadas no sentido de incidência do vento, o que resultaria em uma menor resistência a passagem do escoamento. Porém, observa-se que isto não ocorreu, uma vez que os contornos de velocidade são mais suaves do que os casos em que o vento incidiu a 90° (Quadros 13, 14 e Figura 54).

Figura 54 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVE 25%, (3) MLIVE 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°

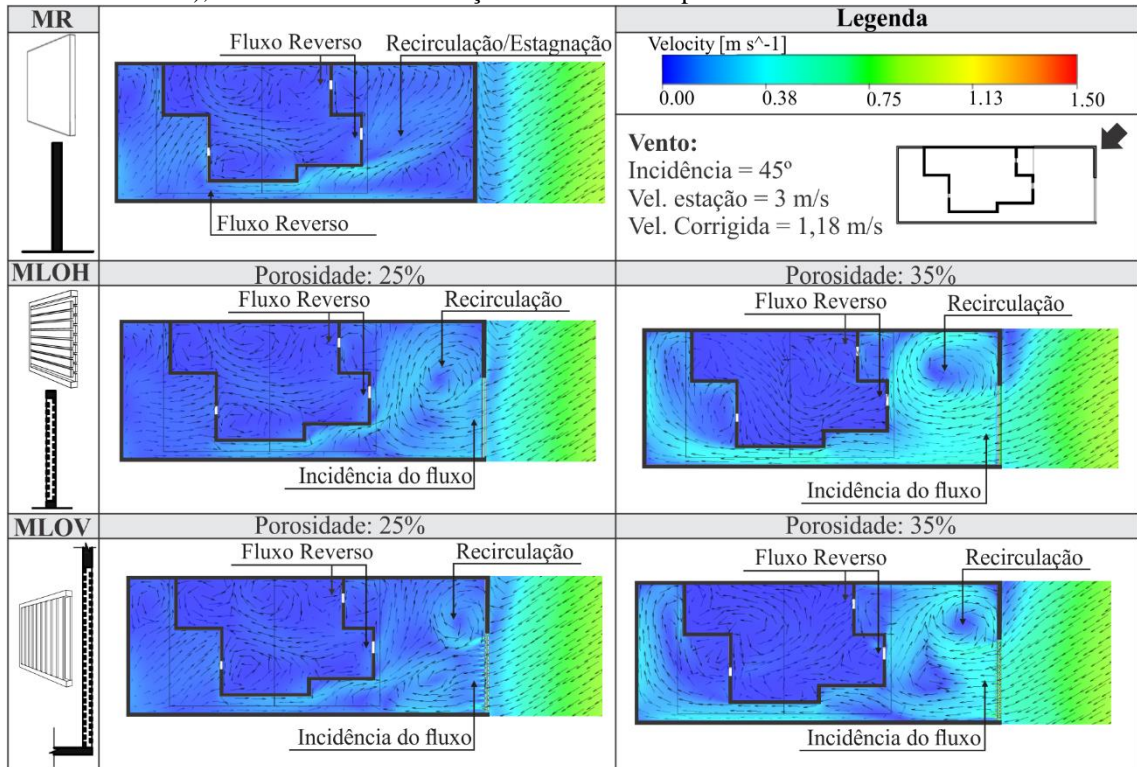


Fonte: Autora, 2018.

Nos casos com a tipologia de Muro com Lâminas Ortogonais (MLO) foram mantidos os padrões de distribuição do fluxo de vento mais suaves, se assemelhando ao Modelo de referência (MR). Ao serem comparados com outros modelos vazados, percebe-se a ocorrência maior de zonas de estagnação, sobretudo nos modelos com o índice de porosidade menor (25%). Quanto à posição das lâminas, nota-se que nos casos com Lâminas Ortogonais Horizontais (MLOH) a distribuição foi um pouco mais uniforme e houve um leve aumento dos contornos de velocidade (Quadros 15 e 16).

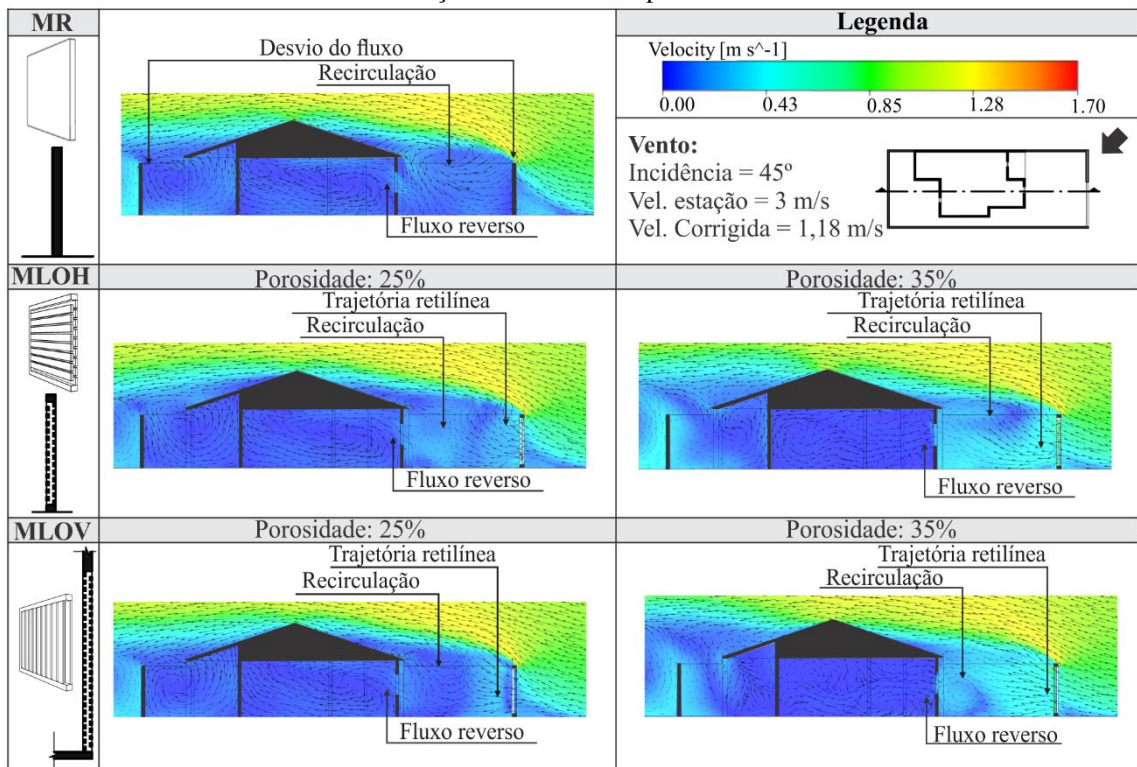
Percebe-se, de uma forma geral, que nos casos MLO, quando o vento incidiu a 45° (Quadros 15 e 16), as condições de ventilação externa e interna à edificação não foram alteradas significativamente, estas permaneceram semelhantes aos casos com a incidência a 90° . Apenas notam-se algumas diferenças no padrão de distribuição do escoamento, visto que houve uma redução do efeito do fluxo reverso, principalmente nos casos com porosidade maior (35%).

Quadro 15 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°



Fonte: Autora, 2018.

Quadro 16 – Plano de corte vertical para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 45°



Fonte: Autora, 2018.

Nesse sentido, ao comparar todos os modelos vazados no que se referem ao padrão de distribuição do fluxo de vento no recuo frontal e na sua incidência pelas aberturas da edificação, foi possível observar nos resultados que:

- A classificação dos casos quanto ao desempenho em relação ao aproveitamento da ventilação natural é semelhante ao obtido com a incidência do vento a 90°.
- Ressalta-se apenas que para a tipologia de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO) ocorreu uma inversão na classificação de desempenho dos casos. Ao se considerar os casos com maior porosidade (35%), no Muro com Lâminas Ortogonais Horizontais (MLOH) o fluxo foi um pouco mais abrangente do que o Muro com Lâminas Ortogonais Verticais (MLOV).

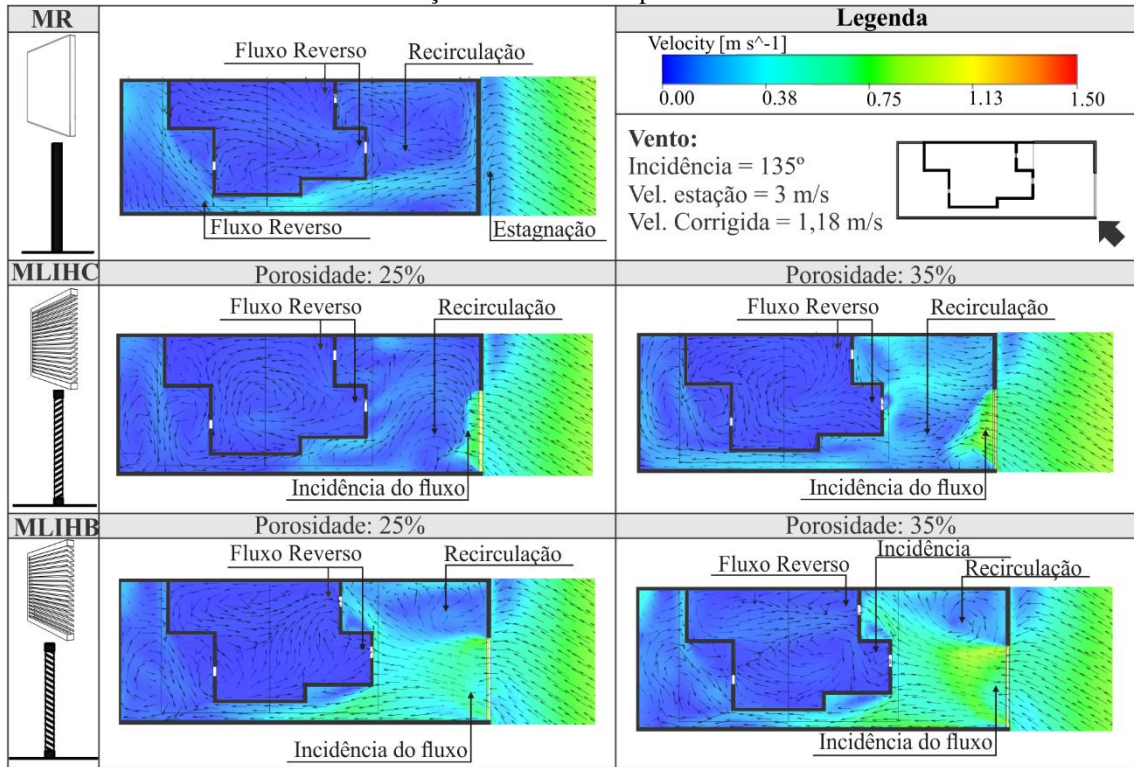
4.1.3 Incidência do vento a 135°

Com o vento incidindo a 135°, verifica-se no Modelo de Referência (MR) um predomínio de zonas de estagnação nos recuos da edificação, o que conseqüentemente se refletiu na parte interna da mesma. A maior parte da movimentação do ar dentro do lote é resultante do fluxo reverso promovido pelo efeito do muro posterior, fato também constatado na incidência a 45° (Quadros 17 e 18).

Os muros vazados permaneceram com o desempenho mais satisfatório do que o Modelo de Referência (MR). Constatou-se que a incidência a 135° reduz o potencial de aproveitamento da ventilação ao ser comparada com a incidência a 90°, visto que, de uma forma geral, foi observada a tendência maior de formação de zonas de estagnação, com baixas velocidades de vento. Conseqüentemente, percebe-se que alguns casos de muros vazados apresentaram padrões bastante semelhantes ao MR.

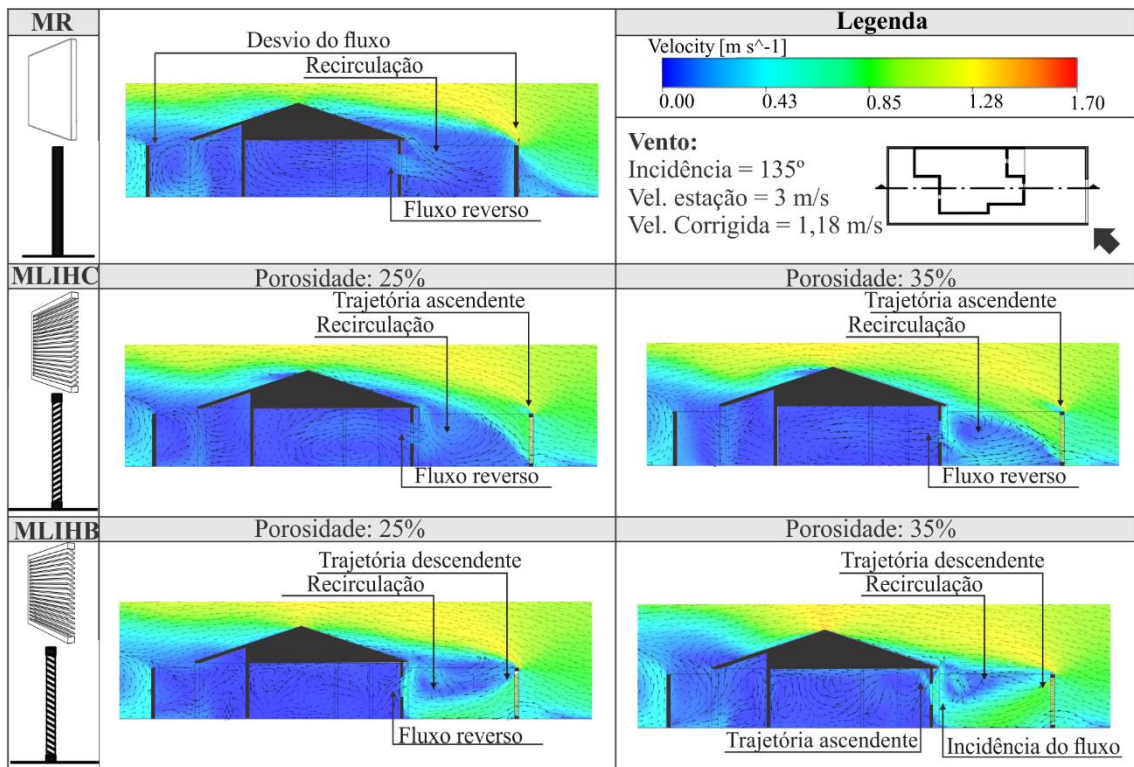
Na tipologia de Muros com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC), nota-se que ocorreu uma redução da abrangência do fluxo de ar e das velocidades. Isto aconteceu, sobretudo, no caso que possui a porosidade maior (35%). Nota-se que o escoamento não atingiu de forma nítida as aberturas da edificação, predominando o fluxo reverso (Quadros 17, 18 e Figura 55). Fato que se diferenciou do resultado obtido para as incidências de vento anteriores.

Quadro 17 – Plano de corte horizontal (0,85 m) dos casos MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



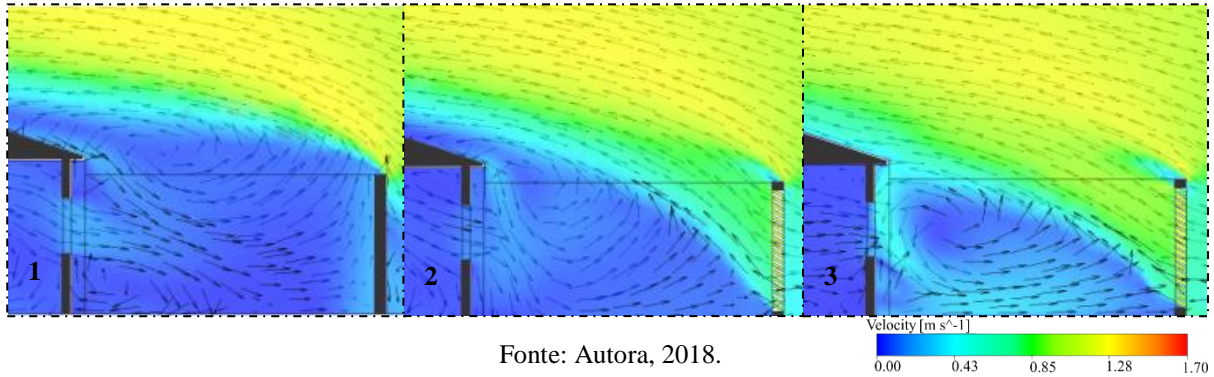
Fonte: Autora, 2018.

Quadro 18 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

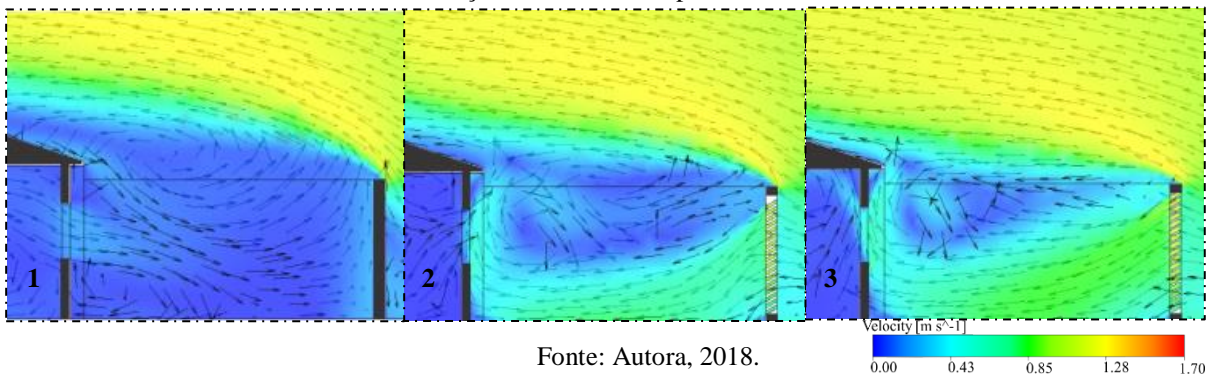
Figura 55 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHC 25%, (3) MLIHC 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

Nos casos de Muros com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), verifica-se que o fluxo de vento que passou através da barreira é conduzido para a região frontal da edificação. Contudo, percebe-se que a baixa velocidade do vento prejudicou a incidência nas aberturas. Conforme evidenciado nas outras incidências de vento (90° e 45°), o caso com maior porosidade (35%) apresentou um desempenho mais satisfatório (Quadros 17, 18 e Figura 56).

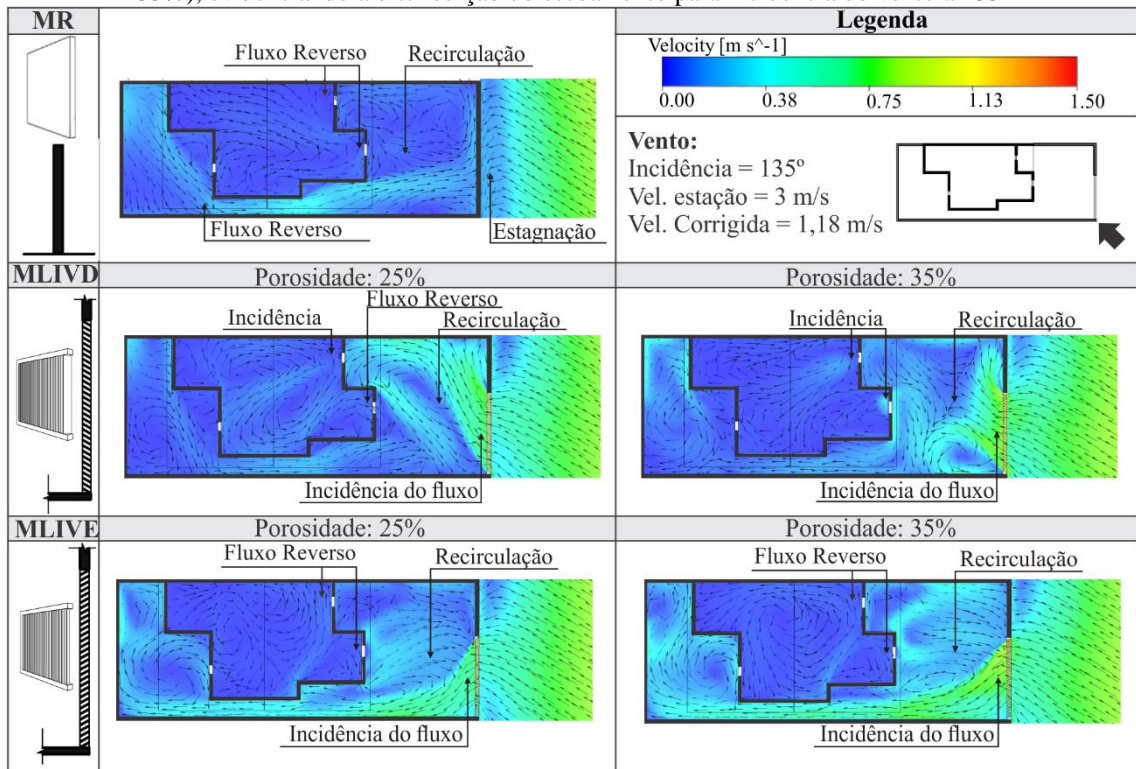
Figura 56 – Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (1) MR, (2) MLIHB 25%, (3) MLIHB 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

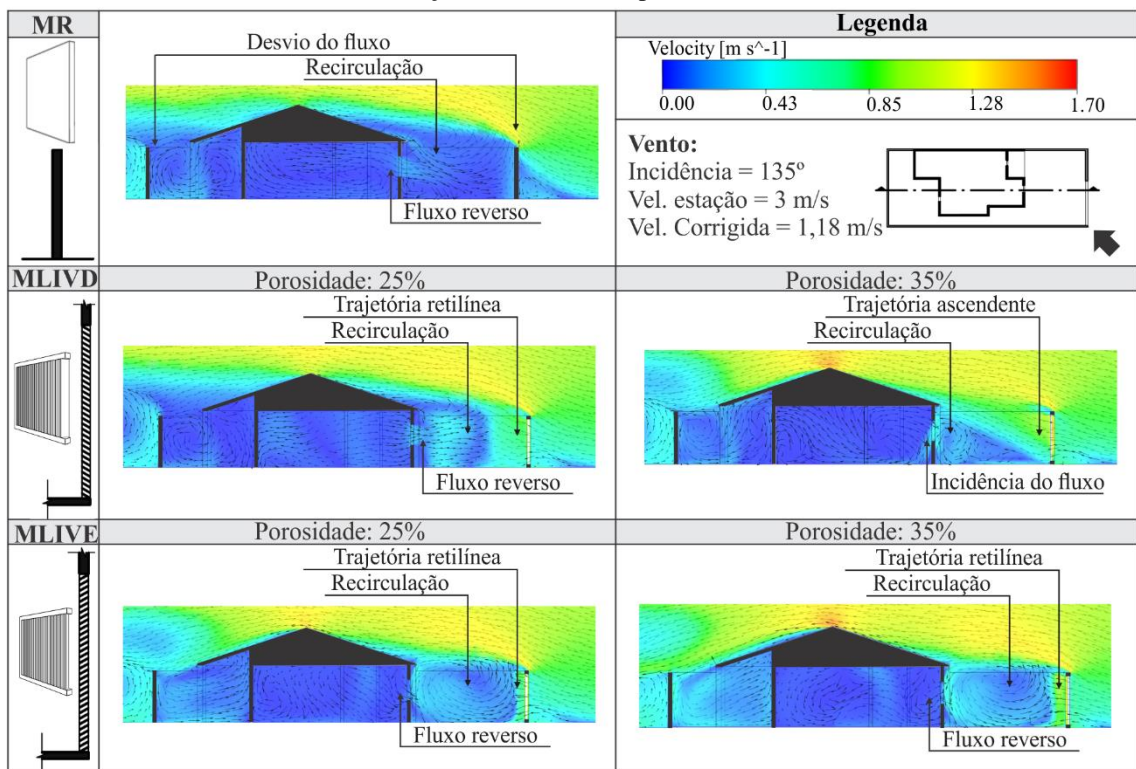
A tipologia de Muros com Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD) apresentou um padrão de distribuição aquém do esperado. Sendo o direcionamento da lâmina favorável à incidência do vento, esperavam-se maiores valores de velocidade e alcance do fluxo nas aberturas. Diferentemente, o que ocorreu foi o abrandamento dos contornos de velocidade quando comparados à incidência do vento a 90°. Com a porosidade menor (25%) o movimento do ar tende a ser semelhante às outras incidências (45° e 90°). Em contrapartida, com o aumento do índice de porosidade (35%) o fluxo incidiu nas duas aberturas frontais, fato que ainda não tinha sido verificado nos casos analisados anteriormente. No entanto, este comportamento não se refletiu no incremento da velocidade interna (Quadros 19, 20 e Figura 57).

Quadro 19 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



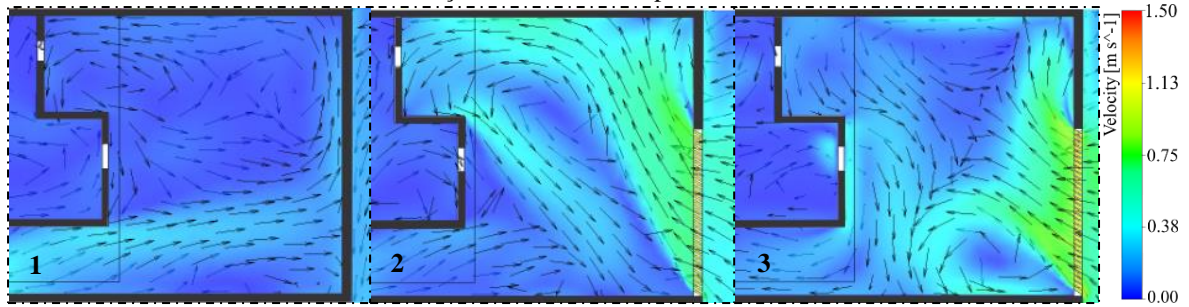
Fonte: Autora, 2018.

Quadro 20 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

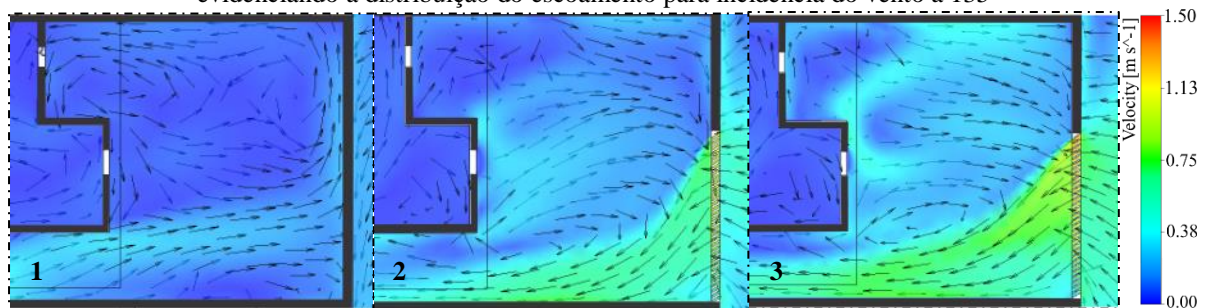
Figura 57 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVD 25%, (3) MLIVD 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

Nos casos de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Esquerda (MLIVE) a movimentação do ar é semelhante às outras incidências de vento. Contudo, verifica-se uma redução dos contornos de velocidade. Relaciona-se este fato com a posição das lâminas, que estão no sentido contrário a incidência do fluxo, assim, proporcionando uma maior resistência a passagem do vento (Quadros 19, 20 e Figura 58).

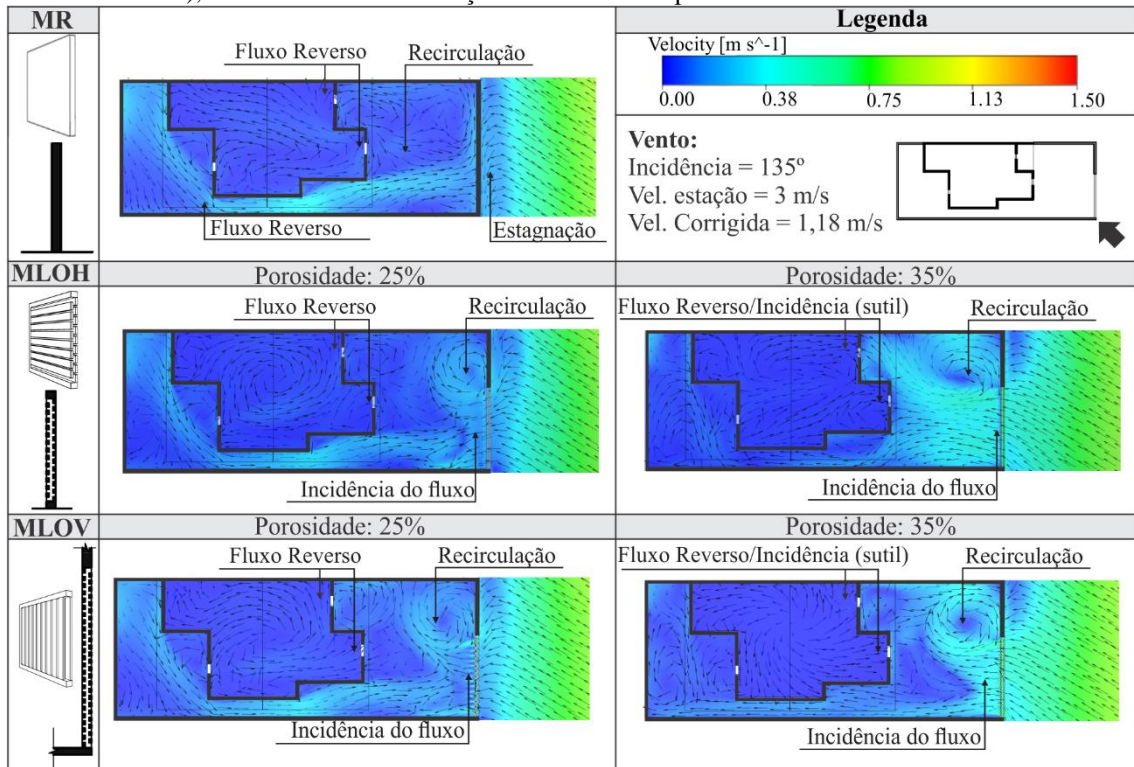
Figura 58 – Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (1) MR, (2) MLIVE 25%, (3) MLIVE 35%, evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

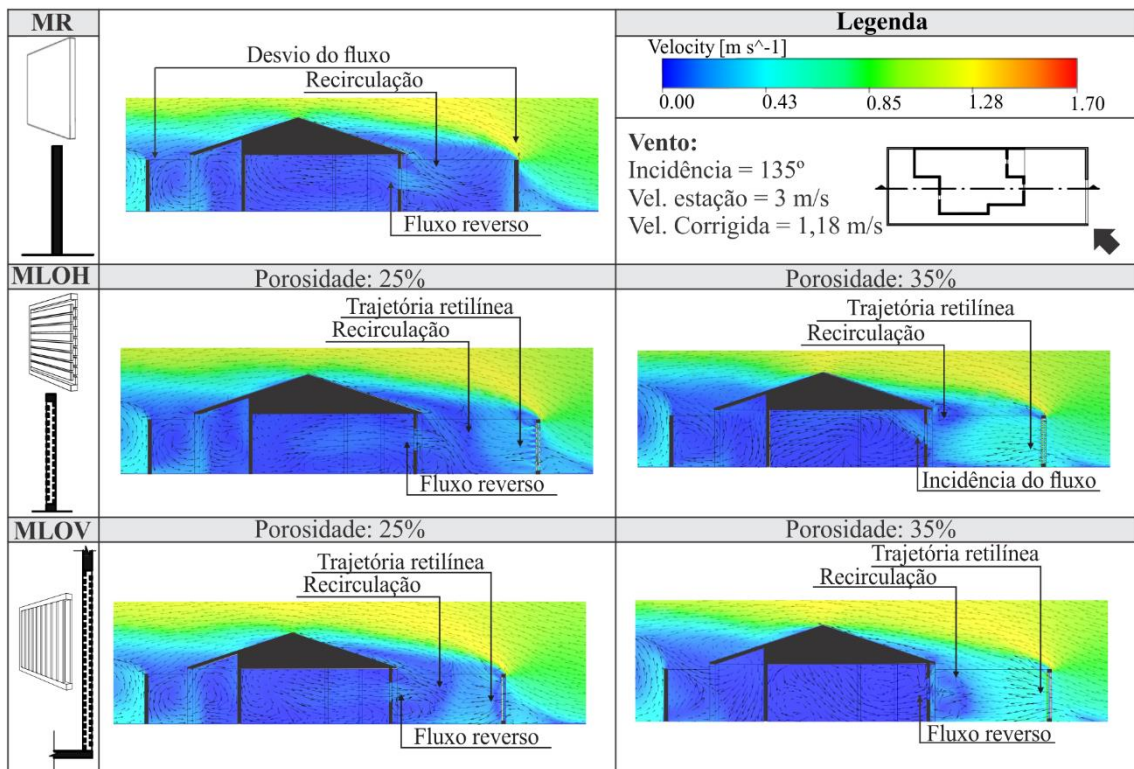
Quando o vento incide a 135°, de uma forma geral, constata-se que na tipologia de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO) ocorreu um leve aumento das zonas de estagnação. Contudo, os padrões de distribuição do fluxo não se alteraram significativamente, principalmente ao serem comparados com à incidência de vento a 45°. Apenas identifica-se que nos casos com porosidade maior (35%) o efeito do fluxo reverso através das aberturas frontais se reduziu, possibilitando uma pequena incidência do vento no interior da edificação (Quadros 21 e 22).

Quadro 21 – Plano de corte horizontal (0,85 m) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

Quadro 22 – Plano de corte vertical dos casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%), evidenciando a distribuição do escoamento para incidência do vento a 135°



Fonte: Autora, 2018.

Comparando todos os modelos vazados no que se referem ao padrão de distribuição do fluxo de vento no recuo frontal e na sua incidência pelas aberturas da edificação, conclui-se que quando o vento incide a 135°:

- As tipologias de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD) e Muros com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), permaneceram apresentando padrões de circulação do ar mais favoráveis.
- O caso do Muro com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) com o índice de porosidade maior (35%) foi o mais prejudicado. Visto que, constatou-se uma significativa redução da incidência do fluxo de vento pelas aberturas da edificação. Os resultados obtidos para este caso se assemelharam com a tipologia de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Esquerda (MLIVE). Esta permaneceu apresentando desempenhos pouco satisfatórios.
- Semelhante aos resultados obtidos para outras incidências de vento (90° e 45°), a tipologia de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO) e o caso do Muro com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) de menor porosidade (25%) apresentaram os piores desempenhos.

4.2 Análise Quantitativa

A análise quantitativa foi subdividida de acordo com as variáveis analisadas na pesquisa: velocidade do vento e os coeficientes de pressão (Cps). Para a análise da velocidade, foram considerados os valores obtidos para as velocidades externas à edificação (barlavento e sotavento do muro) e para a área interna da edificação (adjacente às aberturas frontais). Os resultados da velocidade foram avaliados conforme os níveis de ventilação natural para o conforto térmico presentes na escala cromática de Morais (2013). O comportamento dos Cps nos modelos foi avaliado ao longo do plano de corte vertical, sendo investigado os valores obtidos nos diferentes trechos (barlavento do muro, recuo frontal, área interna e recuo posterior).

4.2.1 Velocidade do vento

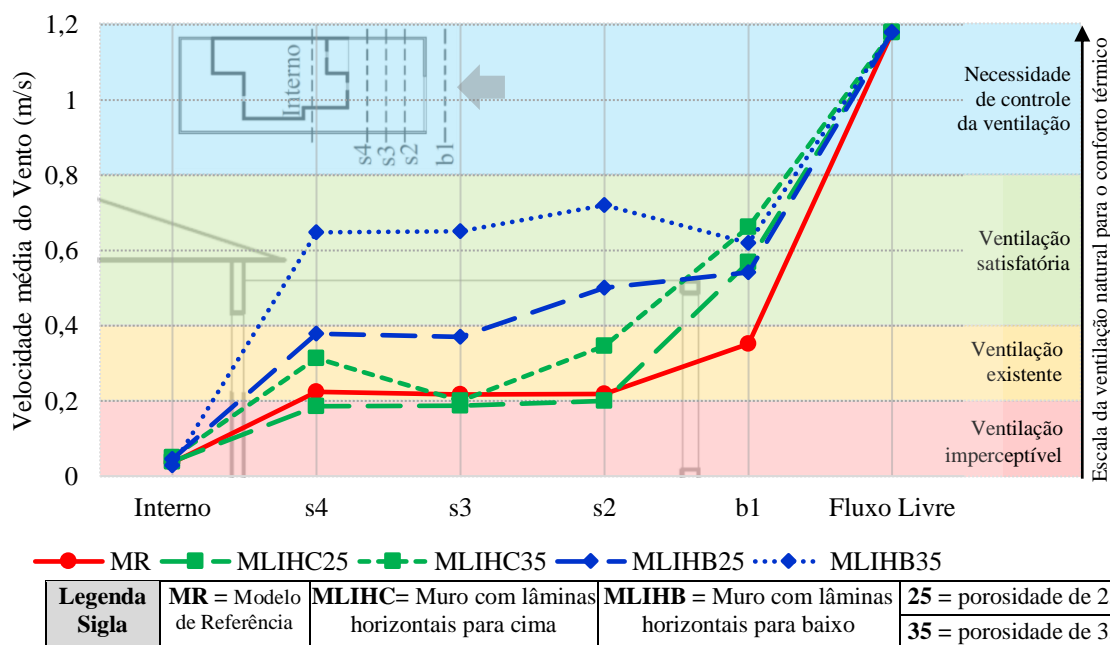
4.2.1.1 Incidência do vento a 90°

Os valores obtidos para o Modelo de Referência (MR) demonstraram o impacto considerável do muro não permeável na redução da velocidade do vento. Considerando o fluxo

do vento livre ($1,18 \text{ m/s}^{33}$), onde não há influência das obstruções, a redução da velocidade do vento a barlavento do muro foi de aproximadamente 70%. Enquanto que a redução a sotavento do muro chegou a ultrapassar 80%. Nas áreas internas da edificação as velocidades médias foram menores do que $0,04 \text{ m/s}$, uma redução de cerca de 97%. Fato que convergiu com a literatura, principalmente com os estudos de Boutet (1987) *apud* Bittencourt e Cândido (2015).

Os valores de velocidade do vento no recuo frontal (sotavento do muro) alcançaram uma média de $0,22 \text{ m/s}$. Tomando como referência a escala cromática desenvolvida por Moraes (2013), esse valor caracterizaria a ventilação natural como existente, porém muito próxima do limiar mínimo (Figura 59). No entanto, para as condições internas a ventilação foi classificada como imperceptível, ou seja, indicando o não favorecimento ao resfriamento fisiológico e da edificação.

Figura 59 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%)



Fonte: Autora, 2018.

Nos casos com muros vazados, o comportamento a barlavento e a sotavento do muro variaram significativamente em comparação com o Modelo de Referência (MR). Contudo, quando se considera os valores obtidos na área interna da edificação, nota-se que as tipologias vazadas se assemelharam ao MR (Figuras 59, 60 e 61).

Nos casos da tipologia de Muro com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC), percebe-se que a velocidade a barlavento do muro alcançou valores acima de $0,55 \text{ m/s}$, um acréscimo de mais 60% em relação ao Modelo de Referência (MR). Enquanto que

³³ Velocidade do vento na estação meteorológica (3 m/s) corrigida para o valor correspondente à altura de referência das aberturas da edificação estudada.

a sotavento do muro os valores decaíram consideravelmente, sobretudo, no caso com porosidade de 25% (MLIHC25), em que a velocidade média foi de aproximadamente 0,19 m/s. Este valor foi 13% menor do que o obtido no MR, conseqüentemente resultou em uma ventilação natural imperceptível. Para o caso com a porosidade de 35% (MLIHC35) os valores a sotavento do muro foram melhores, alcançando níveis em torno de 0,29 m/s, um incremento de 30% em relação ao MR. Para ambos os casos (25% e 35%) os níveis de velocidade do vento interno ficaram abaixo de 0,10 m/s, uma condição considerada, demasiadamente, desfavorável para o conforto térmico (Figura 59).

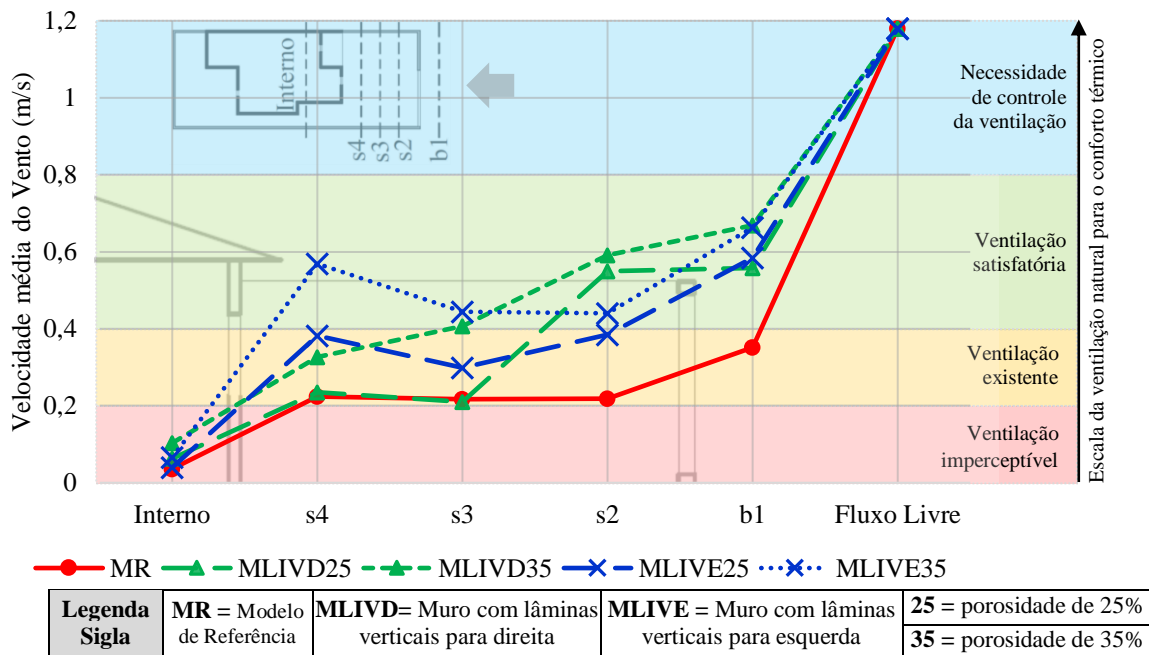
Para a tipologia de Muros com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), nota-se que na região a sotavento do muro os valores são melhores do que os obtidos para a tipologia MLIHC e, conseqüentemente, superiores aos alcançados no Modelo de Referência (MR). Sobretudo no caso com porosidade de 35% (MLIHB35), em que a média da velocidade do vento registrada no recuo frontal foi de aproximadamente 0,67 m/s, resultando em um acréscimo de mais de 200% em relação ao MR. Este nível caracterizaria a ventilação natural como satisfatória. Ressalta-se também que no caso MLIHB35, a média da velocidade a sotavento do muro foi mais elevada do que a barlavento. Contudo, quando se observa as condições internas da edificação a média da velocidade foi menor do que o MR (Figura 59). Este comportamento se relaciona com o padrão de movimentação do ar, que concentra o fluxo no nível do teto, como observado na análise qualitativa (Quadro 6 – vide p. 81).

Nota-se que as tipologias com Muros com Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD) e direcionadas para Esquerda (MLIVE) apresentaram resultados semelhantes quanto a velocidade do vento a barlavento do muro. Comparando com o Modelo de Referência (MR), ambas tipologias obtiveram um incremento acima de 50% para os casos com porosidade de 25% e um incremento de aproximadamente 90% para os casos com porosidade de 35%. Contudo, quando se observa a região de recuo frontal (sotavento do muro), verifica-se um comportamento distinto entre elas (Figura 60).

Nos casos MLIVD, o fluxo de vento obteve maiores velocidades nas áreas mais próximas do muro (s2), enquanto que nos casos MLIVE, os níveis mais elevados foram na região mais próxima da edificação (s4). Os casos com porosidade de 35% foram os que mais promoveram acréscimo na velocidade do vento. Para o caso MLIVD35 a média da velocidade do vento registrada foi de 0,44 m/s, um incremento de 100% em relação ao MR. Já o caso MLIVE35 obteve uma média de 0,48 m/s, resultando em um aumento de 120%. Dentro da edificação o caso MLIVD com porosidade maior (35%) obteve um resultado mais expressivo

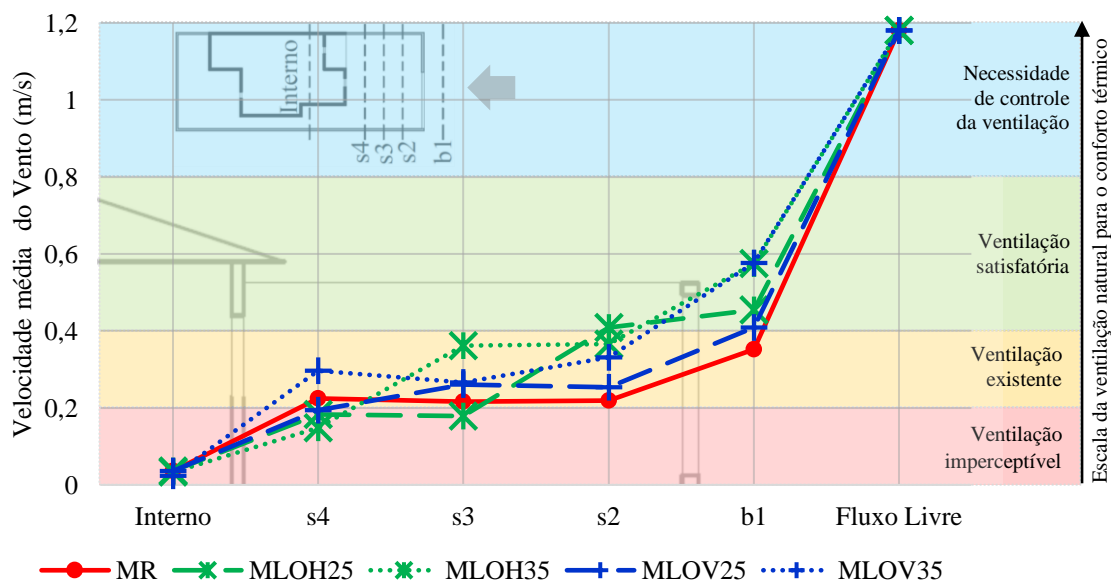
dentre as tipologias analisadas. Contudo, a média registrada ($\pm 0,10$ m/s) não gerou condições satisfatórias de ventilação natural para o conforto térmico (Figura 60).

Figura 60 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%)



As tipologias com Muros com Lâminas Ortogonais, tanto as horizontais (MLOH) como as verticais (MLOV), se aproximaram dos valores de velocidade do vento obtidos pelo Modelo de Referência (MR). Nas regiões a sotavento do muro os casos com porosidade maior (MLOH35 e MLOV35) obtiveram índices mais elevados, cerca de 0,30 m/s, um incremento de cerca de 30% em relação ao MR. O valor obtido para velocidade do ar caracterizaria a ventilação natural como existente, ou seja, perceptível, mas não satisfatória para o conforto térmico (Figura 61).

Figura 61 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%)



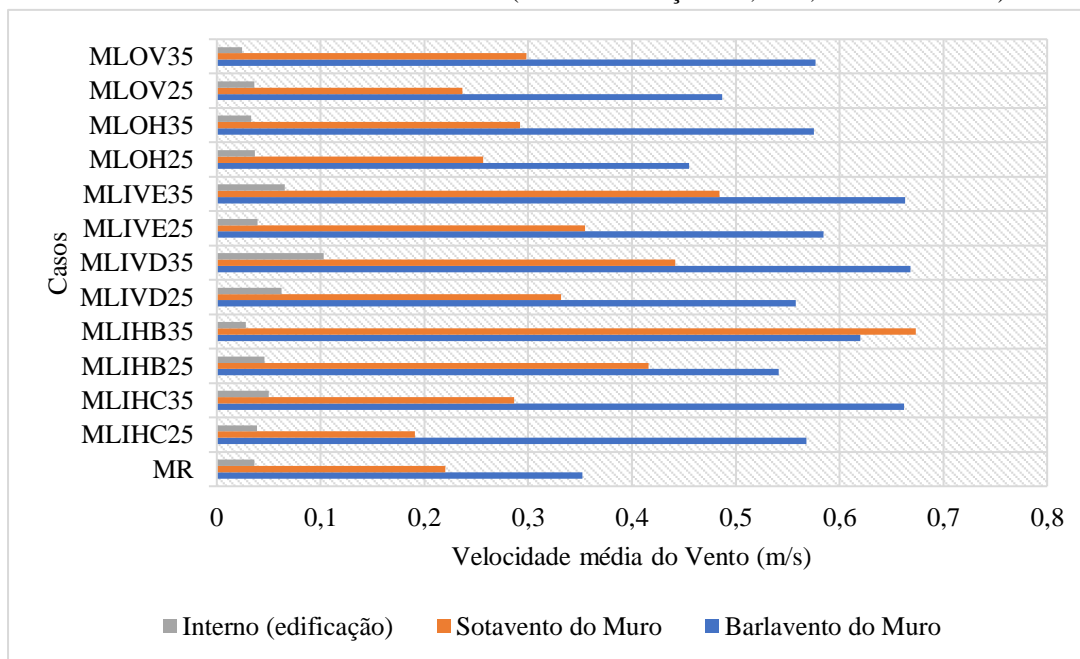
Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais	25 = porosidade de 25%	35 = porosidade de 35%
---------------	---------------------------	---	--	------------------------	------------------------

Fonte: Autora, 2018.

Comparando todos os modelos vazados no que se referem aos valores de velocidade do vento, conclui-se que quando o vento incide a 90°:

- Os valores de velocidade a barlavento do muro variaram entre 0,45 m/s (MLOH25) e 0,67 m/s (MLIVD35). O que resultou em um acréscimo entre 30% e 90% em relação ao Modelo de Referência (MR) (Figuras 62 e 63).
- O caso que apresentou melhor desempenho a sotavento do muro foi o com Lâminas Inclínadas Horizontais para Baixo com a porosidade de 35% (MLIHB35). Com incremento acima de 200% em relação ao Modelo de Referência (MR) (Figuras 62 e 63).
- O caso que apresentou pior desempenho a sotavento do muro foi o com Lâminas Inclínadas Horizontais para Cima com porosidade de 25% (MLIHC25). Visto que houve uma redução de 13% em relação ao Modelo de Referência (MR) (Figuras 62 e 63).
- Verificou-se que não existiram variações significativas nos valores obtidos para a região interna da edificação. Os resultados demonstraram baixas velocidades do vento, sem que houvessem melhoras evidentes nas condições de ventilação. Em alguns casos (MLOV35, MLIHB35 e MLOH35) as médias foram menores do que as obtidas no Modelo de Referência (MR) (Figuras 62 e 63).

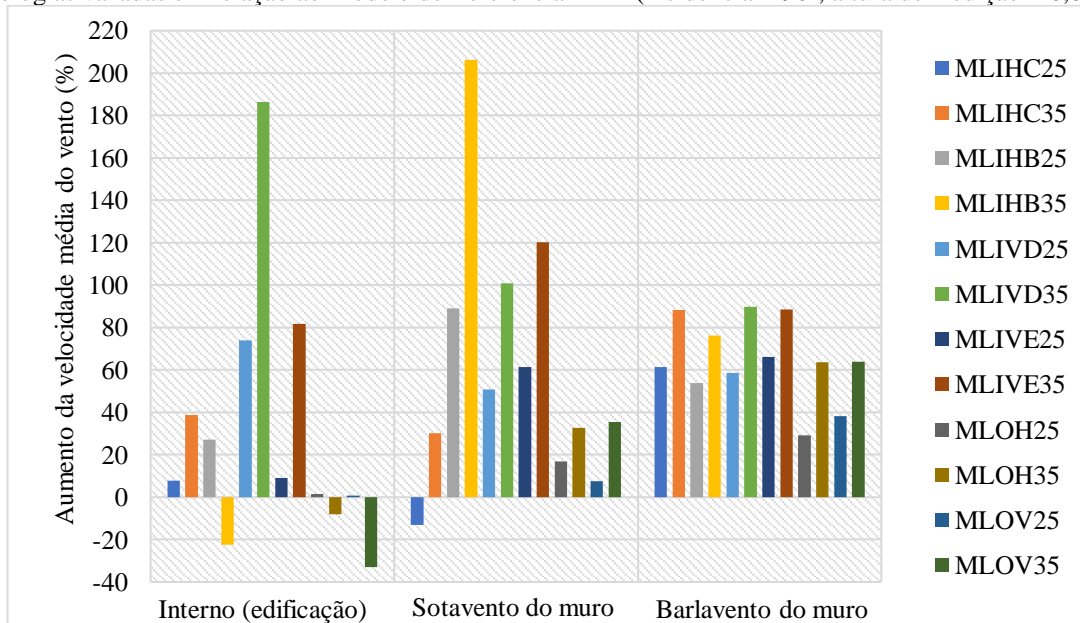
Figura 62 – Gráfico comparando os valores de velocidade média do vento dentro da edificação e nas regiões a sotavento e a barlavento do muro (altura de medição = 0,85 m, incidência = 90°)



Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	25 = porosidade de 25%	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
	35 = porosidade de 35%	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

Figura 63 – Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade média do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência - MR (incidência = 90°; altura de medição = 0,85 m)



Legenda Sigla	25 = porosidade de 25%	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	35 = porosidade de 35%	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
		MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

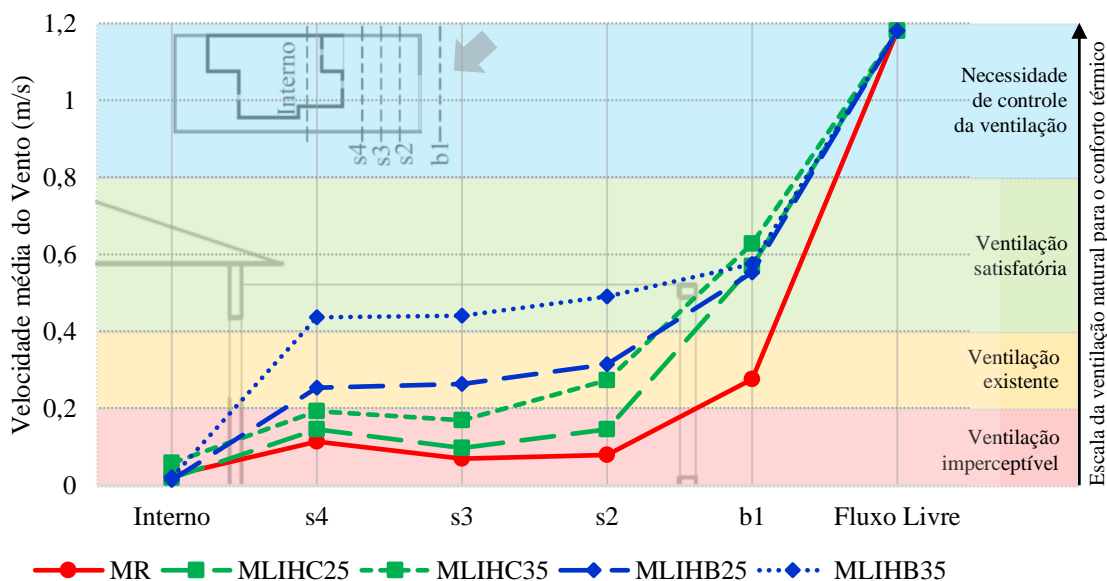
4.2.1.2 Incidência do vento a 45°

No Modelo de Referência (MR) os valores de velocidade do vento são menores do que os obtidos para a incidência de 90°. Na região a barlavento do muro houve uma redução de aproximadamente 76% em relação a velocidade do fluxo de vento livre. Na região a sotavento do muro e dentro da edificação os valores médios registrados não alcançaram 0,10 m/s. Nestas condições a ventilação natural é imperceptível para o conforto térmico (Figura 64).

As tipologias vazadas, no geral, também apresentaram valores de velocidade do vento menores do que a incidência a 90°. Ao serem comparadas com o Modelo de Referência (MR), verifica-se que estas obtiveram melhores desempenhos a barlavento e a sotavento do muro. Contudo, quando se considera a área interna da edificação, muitos casos vazados registraram valores inferiores ao MR (Figuras 64, 65 e 66).

Analisando a tipologia com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC), constata-se que ela não apresentou melhorias significativas na ventilação natural na região de recuo frontal e dentro da edificação. Entretanto, diferente da incidência do vento a 90°, os valores foram um pouco mais elevados do que o MR. O caso com porosidade de 35%, foi um pouco mais expressivo, alcançando a média de 0,21 m/s. Este valor caracterizaria a ventilação natural como existente, porém muito próxima do limiar mínimo (Figura 64).

Figura 64 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%)



Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo	25 = porosidade de 25% 35 = porosidade de 35%
---------------	---------------------------	---	---	--

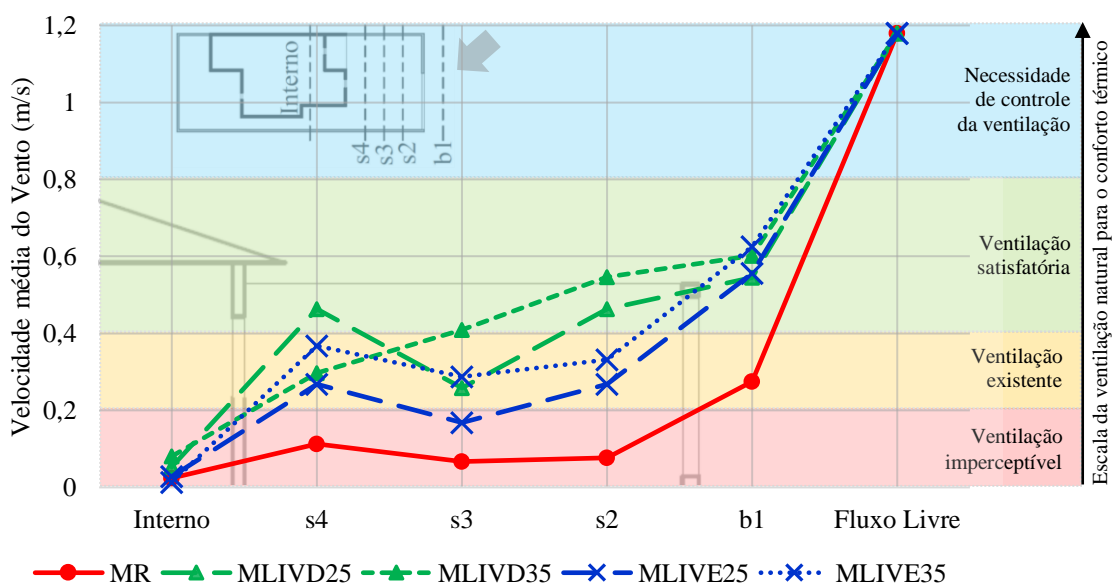
Fonte: Autora, 2018.

A tipologia com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB) permaneceu apresentando resultados melhores do que os casos MLIHC e MR. Contudo, com

médias de velocidade menores do que as obtidas na incidência do vento a 90°. O caso com porosidade de 35% alcançou um valor médio de 0,46 m/s na região a sotavento do muro, resultando em um incremento de cerca de 430% em relação ao Modelo de Referência (MR). Nestas condições a ventilação natural foi considerada satisfatória para o conforto térmico. O caso com porosidade menor apresentou valores menos expressivos, contudo, ainda houve um incremento acima de 200% em relação ao MR. Estes incrementos não se refletiram dentro da edificação, visto que devido ao padrão de distribuição do fluxo de vento, a tipologia MLIHB apresentou resultados inferiores ao MR (Figura 64).

Com a incidência do vento a 45°, os casos das tipologias de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD) e com Lâminas Inclínadas direcionadas para Esquerda (MLIVE) apresentaram resultados semelhantes na região a barlavento do muro. No entanto, quando se analisa o recuo frontal (sotavento do muro), percebem-se melhores desempenhos para o MLIVD, sobretudo no caso com a porosidade maior (35%). Para este caso a média da velocidade foi de 0,42 m/s, gerando um incremento de aproximadamente 386% em relação ao Modelo de Referência (MR). O que resultou em condições satisfatórias de ventilação natural. Dentre todas as tipologias, o caso MLIVD (35%) também foi o que obteve valores de velocidade do vento mais elevados dentro da edificação. Mesmo assim, não alcançou níveis que possibilitassem uma ventilação natural perceptível (Figura 65).

Figura 65 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%)

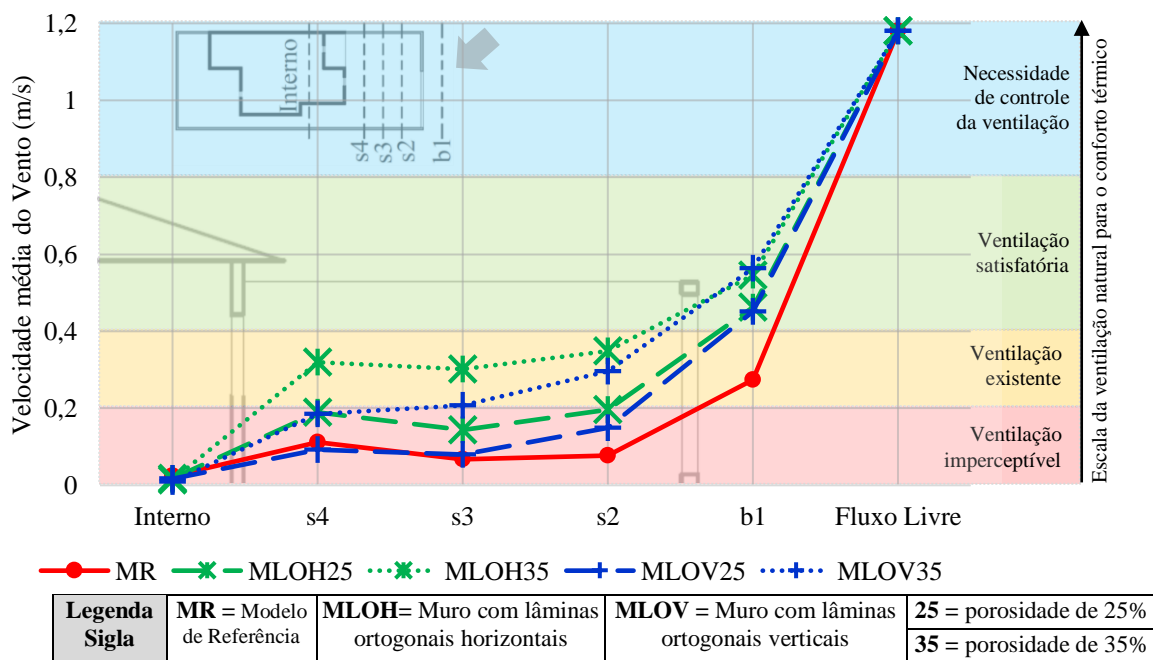


Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda	25 = porosidade de 25%	35 = porosidade de 35%
---------------	---------------------------	--	--	------------------------	------------------------

Fonte: Autora, 2018.

No geral, os casos da tipologia de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO) se mantiveram apresentando desempenhos inferiores em relação às outras tipologias vazadas. Principalmente quando se analisa a área interna da edificação, em que para todos os casos os valores de velocidade do vento obtiveram médias inferiores ao Modelo de Referência (MR). Considerando a região de recuo frontal (sotavento do muro), o caso com Lâminas Ortogonais Horizontais com porosidade de 35% (MLOH35) obteve resultados mais expressivos, alcançando uma média de 0,32 m/s, o que resultou em um incremento de cerca de 277% em relação ao MR. Já o pior desempenho foi registrado no Muro com Lâminas Ortogonais Verticais com porosidade de 25% (MLOV25), este foi o modelo que mais se assemelhou ao muro impermeável (MR) (Figura 66).

Figura 66 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%)



Fonte: Autora, 2018.

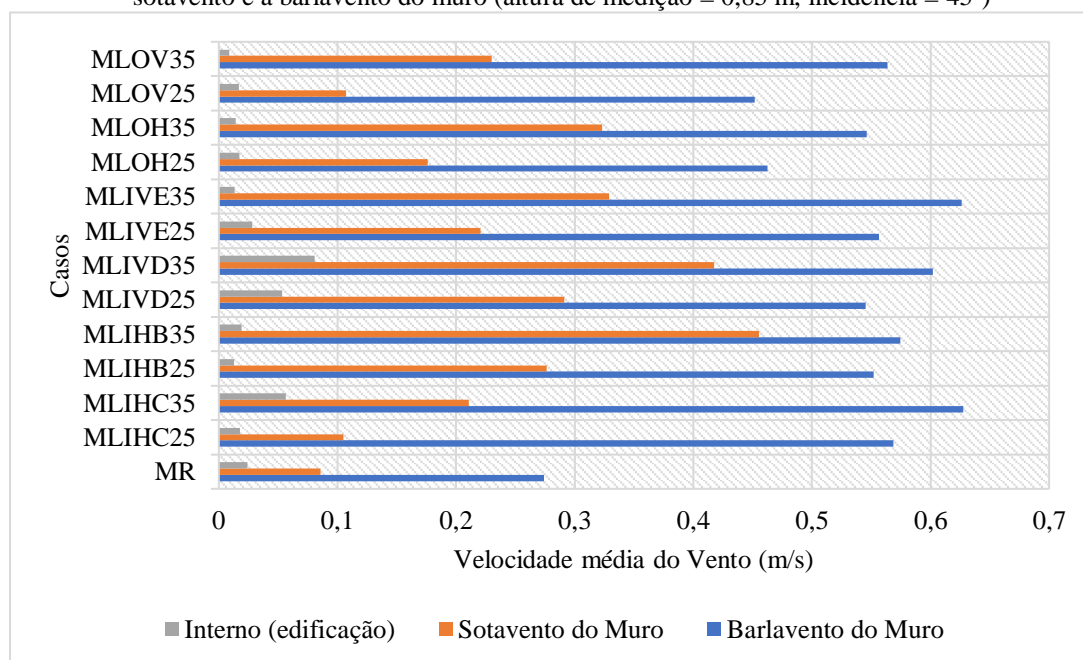
Comparando todos os modelos vazados no que se referem aos valores de velocidade do vento, é possível concluir que quando o vento incide a 45°:

- Os valores de velocidade do vento a barlavento do muro não variaram consideravelmente entre si. Estes apresentaram um incremento médio de aproximadamente 100% em relação ao Modelo de Referência (MR) (Figura 67).
- Na região a sotavento do muro os melhores desempenhos foram encontrados nos casos com porosidade maior (35%). Destacam-se os casos do Muro com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB35) e Muro com Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD35). Foram os únicos casos em que se

constatarem condições de ventilação natural satisfatórias para o conforto térmico (Figura 67).

- Os casos de Muros com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima com porosidade de 25% (MLIHC25) e com Lâminas Ortogonais Verticais de mesma porosidade (MLOV25) apresentaram os piores desempenhos na região a sotavento muro. As médias da velocidade do vento ficaram em torno de 0,11 m/s, resultando em condições insatisfatórias de ventilação natural (Figura 67).

Figura 67 – Gráfico comparando os valores de velocidade média do vento dentro da edificação e nas regiões a sotavento e a barlavento do muro (altura de medição = 0,85 m, incidência = 45°)

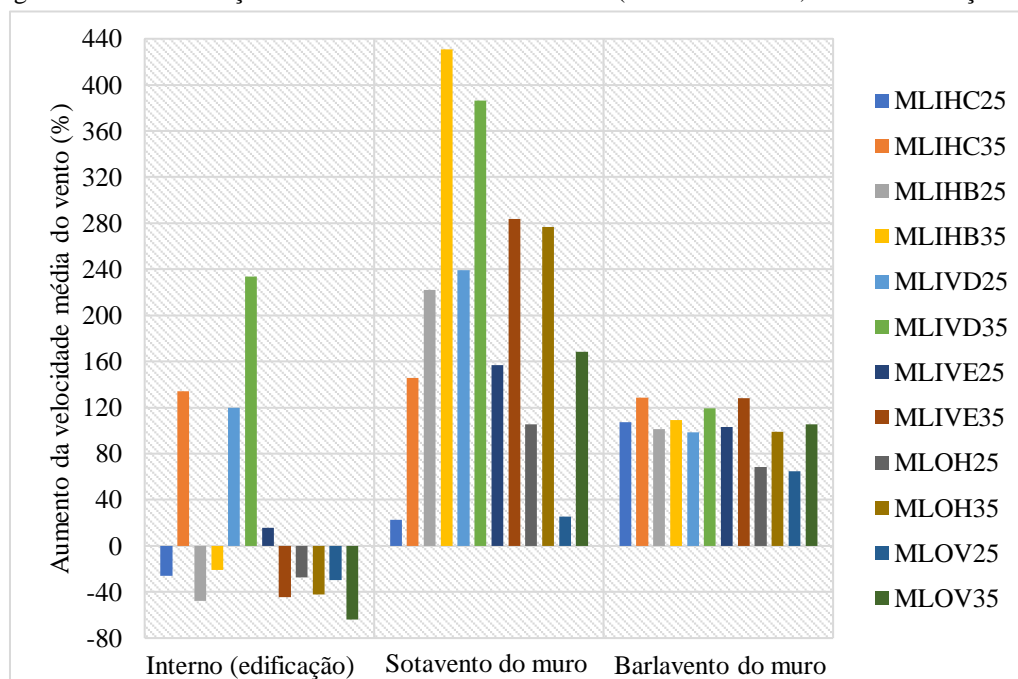


Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	25 = porosidade de 25%	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
	35 = porosidade de 35%	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

- Dentro da edificação os valores de velocidades do vento foram mais baixos do que a incidência do vento a 90°. Com exceção dos casos: Muro com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima com porosidade de 35% (MLIHC35), Muros com Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD35 e MLIVD25) e Muro com Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Esquerda com porosidade de 25% (MLIVE25), todos os modelos apresentaram redução dos níveis em comparação com o Modelo de Referência (MR) (Figura 68).

Figura 68 – Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade média do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência - MR (incidência = 45°; altura de medição = 0,85 m)



Legenda Sigla	25 = porosidade de 25%	MLIHC = Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	35 = porosidade de 35%	MLIVD = Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
		MLOH = Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

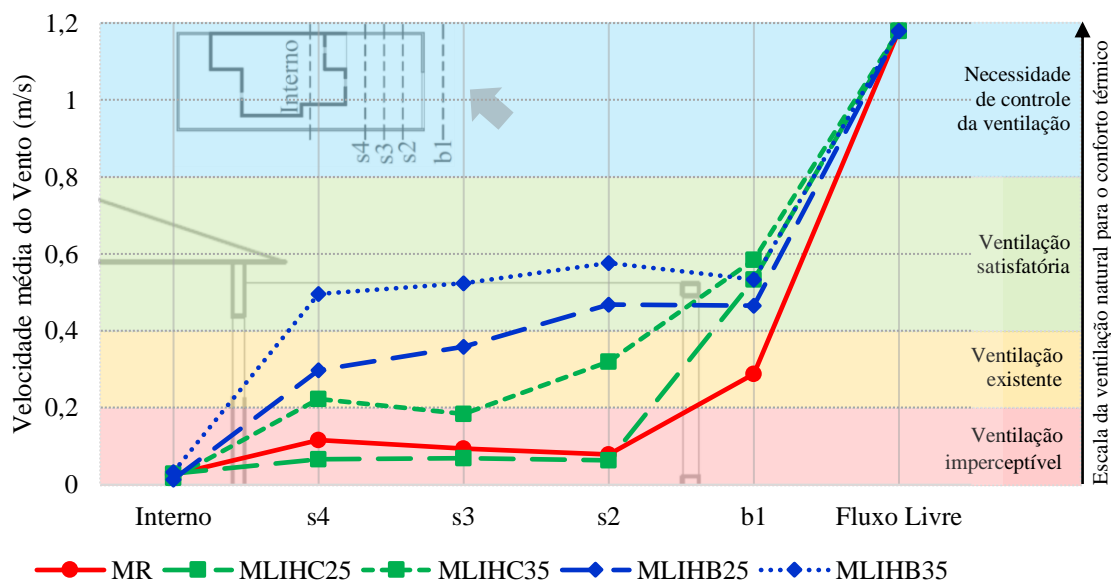
Fonte: Autora, 2018.

4.2.1.3 Incidência do vento a 135°

Quando o vento incidiu a 135°, o desempenho do Modelo de Referência (MR) não apresentou diferenças significativas ao ser comparado com o comportamento identificado na incidência do vento a 45°. Com algumas exceções, o mesmo tendeu a ocorrer com as tipologias vazadas. No entanto, nota-se que os valores da velocidade do vento dentro da edificação foram ainda mais reduzidos (Figura 69).

Analisando a região de recuo frontal (sotavento do muro), a tipologia com Muros de Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para baixo (MLIHB) continuou apresentando desempenho mais satisfatório, sobretudo o caso com porosidade de 35%. Enquanto que a tipologia de Muros de Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) não obteve resultados tão expressivos, principalmente o caso com menor porosidade (25%). Neste inclusive houve uma diminuição de aproximadamente 31% em relação ao Modelo de Referência (MR). Considerando o interior da edificação, verifica-se que nos casos MLIHB35 e MLIHC25 houve um acréscimo sutil nos valores da velocidade. Em contrapartida, os modelos MLIHC35 e o MLIHB25 apresentaram médias inferiores ao MR (Figura 69).

Figura 69 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%)



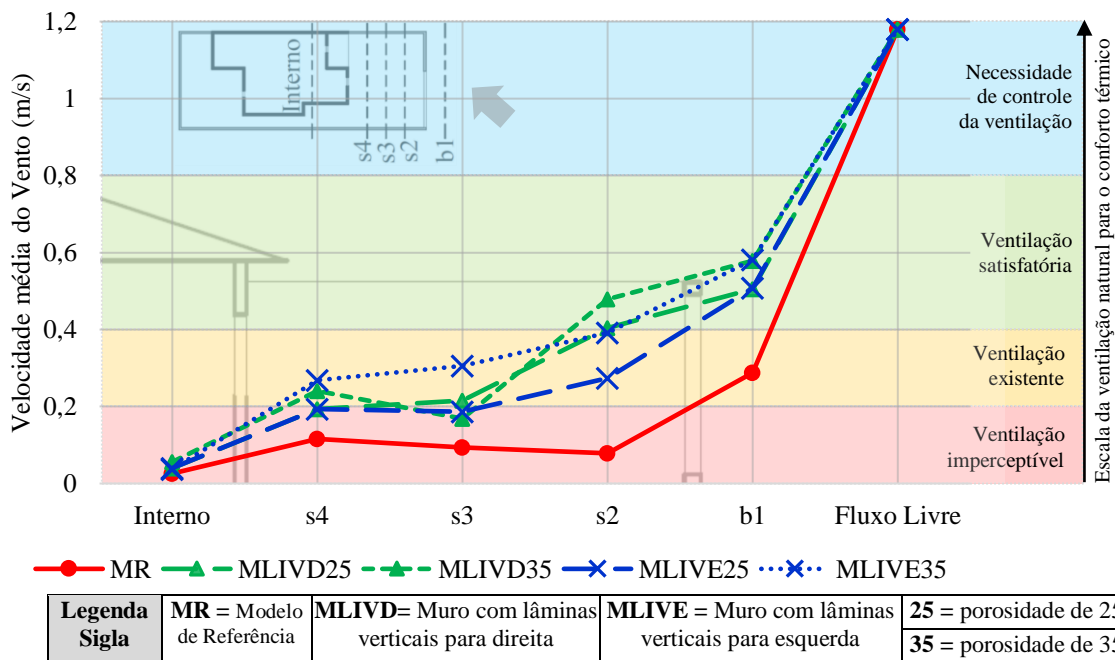
Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC = Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo	25 = porosidade de 25%	35 = porosidade de 35%
----------------------	----------------------------------	---	--	-------------------------------	-------------------------------

Fonte: Autora, 2018.

Os casos da tipologia de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais (MLIV) apresentaram resultados relativamente semelhantes entre si. No entanto, destaca-se o desempenho obtido pelo caso com Muro de Lâminas Inclínadas Verticais Direcionadas para Esquerda com porosidade de 35% (MLIVE35), visto que este apresentou uma média mais elevada na região a sotavento do muro. Na região interna da edificação, o caso com resultados mais expressivos foi o Muro com Lâminas Inclínadas Verticais Direcionadas para Direita com a porosidade maior (MLIVD35). Porém os valores de velocidade obtidos não atingiram níveis satisfatórios de ventilação natural para conforto térmico (Figura 70).

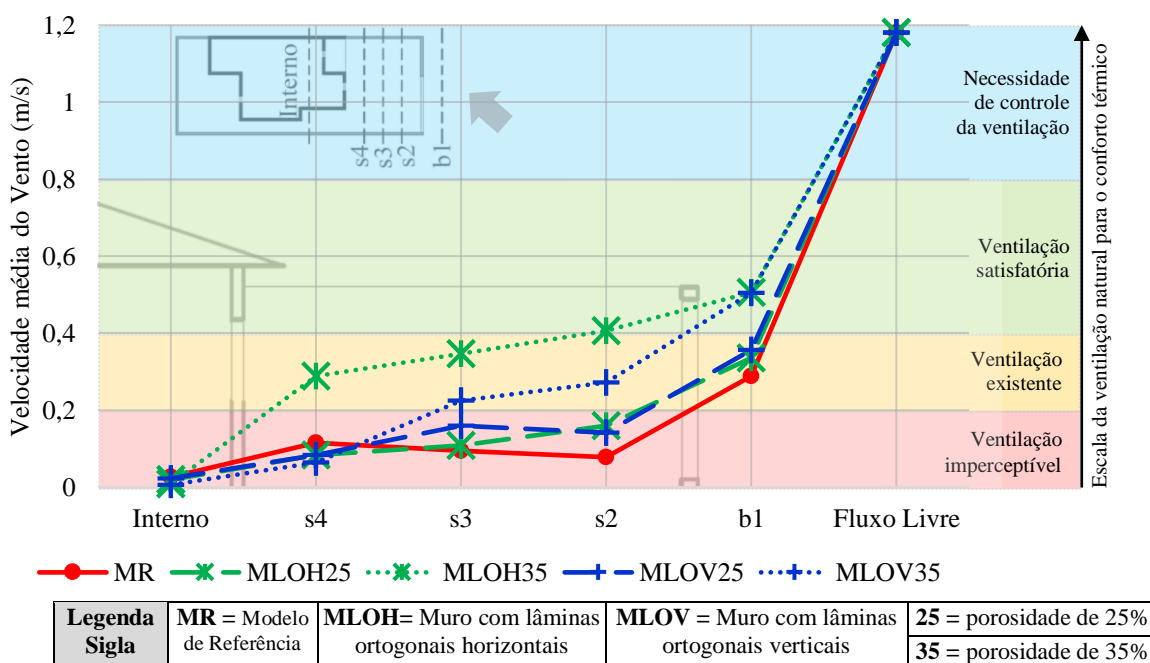
Dentre os Modelos com Lâminas Ortogonais (MLO), o caso que obteve melhor desempenho na região a sotavento do Muro foi o com Lâminas Ortogonais Horizontais com porosidade maior (MLOH35). Este apresentou um incremento de aproximadamente 262% em relação ao Modelo de Referência (MR). Contudo, não resultou em condições de ventilação natural satisfatórias. Os casos com porosidade de 25% (MLOH25 e MLOV25) foram os que registraram os menores valores. Considerando a área interna da edificação, constata-se que todos os casos da tipologia MLO apresentaram médias inferiores ao MR (Figura 71).

Figura 70 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 71 – Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico. Casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%)



Fonte: Autora, 2018.

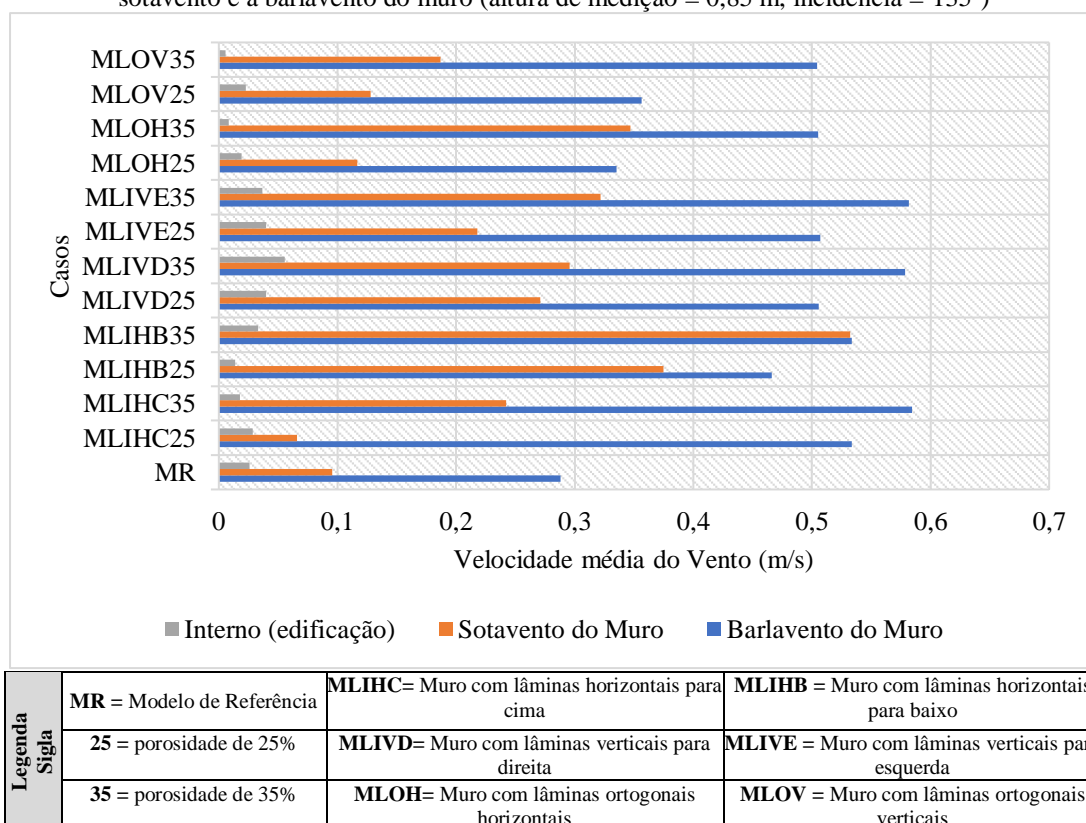
Comparando todos os modelos vazados no que se referem aos valores de velocidade do vento, é possível concluir que quando o vento incide a 135°:

- Na região a barlavento do muro os valores de velocidade do vento não variaram consideravelmente, sendo a média cerca de 0,53 m/s. As exceções foram os casos com

Lâminas Ortogonais com porosidade de 25% (MLOH25 e MLOV25), que se aproximaram dos valores registrados no Modelo de Referência (MR) (Figuras 72 e 73).

- Na região a sotavento do muro o melhor desempenho foi para o modelo com Muro de Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Baixo, com porosidade de 35% (MLIHB35). Este foi o único caso em que a ventilação natural atingiu a média acima de 0,40 m/s, sendo considerado um nível satisfatório para o conforto térmico. Já o pior desempenho foi registrado pelo Muro com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima, com porosidade de 25% (MLIHC25) (Figuras 72 e 73).
- Dentro da edificação os valores obtidos para todos os casos ficaram abaixo de 0,03 m/s. Tornando as condições de ventilação natural bastante insatisfatórias (Figura 72).

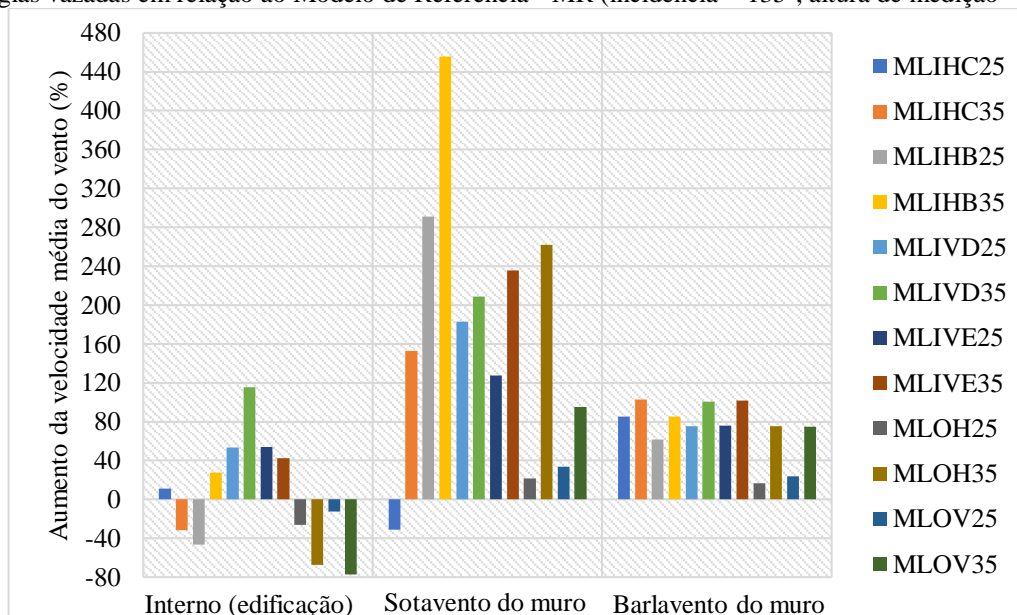
Figura 72 – Gráfico comparando os valores de velocidade média do vento dentro da edificação e nas regiões a sotavento e a barlavento do muro (altura de medição = 0,85 m, incidência = 135°)



Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	25 = porosidade de 25%	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
	35 = porosidade de 35%	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

Figura 73 – Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade média do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência - MR (incidência = 135°; altura de medição = 0,85 m)



Legenda Sigla	25 = porosidade de 25%	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
		MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
	35 = porosidade de 35%	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

4.2.2 Coeficientes de pressão (Cps)

4.2.2.1 Incidência do vento a 90°

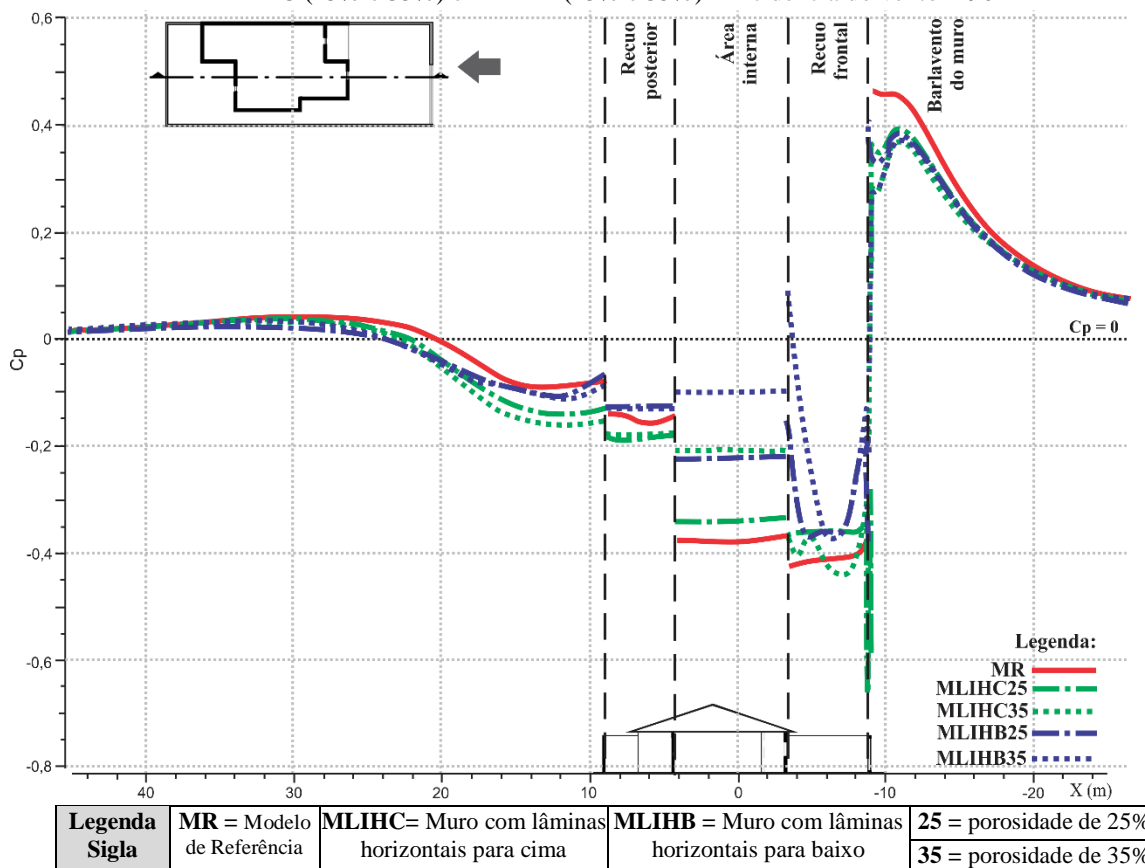
De um modo geral, verifica-se que os Coeficientes de Pressão (Cps) aumentaram antes do fluxo de vento encontrar o muro, devido ao efeito do bloqueio promovido pela barreira. No Modelo de Referência (MR) esse aumento foi maior do que nas tipologias vazadas, isto ocorreu devido a influência da taxa porosidade, que no caso do MR é nula (Figura 74).

No MR, os valores de C_p decaem drasticamente a sotavento do muro, se mantendo constantes na região de recuo frontal. Neste caso, os valores voltaram a aumentar na área interna da edificação e mais ainda na área de recuo posterior (Figura 74). Este padrão confirmou a probabilidade da ocorrência do fluxo reverso, identificado na análise qualitativa (Quadro 5 – vide p. 81).

Verifica-se que a tipologia de Muros com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) se assemelha ao padrão do MR. Em contrapartida, nos casos com Muros com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), nota-se que os valores a sotavento do muro não se mantiveram constantes. Estes atingiram o menor índice no centro do recuo frontal e se elevaram nas proximidades da fachada da edificação, decaindo novamente na área interna da mesma (Figura 74). O que promoveu a incidência do fluxo dentro da

edificação. Isto ocorreu de forma mais acentuada no caso com porosidade maior (MLIHB35), em que foram registrados maiores valores de velocidade do vento.

Figura 74 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%) – incidência do vento = 90°

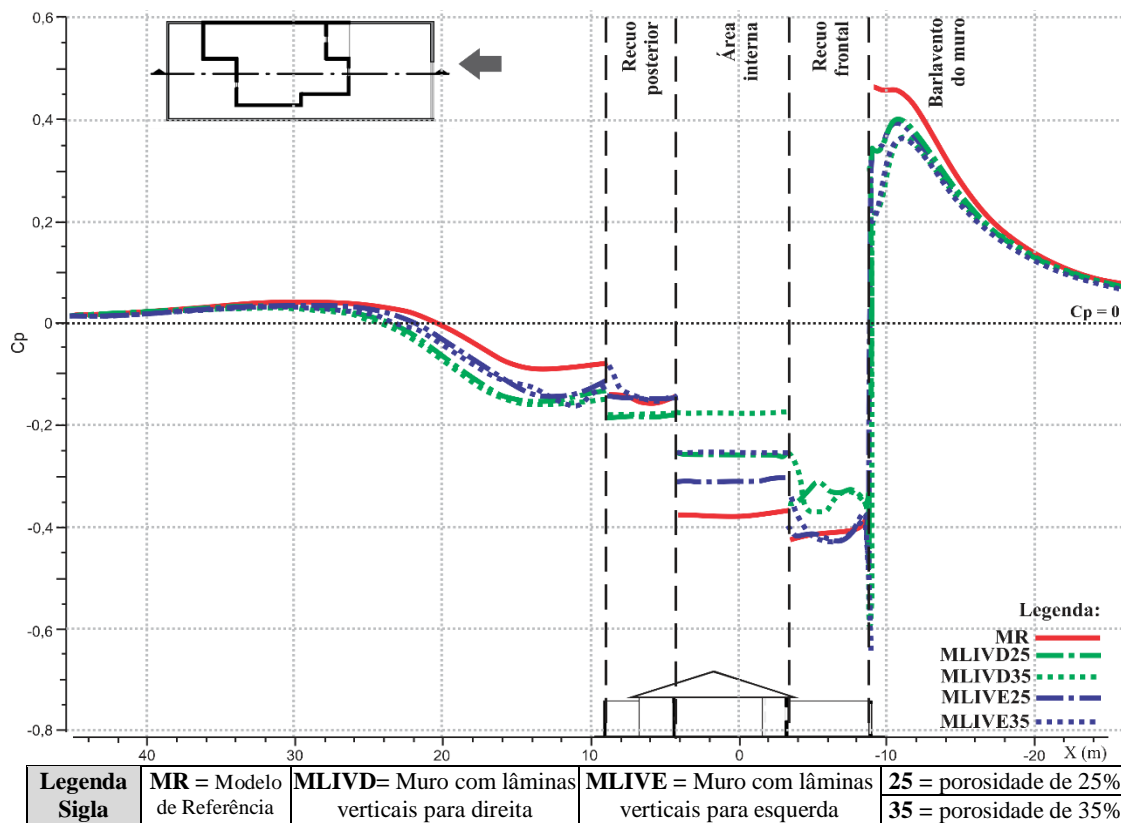


Fonte: Autora, 2018.

No geral, os casos das tipologias de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais (MLIV) e Muros com Lâminas Ortogonais (MLO) apresentaram comportamentos semelhantes entre si. No recuo frontal os valores dos Cps foram menores do que os registrados dentro da edificação e no recuo posterior (Figuras 75 e 76). Assim, semelhante ao MR e aos casos MLIHC, predominou o fluxo reverso. Contudo, ressalta-se que em alguns casos, como o Muro com Lâminas Inclínadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD), a incidência do vento ocorreu pela outra abertura da edificação (Quadro 7 – vide p. 85), esta não aparece no plano de corte da Figura 75.

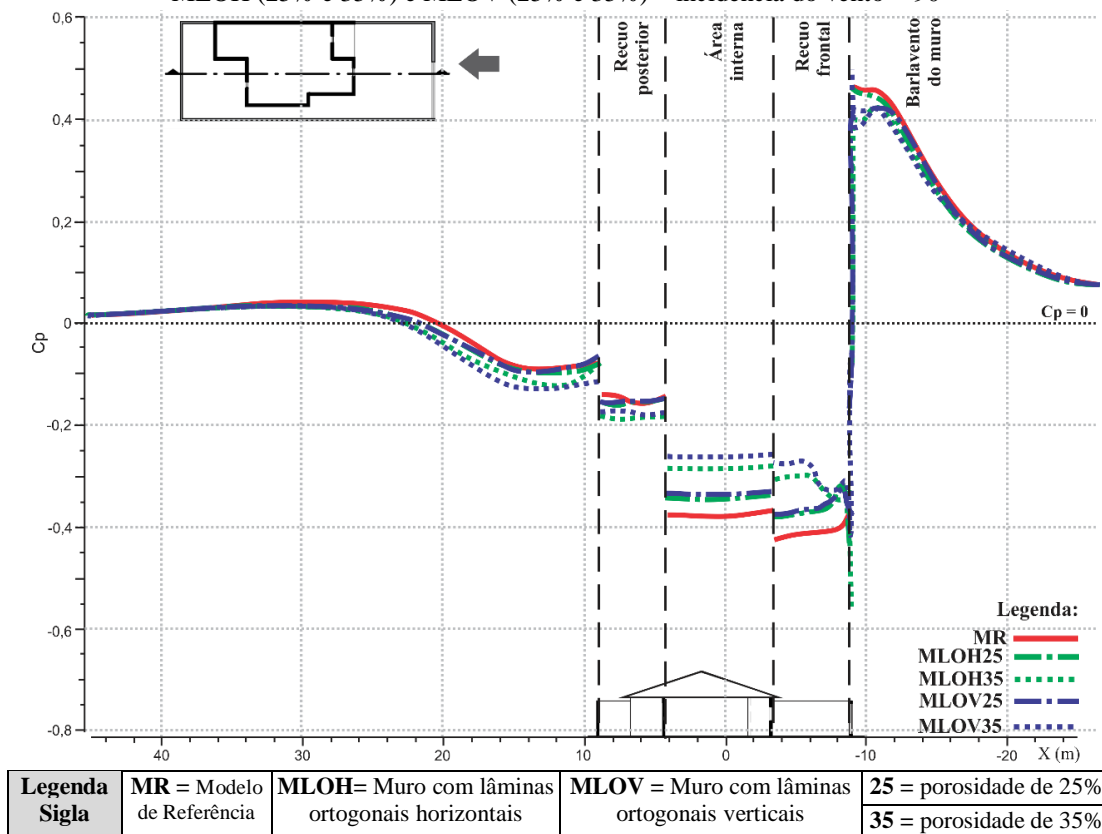
Percebe-se que os Cps dentro do lote da edificação assumem valores negativos em todas as tipologias vazadas. As tipologias de menor porosidade (25%) foram aquelas que apresentaram Cps mais reduzidos. No geral, os resultados obtidos se assemelharam consideravelmente aos padrões encontrados no trabalho de Chang (2006, vide p. 44).

Figura 75 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) – incidência do vento = 90°



Fonte: Autora, 2018.

Figura 76 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) – incidência do vento = 90°



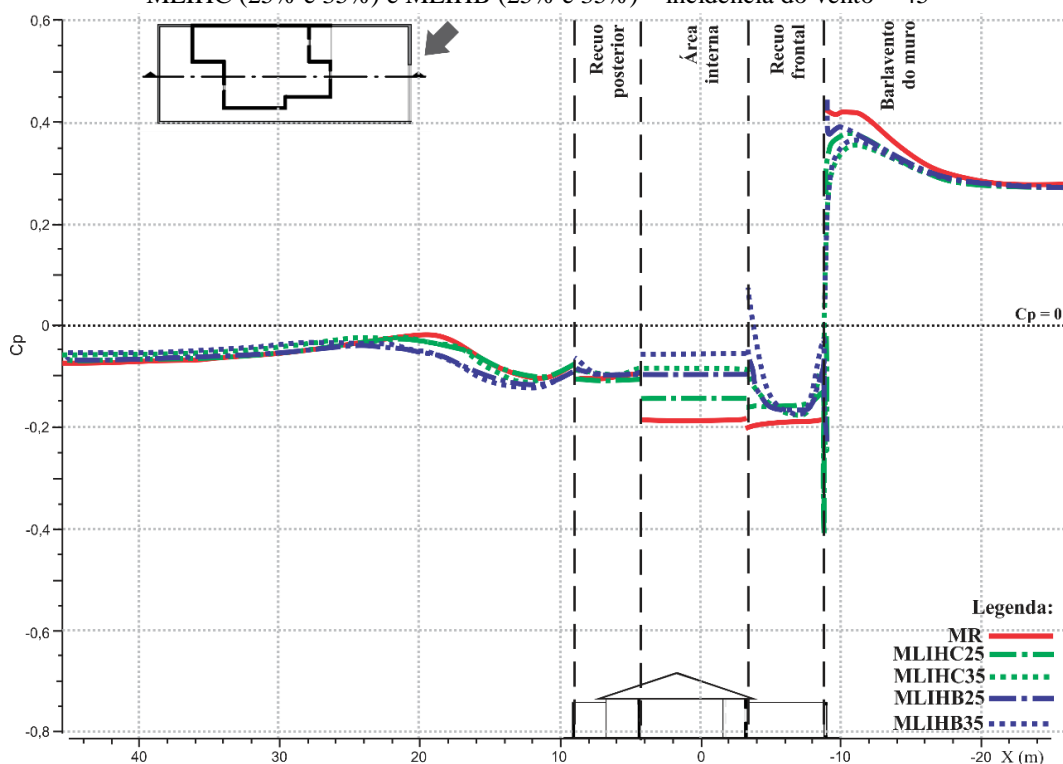
Fonte: Autora, 2018.

4.2.2.2 Incidência do vento a 45°

Quando o vento incide a 45°, percebe-se que as diferenças entre os valores máximos e mínimos dos coeficientes de pressão (ΔC_p) se reduziram consideravelmente nas tipologias analisadas (Figuras 77, 78 e 79). O que implicou, de um modo geral, na diminuição da movimentação do ar nos modelos, como constatado na análise das velocidades do vento (vide p. 106 - 110).

Os valores dos C_p s a barlavento do muro permaneceram semelhantes à incidência do vento a 90°. Contudo, os valores a sotavento foram mais elevados, ou seja, os resultados foram menos negativos. Nesta região, nota-se que o Modelo de Referência (MR) apresentou o valor mais reduzido e o menor ΔC_p entre as áreas de recuo frontal e interna da edificação. Comportamento semelhante foi obtido pelo Muro com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima com porosidade de 25% (MLIHC25) (Figura 77).

Figura 77 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (C_p s) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%) – incidência do vento = 45°



Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC = Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo	25 = porosidade de 25%
				35 = porosidade de 35%

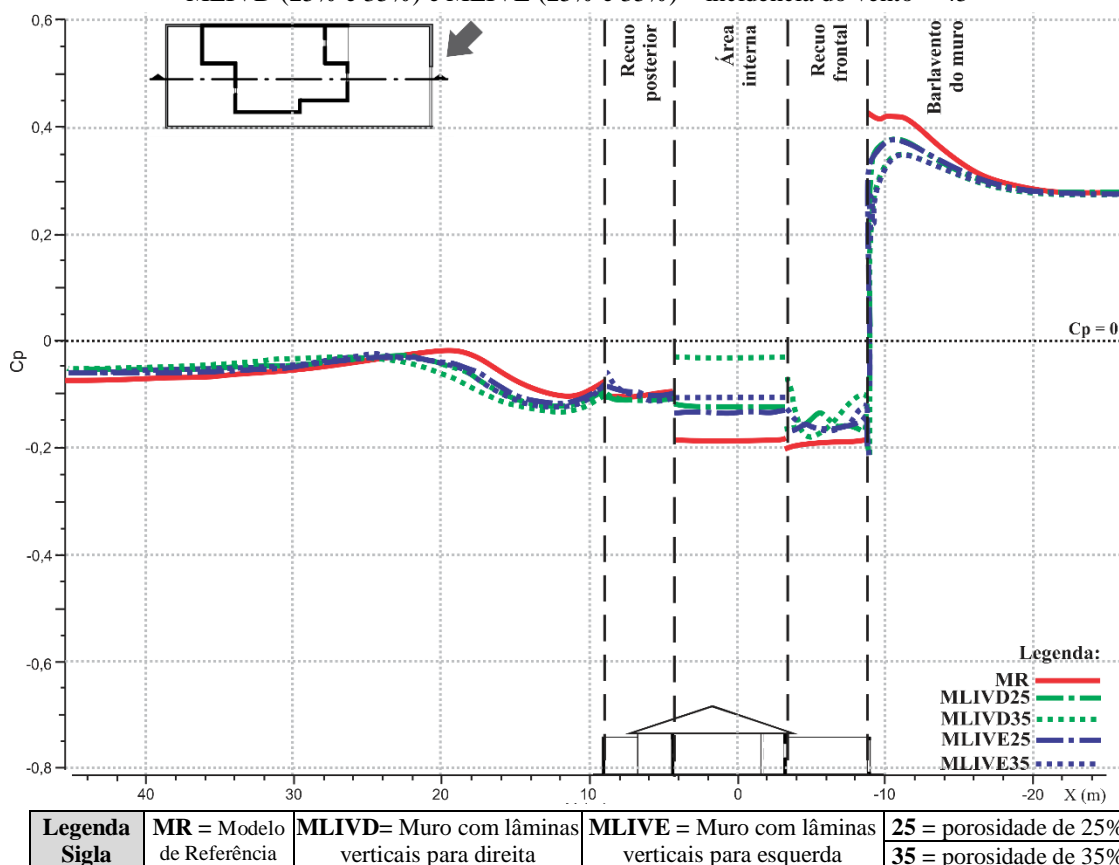
Fonte: Autora, 2018.

A tipologia com Muros de Lâminas Inclínadas direcionadas para Baixo (MLIHB) foi a única que no recuo frontal apresentou valores de C_p s maiores do que os obtidos dentro da edificação. Sendo o caso com porosidade de 35% (MLIHB35) o que apresentou maior ΔC_p

entre essas regiões (Figura 77). Esta condição favorece a incidência do fluxo de vento pelas aberturas, como verificado na análise qualitativa (Quadro 12 – vide p. 89).

Analisando o comportamento dos Cps na Tipologia de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais (MLIV), percebe-se que os valores obtidos no recuo frontal são menores ou praticamente iguais aos registrados internamente ($\Delta C_p \cong 0$). Fato que não favorece a entrada do fluxo pela abertura (Figura 78). Semelhante ao observado na incidência do vento a 90° , ressaltasse que os casos com Lâminas direcionadas para Direita (MLIVD) a entrada do vento ocorreu pela outra abertura da edificação (Quadro 13 – vide p. 91).

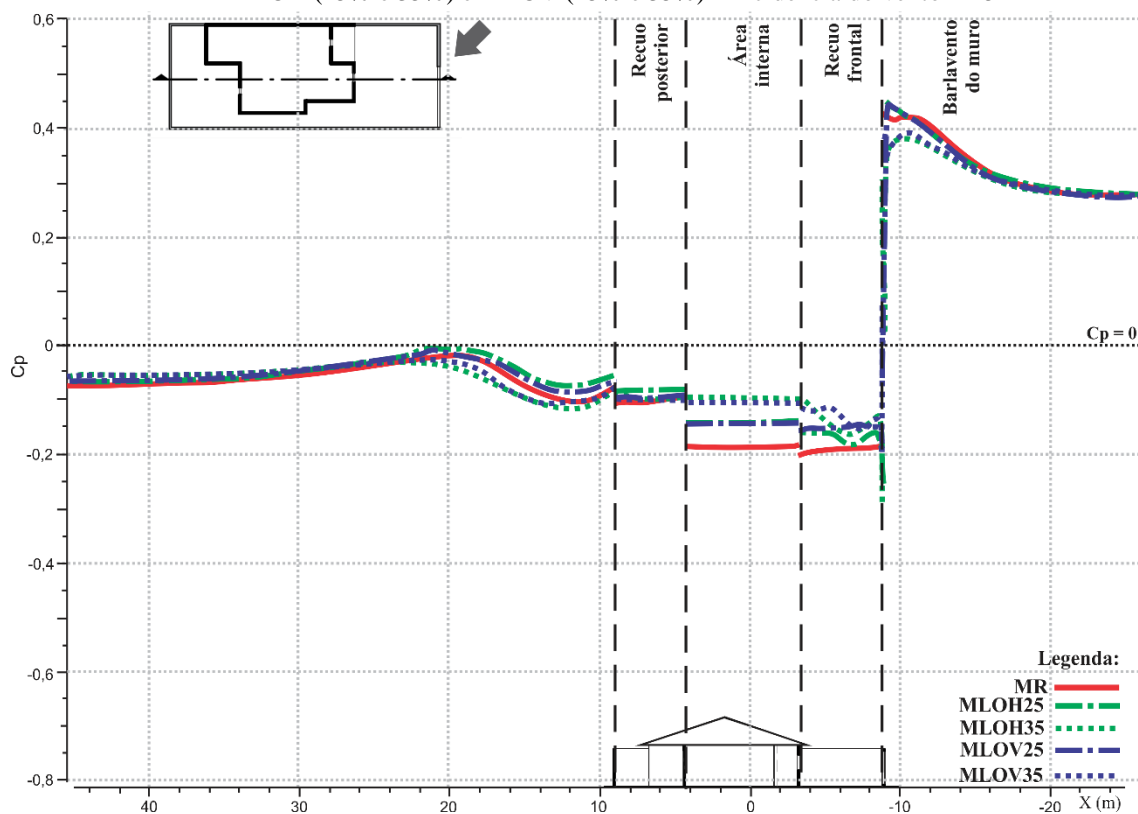
Figura 78 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) – incidência do vento = 45°



Fonte: Autora, 2018.

A tipologia com Muros de Lâminas Ortogonais (MLO) apresentou padrões de Cps semelhantes entre si, com pequenas variações nas regiões de recuo frontal e dentro da edificação ($\Delta C_p \cong 0$). O que influenciou na baixa movimentação do ar nos modelos analisados (Figura 79).

Figura 79 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) – incidência do vento = 45°



Legenda	MR = Modelo de Referência	MLOH = Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais	25 = porosidade de 25%
Sigla				35 = porosidade de 35%

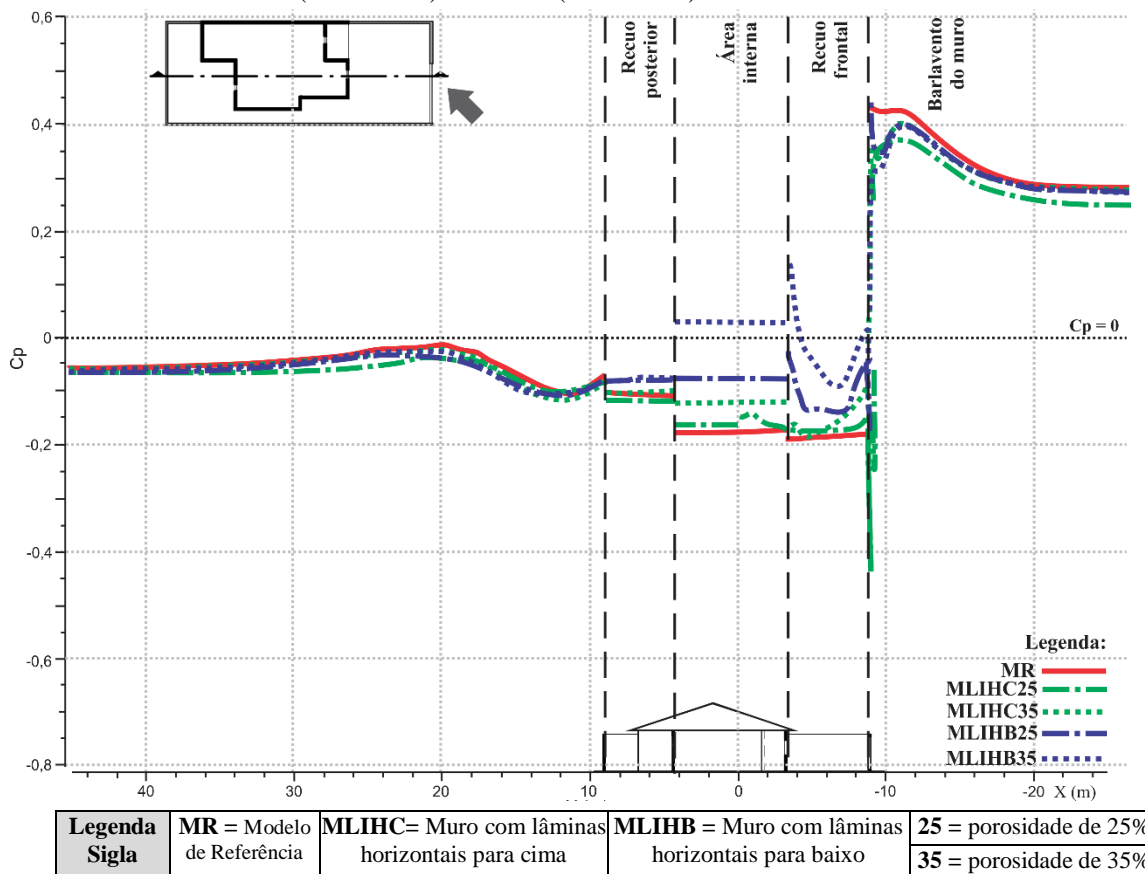
Fonte: Autora, 2018.

4.2.2.3 Incidência do vento a 135°

Quando o vento incide a 135°, verificou-se bastante semelhança com a incidência a 45°, sobretudo nas pequenas variações dos Cps ao longo da trajetória do escoamento ($\Delta C_p \cong 0$). Uma condição que resultou em baixas movimentações do ar nos modelos analisados (Figuras 80, 81 e 82).

A tipologia de Muros com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB) permaneceu apresentando desempenhos melhores, com destaque para o caso com porosidade de 35% (MLIHB35). Neste, os valores de Cps foram positivos tanto no recuo frontal como na área interna da edificação. Esta área registrou um valor mais próximo de 0, o que indicou um ΔC_p mais elevado, favorecendo a ventilação natural. Em contrapartida, a tipologia de Muros com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) apresentou poucas variações nos valores de Cps, se assemelhando ao MR, principalmente o modelo com porosidade menor (25%) (Figura 80).

Figura 80 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIHC (25% e 35%) e MLIHB (25% e 35%) – incidência do vento = 135°

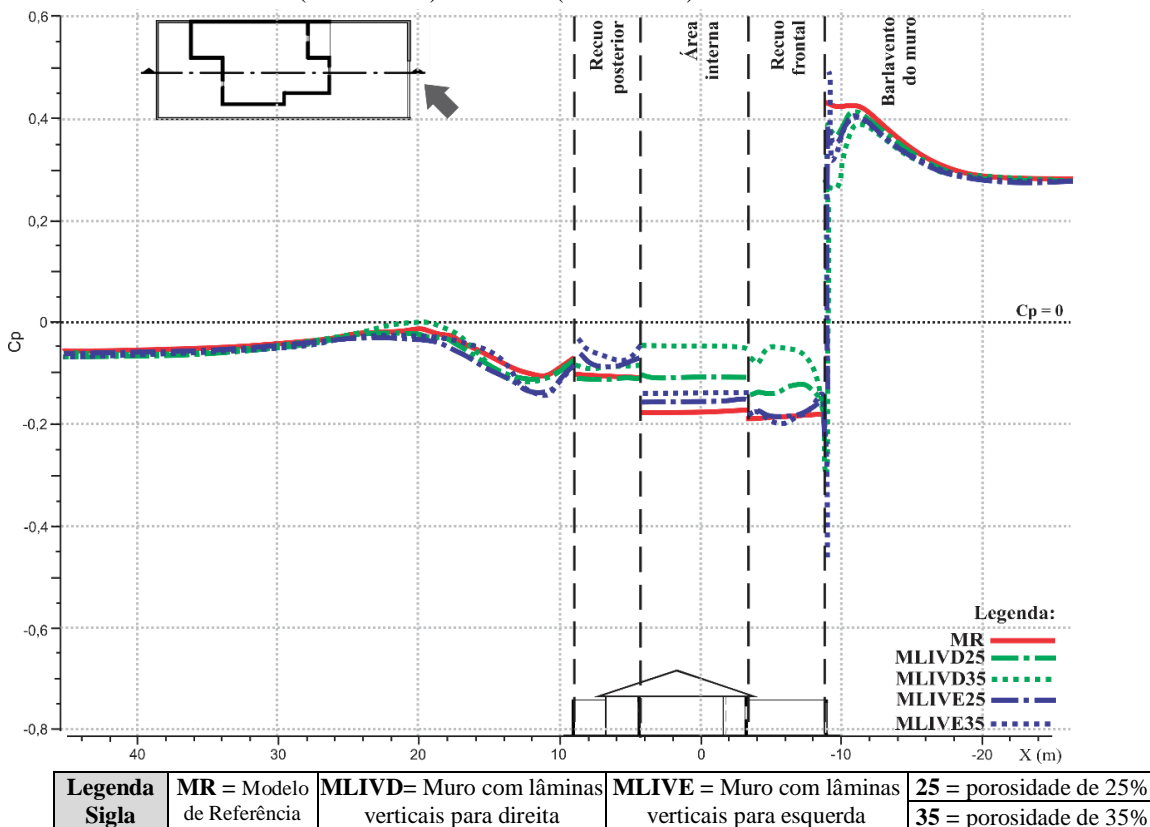


Fonte: Autora, 2018.

Dentre os muros com Lâminas Inclínadas Verticais (MLIV), os casos com melhores desempenhos foram os de porosidade maior (35%), sobretudo o modelo com Lâminas direcionadas para Direita (MLIVD35). Neste caso, percebe-se que os valores dos Cps tendem a aumentar na região central e decair levemente nas proximidades da fachada da edificação (Figura 81), permanecendo constantes na área interna. Este padrão confirma a análise qualitativa, em que se observou uma leve incidência de vento pela abertura (Quadro 20 – vide p. 97).

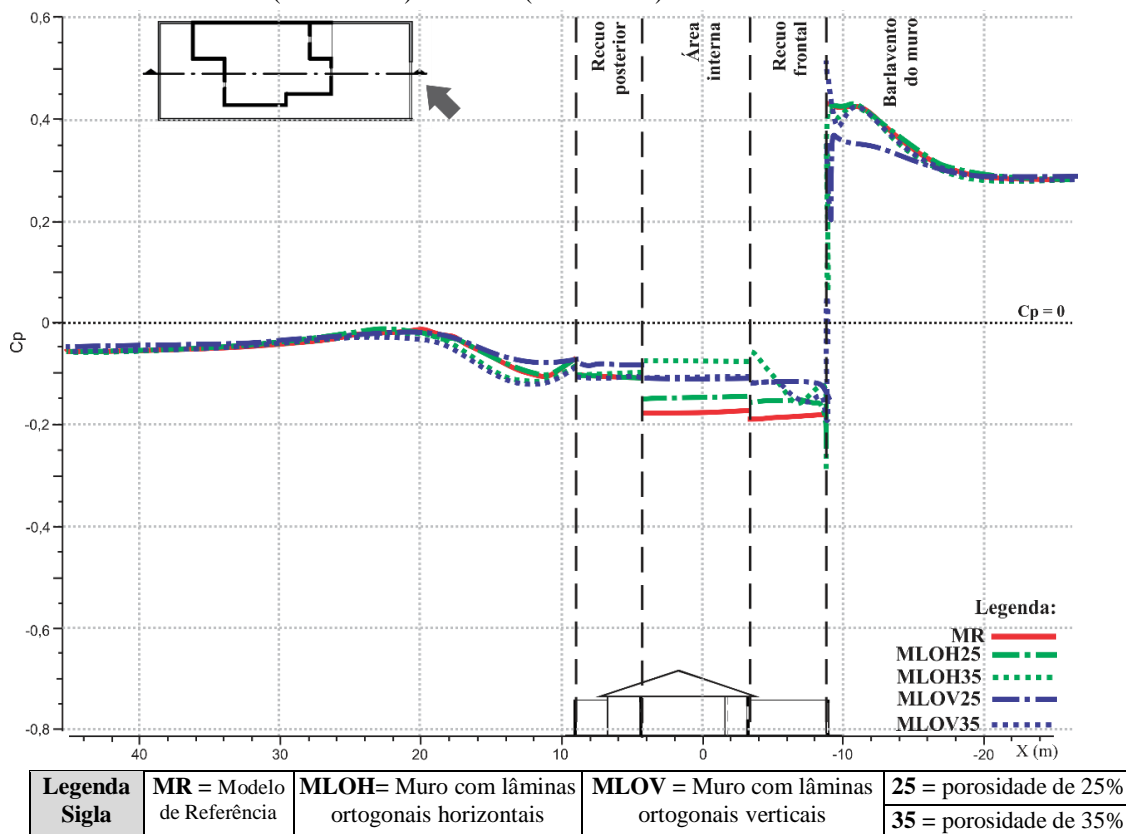
Nota-se que na tipologia de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO) os valores dos Cps foram os que permaneceram mais constantes depois que o escoamento ultrapassa o muro ($\Delta C_p \cong 0$). Ressalta-se apenas que os casos com a porosidade maior (35%), sobretudo o Muro com Lâminas Horizontais (MLOH35), apresentaram um comportamento sutilmente mais favorável a incidência do vento pela abertura, do que os casos com porosidade menor (25%). Visto que, os valores do Cps no recuo frontal foram um pouco mais elevados do que os registrados na área interna da edificação (Figura 82).

Figura 81 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLIVD (25% e 35%) e MLIVE (25% e 35%) – incidência do vento = 135°



Fonte: Autora, 2018.

Figura 82 – Gráfico demonstrando o comportamento dos Coeficientes de Pressão (Cps) para os casos: MR, MLOH (25% e 35%) e MLOV (25% e 35%) – incidência do vento = 135°



Fonte: Autora, 2018.

4.3 Considerações sobre o capítulo e proposição de uso dos muros vazados

4.3.1 Modelo de Referência (MR) x Tipologias de Muros Vazados

De uma maneira geral, os resultados evidenciaram o impacto promovido pelo Modelo de Referência (MR) na redução do aproveitamento da ventilação natural na edificação, visto que este desviou boa parte do fluxo de vento para cima da coberta. Com isso, as regiões a barlavento e internas da edificação tornaram-se áreas de recirculação e estagnação, com baixas velocidades de vento. Os valores obtidos para os coeficientes de pressão (Cps) demonstraram o efeito do muro impermeável (MR) na inversão das zonas de pressão na fachada frontal da edificação.

Verificou-se que no MR, os valores de Cps dentro da edificação e do recuo posterior foram maiores do que os registrados no recuo frontal. Este comportamento reflete a ocorrência da inversão do fluxo de ar, em que as aberturas previstas para a entrada de vento se transformaram em aberturas de saída. Nas incidências de vento a 45° e a 135°, notou-se uma redução da diferença entre os valores de Cps a barlavento e no espaço interno da edificação ($\Delta C_p \cong 0$). Isto gerou uma baixa movimentação do ar, não possibilitando à ventilação cruzada. Estes padrões convergiram com os resultados encontrados por outros estudos correlatos, como os de Chang (2006), Chang e Cheng (2009) e Marin (2017).

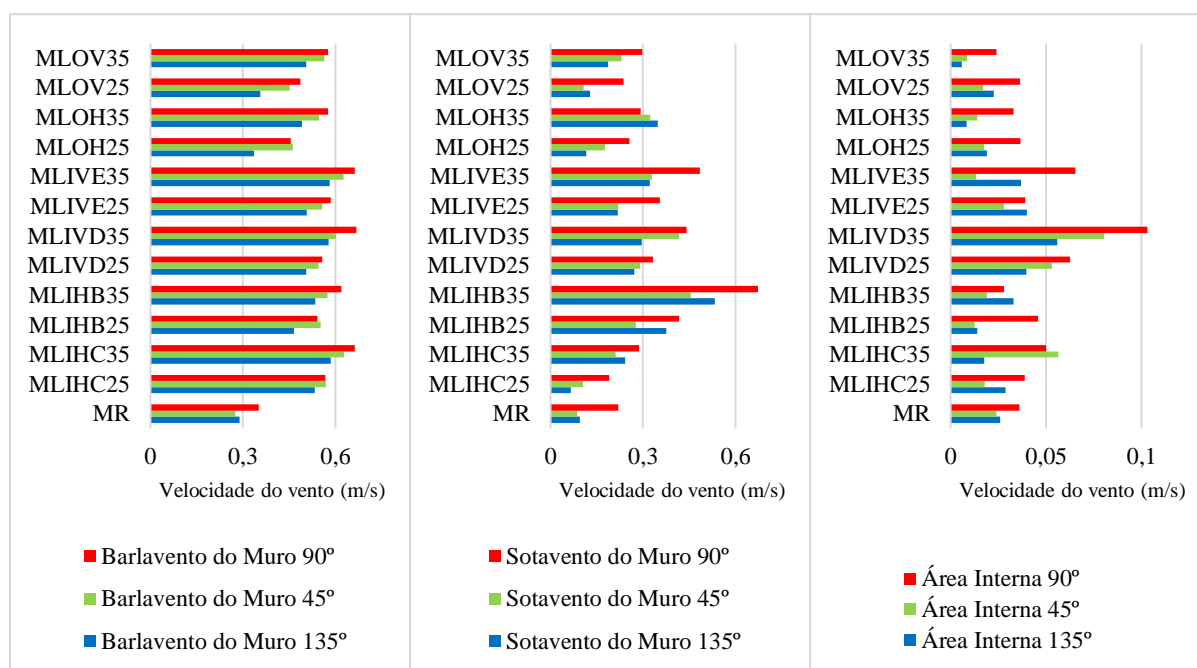
Os desempenhos das tipologias de muros vazados variaram bastante. A maioria dos casos apresentou ganhos nos padrões de comportamento do vento, nos valores de velocidade e Cps na região a sotavento do muro, quando se compara ao desempenho do Modelo de Referência (MR). Contudo, esses ganhos não se refletiram, de forma significativa, em melhorias das condições de ventilação natural no espaço interno, onde permaneceu a predominância das zonas de estagnação de vento. Além disso, alguns modelos obtiveram padrões inferiores ao MR, demonstrando que a configuração do componente vazado interfere diretamente no aproveitamento da ventilação.

Ressalta-se também as interferências da tipologia e das características da edificação nos resultados, sobretudo em relação a certos aspectos como: (1) a presença de apenas um recuo lateral, visto que o escoamento tende a se deslocar para essa região, prejudicando a abrangência do fluxo no recuo frontal; (2) o tipo de cobertura, que interfere na separação e direcionamento do fluxo; e (3) a tipologia das aberturas, do tipo de correr, que possui uma área útil pequena, reduzindo o potencial de aproveitamento da ventilação natural.

4.3.2 Análise do ângulo de incidência do vento

Nota-se a ocorrência de diferentes desempenhos quando se altera o ângulo de incidência do vento. Principalmente quando se compara a incidência a 90° com as incidências de 45° e 135°. Nestas, de uma forma geral, houve reduções nos valores do ΔC_p entre as regiões de recuo frontal e do espaço interno da edificação. Isto gerou a diminuição dos valores de velocidade do vento e, conseqüentemente, o aumento das zonas de estagnação do vento. Este padrão ocorreu mesmo para as tipologias de muros vazados que eram favoráveis a incidência do vento, a exemplo das tipologias de Muros com Lâminas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD), favorável à incidência de 135°, e de Muros com Lâminas Verticais direcionadas para Esquerda (MLIVE), favorável à incidência de 45° (Figura 83).

Figura 83 – Gráficos comparando os valores médios de velocidade do vento para as diferentes incidências de vento (90°, 45° e 135°), em cada modelo e trecho analisados



Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	25 = porosidade de 25%	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
	35 = porosidade de 35%	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

4.3.3 Análise da porosidade do muro

Quanto à porosidade, ficou evidente a tendência dos casos com a porcentagem mais alta (35%) apresentarem melhores resultados do que os casos com a porosidade mais baixa (25%). Verificou-se o aumento médio de aproximadamente 35% nos valores de velocidade do vento nos casos com maior porosidade em relação aos de menor. Em algumas tipologias esse aumento médio ultrapassou 70%, como exemplo o Muro com Lâminas Horizontais direcionadas para

Cima (MLIHC). Nesta tipologia, notou-se que a elevação da porosidade ocasionou uma menor deflexão ascendente do fluxo de vento que ultrapassou o componente vazado (vide p. 81), o que gerou uma elevação da diferença entre os valores de C_{ps} a barlavento e a sotavento do muro, possibilitando o incremento da movimentação do ar no recuo frontal. A constatação se assemelha com os resultados dos estudos de Chang (2006) e Chang e Cheng (2009), relatados na revisão de literatura (vide p. 43 e 46).

4.3.4 Comparação geral entre as Tipologias de Muros Vazados

O desempenho dos muros vazados variou conforme as características das tipologias e o ângulo de incidência do vento. Os melhores resultados foram obtidos para as tipologias de Muros com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB) e de Muros com Lâminas Inclínadas Verticais Direcionadas para Direita (MLIVD). Estas tipologias tenderam a apresentar maiores valores de velocidade do vento na região a sotavento do muro, sobretudo os casos com porosidade maior.

Especificamente o modelo MLIHB com porosidade de 35%, apresentou valores de ΔC_p mais elevados, registrando velocidades médias acima de 0,4 m/s na região de recuo frontal, para todos os ângulos de incidência. Estes resultados refletiram em condições de ventilação natural satisfatórias para o conforto térmico. O MLIVD com 35% de porosidade, também obteve resultados similares, com exceção do caso em que a incidência de vento foi de 135°. Considerando o desempenho no espaço interno, a tipologia MLIVD obteve melhores resultados, visto que nos casos MLIHB, houve a tendência do fluxo de vento ser conduzido para o teto da edificação, não favorecendo o aproveitamento da ventilação no nível do usuário.

A tipologia de Muro com Lâminas Inclínadas Verticais Direcionadas para Esquerda (MLIVE) apresentou desempenhos considerados razoáveis. Em alguns casos, a média das velocidades do vento se assemelhou aos casos MLIVD. Contudo, o padrão de distribuição do escoamento foi direcionado para o recuo lateral, não favorecendo à incidência de vento nas aberturas da edificação.

O caso do Muro com Lâminas Inclínadas Horizontais direcionadas para Cima com a porosidade de 35% (MLIHC35) obteve resultados medianos. Quando o vento incide a 90° e a 45°, percebe-se que dentro do espaço interno o padrão de distribuição do escoamento do MLIHC35 é mais favorável ao aproveitamento da ventilação natural ao nível do usuário do que o MLIHB35, visto que, no MLIHC35 o fluxo ao entrar pela abertura da edificação se direciona para o piso, ao contrário do MLIHB35. Resultados regulares também foram visualizados em alguns casos da tipologia de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO), sobretudo nos casos com porosidade de 35% (MLOH35 e MLOV35).

De maneira geral, os piores desempenhos foram registrados nos modelos de Muro com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC) e de Muros com Lâminas Ortogonais (MLO), ambas com a porosidade de 25%. Estes casos apresentaram padrões de distribuição do vento e resultados de velocidade e Cps semelhantes ao Modelo de Referência (MR).

O quadro 23 apresenta uma síntese da classificação das tipologias de muros analisadas na pesquisa quanto ao desempenho com relação à ventilação natural. Foram utilizados como base, sobretudo os resultados obtidos no recuo frontal (sotavento do muro) e o potencial de aproveitamento no espaço interno, visto que os resultados obtidos internamente foram bastante semelhantes no que se refere ao pouco aproveitamento da ventilação. Para classificar foram analisados os padrões de circulação quanto à abrangência do fluxo, os valores de velocidade do ar e a respectiva classificação quando à ventilação natural para o conforto térmico, unidos aos dados obtidos nos Cps.

Quadro 23 – Classificação dos casos quanto ao desempenho com relação à ventilação natural

Desempenho	90°			45°			135°		
	MR	MLI	MLO	MR	MLI	MLO	MR	MLI	MLO
Melhor		MLIHB35 MLIVD35 MLIHB25 MLIVE35			MLIHB35 MLIVD35			MLIHB35	
Regular		MLIVD25 MLIVE25 MLIHC35	MLOH35 MLOV35		MLIVD25 MLIHB25 MLIVE35 MLIVE25 MLIHC35	MLOH35 MLOV35		MLIVD35 MLIVD25 MLIHB25 MLIVE35 MLIVE25 MLIHC35	MLOH35
Pior	MR	MLIHC25	MLOH25 MLOV25	MR	MLIHC25	MLOH25 MLOV25	MR	MLIHC25	MLOV35 MLOH25 MLOV25

Legenda Sigla	MR = Modelo de Referência	MLIHC= Muro com lâminas horizontais para cima	MLIHB = Muro com lâminas horizontais para baixo
	25 = porosidade de 25%	MLIVD= Muro com lâminas verticais para direita	MLIVE = Muro com lâminas verticais para esquerda
	35 = porosidade de 35%	MLOH= Muro com lâminas ortogonais horizontais	MLOV = Muro com lâminas ortogonais verticais

Fonte: Autora, 2018.

4.3.5 Proposição de alternativas de uso dos muros vazados

Levando em consideração os resultados obtidos e retomando a premissa inicial da pesquisa: unir o fator privacidade com condições satisfatórias de ventilação natural, sugere-se a utilização de muros vazados laminados com as seguintes características (Quadro 24):

Quadro 24 – Características dos parâmetros dos muros vazados para o melhor aproveitamento da ventilação natural em habitações de interesse social

Parâmetro	Características	
Quanto à tipologia	✓ Muros com Lâminas Inclinadas (MLI)	
Quanto à posição da lâmina	✓ Horizontal (melhores condições de privacidade)	✓ Vertical (escolha condicionada às características da edificação, sobretudo a localização das aberturas na fachada frontal)
Quanto à direção da lâmina	✓ Para baixo	✓ Para direita/esquerda
Quanto à porosidade	✓ 35% do muro frontal/73% do componente vazado (ou mais)	
Legenda	✓ Opção preferível	✓ Opção secundária

Fonte: Autora, 2018.

Contudo, os resultados revelaram que a utilização isolada da estratégia dos muros vazados não contribuiu de forma satisfatória para a melhoria das condições de ventilação no espaço interno da edificação. Por isso, é proposto o uso da estratégia de forma conjugada com outros componentes que possam favorecer o aproveitamento dos ventos.

Nesse sentido, utilizando os parâmetros sugeridos para os muros vazados, foram escolhidas algumas alternativas de alterações projetuais que pudessem ser incorporadas ao exemplar de habitação de interesse social utilizado na pesquisa. Entretanto, estas opções podem servir como base para outros exemplares. Ressalta-se que as alternativas propostas não foram alvo de testes durante a pesquisa, estas são suposições baseadas na literatura (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015, BROWN; DEKAY, 2004):

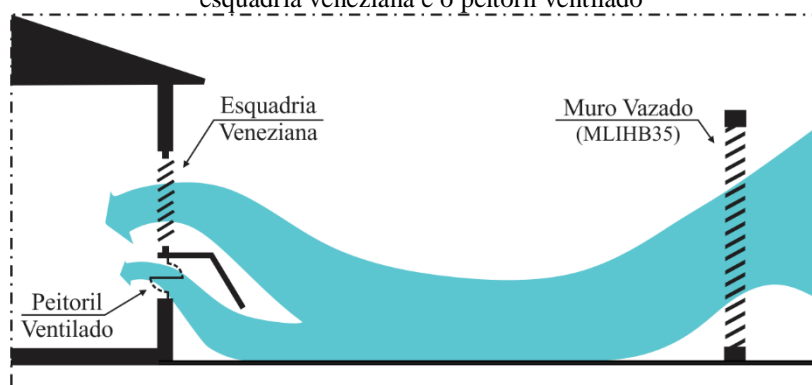
- Para o uso de Muros com Lâminas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), recomenda-se:
 - ✓ Sugestão 1: alteração do tipo de esquadria.

O modelo de janela existente na edificação, janela de correr, possui uma pequena porcentagem de abertura para ventilação natural. Sugere-se a troca por um modelo que possibilite uma porcentagem maior, como também que possa direcionar fluxo de vento para o nível do usuário. Como exemplo o uso de esquadrias com venezianas móveis (Figura 84).

- ✓ Sugestão 2: inclusão de peitoril ventilado.

Como alternativa complementar à esquadria, sugere-se a inclusão do peitoril ventilado. O recurso possui o potencial de captar o fluxo de vento no nível do usuário, reduzindo a sua tendência ascendente (Figura 84).

Figura 84 – Corte ilustrativo demonstrando as sugestões de uso combinado do muro vazado (MLIHB35) com a esquadria veneziana e o peitoril ventilado



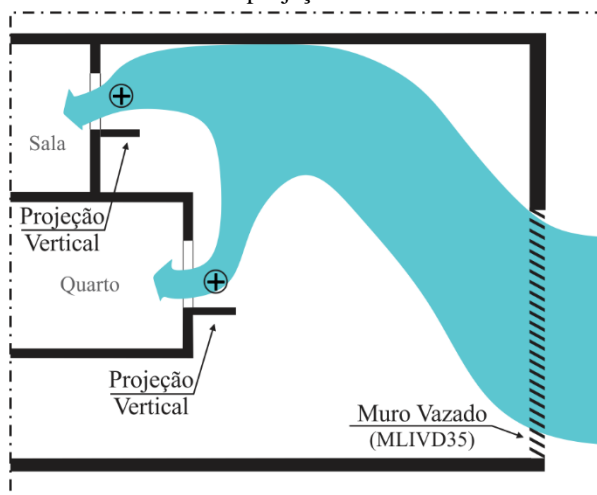
Fonte: Autora, 2018.

- Para o uso de Muros com Lâminas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD), recomenda-se:

- ✓ Sugestão: inclusão de projeção vertical externa, que funcionaria como um defletor.

Os resultados para essa tipologia de muro vazado demonstraram que parte do fluxo de vento incide paralelamente a abertura. Nesse sentido, a inserção de componentes verticais na fachada poderá alterar a distribuição dos campos de pressão no entorno da edificação, com o potencial de beneficiar o aproveitamento da ventilação natural no espaço interno. Assim, sugere-se a inclusão de projeções verticais adjacentes às aberturas da fachada frontal, sobretudo na janela localizada no quarto (Figura 85).

Figura 85 – Planta baixa ilustrativa demonstrando a sugestão de uso combinado do muro vazado (MLIVD35) com a projeção vertical



Fonte: Autora, 2018.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No intento de amenizar o conflito entre a necessidade de privacidade e o aproveitamento da ventilação, a pesquisa avaliou a influência da inserção de muros mais permeáveis, especificamente compostos por elementos vazados laminados, no desempenho da ventilação natural. O estudo se concentrou nas habitações de interesse social, visto que estas são frequentemente caracterizadas pelas deficiências e fragilidades em relação ao conforto e a segurança.

Através da simulação computacional com base na Dinâmica do Fluidos Computadorizada (CFD), foram avaliadas 13 tipologias, sendo uma o muro impermeável, escolhido com Modelo de Referência (MR), e 12 muros vazados. Estas foram simuladas para três diferentes incidências de vento, resultando em 38 casos simulados. Os casos foram analisados quanto ao padrão de distribuição do fluxo de vento, os valores de velocidade do vento e coeficientes de pressão (Cps).

De um modo geral, os resultados obtidos demonstraram vantagens na inclusão do componente vazado em habitações de interesse social. Pois observou-se o incremento no desempenho da ventilação natural promovido pela maioria dos casos de muros vazados no recuo frontal (sotavento do muro) em relação ao Modelo de Referência (MR). Entretanto, ao comparar as diferentes tipologias de muros vazados, constatou-se variações significativas nos resultados quantitativos e qualitativos. Nesse sentido, o trabalho ressaltou a influência da tipologia e dos parâmetros de configuração do componente vazado no aproveitamento da ventilação natural. Sobretudo a porosidade, o posicionamento e direcionamento das lâminas, em que foi verificado o maior potencial nas lâminas horizontais direcionadas para baixo e com maior índice de porosidade (35% do muro frontal/73% do componente vazado).

Foi evidenciado também que o incremento na região de recuo frontal não se refletiu em melhorias significativas no espaço interno da edificação. Pois todos os casos analisados apresentaram baixos desempenhos, sobretudo nos valores de velocidade do vento e Cps, o que ocasionou condições insatisfatórias de conforto térmico. Relaciona-se este fato às interferências da tipologia e das características da edificação nos resultados. Assim, evidenciou-se a necessidade da inserção dos muros vazados aliados às outras estratégias projetuais de aproveitamento da ventilação natural.

Deste modo, ressalta-se que o trabalho demonstrou a viabilidade de unir os critérios de privacidade e aproveitamento da ventilação natural. Contudo, para que isto seja possível, é necessário o conhecimento do projetista acerca das vantagens, limitações e características de

uso das estratégias projetuais. Já que o desconhecimento pode influenciar em soluções arquitetônicas que ocasionem desconfortos térmicos aos usuários.

Em relação ao uso da ferramenta de simulação em CFD, vivenciou-se no percurso da pesquisa os seus benefícios e as suas limitações. Ela apresenta uma potencialidade significativa na previsão do escoamento dos fluidos, porém necessita, além da capacidade computacional, de prática e sensibilidade na manipulação do software, para que os resultados alcancem um nível de confiabilidade satisfatório. Para isto, uma das etapas mais relevantes e complexas foi a definição das configurações da malha computacional. Várias decisões relacionadas à simplificação da geometria dos modelos analisados foram feitas com base nos resultados obtidos para os parâmetros de confiabilidade. Ressalta-se a dificuldade do alcance dos níveis de y^+ (Yplus) indicados pela literatura em algumas regiões dos modelos. Porém, baseando-se nos testes do critério de convergência, verificou-se que a malha escolhida representou de forma satisfatória a geometria. Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de pesquisas que possam investigar melhor o efeito desses parâmetros nos resultados das simulações computacionais.

Outro aspecto que pode ser discutido de forma mais aprofundada é o modelo de turbulência K-Épsilon. Este foi escolhido com base em trabalhos correlatos, que destacam seu custo/benefício, além do alcance do critério de convergência. Entretanto, simulações CFD com foco na ventilação natural considerando outros modelos de turbulência são relevantes na investigação e estabelecimento de melhores condições de representação do fenômeno. Além disso, ressalta-se a importância da validação experimental dos resultados das simulações, garantindo sua confiabilidade.

Através da pesquisa foi possível analisar as potencialidades e as desvantagens do uso dos muros vazados no aproveitamento da ventilação natural em habitação de interesse social. Contudo, o trabalho possui limitações relacionadas ao recorte metodológico escolhido, principalmente acerca da amostragem tipológica dos casos, do exemplar de edificação escolhido, da não inserção da malha urbana e, sobretudo, da simplificação dos modelos analisados. Nesse sentido, sugere-se como desdobramentos:

1. Ampliação da amostragem, abarcando outras tipologias de muros vazados. Considerando também a análise comparativa com casos sem a presença do muro (porosidade = 100%).
2. Avaliação de outros parâmetros projetuais, como diferentes dimensões de recuos frontais.
3. Aplicação em outras tipologias de habitação de interesse social, principalmente no que refere à diferentes formas de implantação da edificação no lote.
4. Análise considerando as divisões internas da edificação, como também o layout dos ambientes.

5. Análise conjunta do muro vazado com outros elementos construtivos que auxiliem no aproveitamento da ventilação natural, a exemplo do peitoril ventilado e de projeções horizontais e verticais externas.
6. Análise considerando os modelos inseridos em uma malha urbana.
7. Avaliação mais aprofundada dos Coeficientes de pressão (Cps), como também inclusão da análise da taxa de renovação de ar/hora.
8. Análise conjunta da simulação CFD com outras ferramentas de predição da ventilação natural, como exemplo o uso de túnel de vento.
9. Estudo e proposição de parâmetros de configuração de muros vazados que possam ser utilizados em Normas Brasileiras com a finalidade de aproveitamento da ventilação natural em Habitações de Interesse Social.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- _____. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ALMEIDA, C. **Simulação CFD de jatos em espaços confinados.** Dissertação (Mestrado) - Universidade do Minho, Escola de Engenharia. Braga, 2013. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28172>>. Acesso em: 20 de maio de 2018.
- AMORE, C. S.; SHIMBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. (org.). **Minha casa... e a cidade?** Avaliação do programa minha casa minha vida em seis estados brasileiros. 1. ed. Observatório das Metrópoles - IPPUR/UFRJ. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. Disponível em: <http://www.observatoriodasmetrolopes.net/images/abook_file/mcmv_nacion_al2015.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2017.
- ANDRADE, N. C. **Estudo da ventilação natural em edificações com captadores de vento multidirecionais por meio de ensaios em túnel de vento e simulações computacionais.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2013.
- ARAÚJO, C. V. A. **Análise de Componentes Arquitetônicos para Potencialização da Ventilação Natural com ênfase em Captadores de Vento.** Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55 – 2013.** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2013.
- ANSYS. **Software ANSYS 18.1.**, 2017. [S.l], 2017. Disponível em: <<http://www.ansys.com/academic/free-student-products>>. Acesso em: 30 de agosto de 2017.
- AUTODESK. **Software AutoCAD 2015.** [S.l], 2015. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/education/free-software/autocad>>. Acesso em: 10 de setembro de 2015.
- BATISTA, J. O. *et al.* Desempenho Térmico de Habitação Multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió – AL. In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Maceió- AL: ENTAC, 2014.
- BAUMAN, Z. **Confiança e medo na cidade.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2009.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução a Ventilação Natural.** 4ed. rev. Maceió: EDUFAL, 2015.
- _____. Ventilação natural em edificações. In: **PROCEL EDIFICA** - Eficiência Energética Em Edificações. Rio de Janeiro, 2010.

BITTENCOURT, L. Efeito da Forma dos Elementos Vazados na Resistência Oferecida à Passagem da Ventilação Natural. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 3., Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais... Gramado: ANTAC, 1995.

BITTENCOURT, L. *et al.* Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. In: **Revista ambiente construído**, v. 7, n.3, p. 59-69. Porto Alegre, 2007.

BONDUKI, N. G. **Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. 4. ed. São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. **PORTARIA Nº 269, DE 22 DE MARÇO DE 2017**. Brasil, 2017. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=24/03/2017&jornal=1&pagina=119&totalArquivos=336>>. Acesso em: 20 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>>. Acesso em: 12 de julho de 2018.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para projeto de arquitetura**. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CALDEIRA, T. P. D. R. **Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo**. Tradução de Frank de Oliveira e Henrique Monteiro. São Paulo: EDUSP, 2000.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Selo Casa Azul**. Boas Práticas para Habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas e Letras, 2010. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/Selo_Casa_Azul.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2017.

CÂNDIDO, C. M. **Ventilação natural e Códigos de Obras: Uma análise das tipologias de aberturas de escritórios em Maceió/AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2006.

CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L.; DEAR, R.; Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. In: **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 59-68, out./dez. Porto Alegre, 2010.

CARDOSO, A. L.; ARAGÃO, T. A. Do Fim do BNH ao Programa Minha Casa Minha Vida: 25 Anos da política habitacional no Brasil. In: **O Programa Minha Casa Minha Vida e seus efeitos territoriais**. X ed. Rio de Janeiro/RJ: Letra Capital, 2013.

CARLOS, A. F. “Novas” contradições do espaço. In: DANIANI; CARLOS; SEABRA (Org.). **O espaço no fim do século: a nova raridade**. Editora Contexto, São Paulo, 2001, pp. 62-74.

CAVALCANTI, V. R. *et al.* Empreendimentos e ações públicas e privadas em Maceió (AL) no início do milênio. In: **Paisagem e Ambiente: Ensaios**. n. 36. São Paulo, 2015.

CONCENTRATION, HEAT & MOMENTUM LIMITED (CHAM). **Practical CFD for Design Engineers: From the pioneers of CFD**. CHAM, 2005.

CHANG, W. R. Effect of porous hedge on cross ventilation of a residential building. In: **Building and Environment**, v. 41, n. 5, p. 549-556. Elsevier Ltd., 2006.

CHANG, W. R.; CHENG, C. L. Modulation of Cross Ventilation in a Residential Building Using a Porous Hedge. In: **Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers**, Vol.30, No.5, pp.409-417. J. CSME, 2009.

CONTRATO ENGENHARIA. **Residencial Jardim Royal**. Maceió, 2012. Disponível em: <http://www.contratoengenharia.com.br/obras_concluidas.php?id_obra=36>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

COSTA, I. P.; BITTENCOURT, L.; BARBOSA, R. Influência de Muros Vazados no Desempenho da Ventilação Natural em Edificação Térrea. In: **XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC e X Encontro Latino-Americana de Conforto no Ambiente Construído**. Balneário Camboriú, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico3artigo25.pdf>>. Acesso em: 02 de outubro de 2017.

COSTA, L. C. **Aproveitamento da ventilação natural nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju/SE**. 272 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2009.

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimento para quantificação**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Construção) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CÓSTOLA, D., ALUCCI, M. P. Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. In: **Revista Ambiente Construído** 11, n. 1, p. 145-158, Porto Alegre, 2011.

COSWIG, M. T. **Segurança e satisfação dos usuários de habitação de interesse social: um estudo de caso para o PAR em Pelotas, RS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

CUNHA, L. J. B. de F. **Análise de Métodos para Aplicação de Ventilação Natural em Projetos de Edificações em Natal-RN**. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

CUNHA, R. P.; SANTOS, C. G.; ARAÚJO, F. S. Os Impactos do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió/AL: o caso da Vila dos Pescadores. In: **XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional**. São Paulo: ENANPUR, 2017.

DEWALLE, D. R.; HEISLER, G. M. Windbreak effects on air infiltration and space heating in a mobile home. In: **Energy and Buildings**. Volume 5, n. 4. p.279-288. Elsevier, 1983.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRA (ELETROBRAS); PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Manual para aplicação do RTQ-R**. Versão 1, com base na Portaria n. 18/2012. LAMBERTS, R. (coord.). Florianópolis, 2014.

FERREIRA, S. D. *et al.* Habitar é mais que morar: o caso do Jardim Açucena na cidade de Macapá. In: **XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional**. São Paulo: ENANPUR, 2017.

FILGUEIRAS, T. M. **Sentidos do Muro**: barreira, lugar e objeto estético. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

FREIXANET, V. A. F.; VIQUEIRA, M. R. **Ventilación Natural**: Cálculos Básicos para Arquitectura. 1º ed. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). **Déficit habitacional no Brasil 2015**: resultados preliminares. Belo Horizonte: FJP, 2017. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/723-estatisticas-informacoes-3-deficit-habitacional-16-08-2017/versao-site/file>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

GRANJA, A. D. *et al.* A natureza do valor desejado na habitação social. In: **Ambiente Construído**, v. 9, n. 2, p. 87-103, abr./jun. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/7414/5487>>. Acesso em: 01 de agosto de 2017.

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite**: Maceió – AL. [S.l.], 2016.

_____. **Imagem Street View**: Residencial Jardim Rouyal, Maceió/AL. Maceió, 2012.

HAESBAERT, R. **Dos múltiplos territórios à multiterritorialidade**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/petgea/Artigo/rh.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto de 2016.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura**: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira, 1998.

HOLANDA, A. **Roteiro para construir no Nordeste**. Recife: MDU: Universidade Federal de Pernambuco, 1976.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

GROAT, L. N.; WANG, D. **Architectural research methods**. 2ed. New York: John Wiley & sons, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapas político-administrativos – Brasil e Alagoas**. Brasil, 2015. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/politico-administrativo.html>>. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

_____. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève: ISO, 2005.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

JACQUES, P. B. Corpografias urbanas. In: **Vitruvius**: Arqutextos, ano 08, n. 093.07. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arqutextos/08.093/165>>. Acesso em: 18 de agosto de 2016.

KLEIVEN, T. **Natural ventilation in buildings**: architectural concepts, consequences and possibilities. Tese (Doutorado). Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technology. Trondheim, 2003.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida. In: SATTTLER, Miguel A.; PEREIRA, Fernando Oscar R. (editores). **Construção e Meio ambiente**. Coleção Habitare, v. 7. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

LACERDA, A. E.; MARROQUIM, F.; ANDRADE, S. Avaliação pós-ocupação de unidades habitacionais do conjunto Antônio Mariz, João Pessoa-PB. In: **2º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – SBQP**. Rio de Janeiro: ANTAC, 2011. p. 01 – 11. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/acervos/resumo/page/2/codigo_biblio/104788/cod/1>. Acesso em: 07 de janeiro de 2016.

LEAL, T.; BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. A Influência da Forma do Peitoril Ventilado na Ventilação Natural de Escolas no Clima Quente e Úmido. In: **XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Anais... Florianópolis: ENTAC, 2006.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Procedimentos para determinação de coeficientes de pressão em diferentes condições de adensamento urbano. In: **XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais... Brasília: ENCAC, 2013. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2013/topico4artigo9.pdf>>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.

LEITE, R. C. V. **A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido**. São Paulo: FAUUSP, Tecnologia da Arquitetura. 2010. Dissertação de mestrado.

LIMA, L.; CÂNDIDO, C.; BITTENCOURT, L. Avaliação do Uso de Pérgulas para Aumentar a Ventilação Natural em Espaços de Sala de Aula. In: **Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 8., Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 4.** Anais... Maceió: ANTAC, 2005.

LI, W.; WANG, F.; BELL, S. Windbreak sheltering effects on outdoor open space. In: **Eighth International IBPSA Conference.** Eindhoven, 2003. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/acervos/abstract/codigoAutor/39604/codigo_biblio/31510/cod/1>. Acesso em: 15 de janeiro de 2015.

LUKIANCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações.** Tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-07082015-180544/en.php>>. Acesso em: 20 de julho de 2017.

MAIA, R. G. X. **Padrões de Escoamento do Vento na Região Metropolitana de Maceió.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Maceió, 2016. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1966>>. Acesso em: 20 de julho de 2018.

MARIN, H. F.C. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-125132/>>. Acesso em: 04 de outubro de 2017.

MARROQUIM, F. M. G. **Produção Habitacional de Maceió-AL: transformações espaciais da Habitação de Interesse Social de 1964 a 2014.** Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmica do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2017.

MEDVEDOVSKI, N. S.; GOMES, L. O.; BERGER, J. O Mito da Segurança e o Novo Modelo de Condomínios Fechados para a Habitação de Interesse Social. In: **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Juiz de Fora, 2012. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1583.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2017.

MELO, T. S.; LINS, R. D. B. O Programa Minha Casa Minha Vida e o acesso dos mais pobres à moradia nas cidades brasileiras contemporâneas: reflexões sobre a situação dos empreendimentos habitacionais para famílias de baixa renda em Maceió, Alagoas. In: **7º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável.** Maceió – AL: PLURIS, 2016.

MENDES, N.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. da. Building Simulation in Brazil. In: **BUILDING SIMULATION, Seventh International IBPSA Conference.** Anais... Rio de Janeiro, 2001.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2015. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/temeno/>>. Acesso em 06 de julho de 2018.

MONTEIRO, V. **Por uma moradia termicamente confortável: proposta de habitação de interesse social com ênfase no conforto térmico**. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012. Disponível em: <<http://www.natal.rn.gov.br/bvn/publicacoes/VernerMLMM.pdf>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2016.

MONTENEGRO, F. C.; XAVIER, R. N. G.; BITTENCOURT, L. S. A Influência de Aletas com Diversas Inclinações no Escoamento da Ventilação Natural através do Peitoril Ventilado. In: **XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

MORAIS, J. **Ventilação Natural em Edifícios Multifamiliares do “Programa Minha Casa Minha Vida”**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2013.

MOREIRA, K. **Diretrizes para projeto de segurança patrimonial em edificações**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-17052010-090837/en.php>>. Acesso em: 29 de julho de 2015.

MOREIRA, T. A.; RIBEIRO, J. A. Z. M. T. A questão fundiária brasileira no desenho das políticas nacionais de habitação: considerações a partir do início do século XXI. In: **Cadernos Metrópole**. V. 18, n. 35, pp. 15-31. São Paulo, 2016.

MORENO, A. C. R. **Minha Casa Minha Vida: Análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, SELO CASA AZUL E RTQ-R**. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

MUMFORD, L. **A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NEWMAN, O. **Creating defensible space**. EUA: Center for Urban Policy Research Rutgers University, U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, 1996. Disponível em: <<https://www.huduser.gov/publications/pdf/def.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2017.

NEOREX. **Elementos Vazados**. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/neo-rex/neo-rex_vazados.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

OLGYAY, V. **Arquitectura y Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 1.ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Simulação Computacional para Avaliação dos Efeitos das Modificações em Casas Autoconstruídas sobre a Ventilação**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2009.

PALERMO, C.; MORAIS, G., COSTA, M.; FELIPE, C. Habitação Social: uma visão projetual. In: **IV Colóquio de Pesquisas em Habitação**. Belo Horizonte: 2007. Disponível em: <<http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/coloquiomom/comunicacoes/palermo.pdf>>. Acesso em: 16/02/2017.

POLLAK, M. Memória, esquecimento e silêncio. In: **Revista Estudos Históricos**. v. 2, n.3, p.3-15. Rio de Janeiro, 1989.

RESENDE, L. M.; MEDVEDOVSKI, N. S.; SOPEÑA, S. M. A busca por alternativas físico-espaciais, em habitações de interesse social, que contribuam para redução da oportunidade do crime. In: **2º Congresso Internacional de Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social - CHIS**. Porto Alegre, 2012.

ROLNIK, R. *et al.* O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. In: **Cadernos Metrópole**. V.17, n. 33, pp. 127-154. São Paulo, 2015.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

RORIZ, M. **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. São Carlos: ANTAC, 2012a. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: 20 maio 2013.

SACRAMENTO, A. S. **A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió/AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2012.

SANTOS, D.; BARROS, B.; AMORIM, J. A. Reforma na habitação de interesse social: diagnóstico de um conjunto residencial do semiárido nordestino. In: **Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis** – ELECS. Curitiba: UFPR, 2013. p. 1 – 10. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/acervos/resumo/page/1/codigo_biblio/104446/cod/1>. Acesso em: 07 de janeiro de 2016.

SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building ventilation: the state of the art**. London: Earthscan, 2006.

SILVA, L. D. T. da. **Investigação do Uso e da Aplicação das Técnicas CFD para Estudo e Análise de Ventilação Natural por Ação dos Ventos em Espaços Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2015.

SOUZA, M. L.. Alguns Aspectos da Dinâmica Recente da Urbanização Brasileira. In: FERNANDES, E.; VALENÇA, M. M. (Org.). **Brasil Urbano**. Mauab, Rio de Janeiro, 2004, pp. 57-74.

STIPP, Marcelo E. F. Impactos Ambientais provocados por vendavais em áreas urbanas. In: **VI Encontro de Geógrafos da América Latina** - Territórios em Redefinicion - Lugar y Mundo en América Latina, Resúmenes Sesiones de Temas Libres. Buenos Aires, 1997.

Disponível em:

<<http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Procesosambientales/Impactoambiental/645.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2017.

TIBÚRCIO, I. C. P. **Ventilação natural em edificações residenciais: parâmetros normativos para configuração das aberturas**. Tese (Doutorado Cidades) – Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2723>>. Acesso em: 05 de agosto de 2018.

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

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88957>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2017.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. O potencial da mesa d'água para visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: **VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações - COTEDI/ II Workshop IBPSA-Brasil**. Curitiba, 2003.

TOLEDO, E. **Ventilação natural das habitações**. Maceió: Edufal, 1999.

VASCONCELLOS, L. M. de. **Dos Portões aos "Portais"**. O que Mudou? In: VI Seminário de História da Cidade e do Urbanismo. UFRN, Natal-RN, 2000.

WIT, S. **Uncertainty in Predictions of Thermal Comfort in Buildings**. Thesis (PhD Thesis) – Delft University of Technology. Delft, 2001. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:a231bca8-ec81-4e22-8b34-4bafc062950e?collection=research>>. Acesso em: 27 de julho de 2018.

APÊNDICE A - Matriz de referência para simulações

Quadro 25 – Matriz das simulações

Tipologia da lâmina	Posição da lâmina	Direção da lâmina	Porosidade	Ângulo de incidência do vento	Nº	SIGLA
Inclinada	Horizontal	Para cima	25%	90°	1	MLIHC25_90
				45°	2	MLIHC25_45
				135°	3	MLIHC25_135
			35%	90°	4	MLIHC35_90
				45°	5	MLIHC35_45
				135°	6	MLIHC35_135
		Para baixo	25%	90°	7	MLIHB25_90
				45°	8	MLIHB25_45
				135°	9	MLIHB25_135
			35%	90°	10	MLIHB35_90
				45°	11	MLIHB35_45
				135°	12	MLIHB35_135
	Vertical	Para esquerda	25%	90°	13	MLIVE25_90
				45°	14	MLIVE25_45
				135°	15	MLIVE25_135
			35%	90°	16	MLIVE35_90
				45°	17	MLIVE35_45
				135°	18	MLIVE35_135
		Para direita	25%	90°	19	MLIVD25_90
				45°	20	MLIVD25_45
				135°	21	MLIVD25_135
			35%	90°	22	MLIVD35_90
				45°	23	MLIVD35_45
				135°	24	MLIVD35_135
Plana	Horizontal	-----	25%	90°	25	MLPH25_90
				45°	26	MLPH25_45
				135°	27	MLPH25_135
			35%	90°	28	MLPH35_90
				45°	29	MLPH35_45
				135°	30	MLPH35_135
	Vertical	-----	25%	90°	31	MLPV25_90
				45°	32	MLPV25_45
				135°	33	MLPV25_135
			35%	90°	34	MLPV35_90
				45°	35	MLPV35_45
				135°	36	MLPV35_135
Muro de Referência (Sem aberturas)	-----	-----	-----	90°	37	MR_90
				45°	38	MR_45
				135°	39	MR_135

Fonte: Autora, 2018.

APÊNDICE B - Parâmetros de Configuração das Simulações³⁴

Quadro 26 – Parâmetros de configuração das simulações

(continua)

Analysis Type (Regime adotado na simulação)	
Option	Steady State (Regime Permanente)
Domain (Características do domínio)	
Location	Fluid
Domain type	Fluid Domain
Fluids List	Air ideal gas
Coord Frame	Coord 0
Reference Pressure	1 [atm] (pressão atmosférica local)
Buoyancy - Option	Non Buoyant
Domain motion - Option	Stationary
Heat Transfer Model - Option	Isothermal
Fluid Temperature	25°C
Turbulence Model - Option	K-Epsilon
Wall function	Scalable
Reaction or Combustion Model - Option	None (default)
Thermal Radiation Model - Option	None (default)
Domain Initialisation	Desmarcado (Default)
Boundary: Entrada (Características e condições de contorno da Part INLET)	
Boundary type	Inlet (entrada)
Location	Inlet
Flow regime - Option	Subsonic (default)
Mass and Momentum - Option	Normal speed (velocidades = 3m/s)
Turbulence - Option	Medium intensity = 5%
Boundary: Saída (Características e condições de contorno da Part OUTLET)	
Boundary type	Outlet (saída)
Location	OUTLET
Flow regime - Option	Subsonic (default)
Mass and Momentum - Option	Average static Pressure
Relative Pressure	0 [Pa]
Pres. Profile Blend	0.05
Pressure avering - Option	Average over whole outlet
Boundary: PISO (Características e condições de contorno da Part DOM_PISO)	
Boundary type	Wall (parede/superfície sólida)
Location	DOM_PISO
Coord. Frame	Sem clicar (default)
Mass and Momentum - Option	No slip wall (com atrito)
Wall Roughness - Option	Smooth Wall (baixa rugosidade/parede lisa)
Boundary: TETO (Características e condições de contorno da Part DOM_TOPO)	
Boundary type	Wall (parede/superfície sólida)
Location	DOM_TETO
Coord. Frame	Sem clicar (default)
Mass and Momentum - Option	Free slip wall (sem atrito)
Boundary: DOMÍNIO LATERAIS (Características e condições de contorno da Part DOM_LATERAL)	
Boundary type	Wall (parede/superfície sólida)
Location	DOM_LATERAL
Coord. Frame	Sem clicar (default)
Mass and Momentum - Option	Free slip wall (sem atrito)
Wall Roughness - Option	Smooth Wall (baixa rugosidade/parede lisa)

³⁴ Parâmetros baseados nas pesquisas de Cóstola (2006), Andrade (2013), Lukiantchuki (2015) e Leite (2010).

Quadro 26 – Parâmetros de configuração das simulações

(conclusão)

EDIFICAÇÃO (Características e condições de contorno da Parts CASA)	
Boundary type	Wall (parede/superfície sólida)
Location	SOTAVENTO; BARLAVENTO; LATERAL
Coord. Frame	Sem clicar (default)
Mass and Momentum - Option	No slip wall (com atrito)
Wall Roughness - Option	Smooth Wall (baixa rugosidade/parede lisa)
MURO (Características e condições de contorno da Parts MURO)	
Boundary type	Wall (parede/superfície sólida)
Location	SOTAVENTO; BARLAVENTO; LATERAL
Coord. Frame	Sem clicar (default)
Mass and Momentum - Option	No slip wall (com atrito)
Wall Roughness - Option	Smooth Wall (baixa rugosidade/parede lisa)
Solver Control (Parâmetros para a solução matemática do modelo pelo módulo de cálculo)	
Advection Scheme - Option	High resolution
Turbulence Numerics - Option	First Order
Convergence Control	
Min. n° iterações	1
Max. n° iterações	250
Timescale control	Auto TimeScale (default)
Length Scale	Conservative (default)
Maximum Timescale	Desmarcado (default)
Timescale fator	1.0
Convergence Criteria	
Residual Type	RMS
Residual Target	10^{-4}
Conservation Target	Desmarcado (default)
Equation Class Setting	Default
Advanced option	
Global Dynamic Model Control	Marcado (default)
Turbulence Control	Desmarcado (default)
Hydro Control	Desmarcado (default)
Body Forces	Desmarcado (default)
Solution Units (Definição das grandezas utilizadas nos cálculos)	
Mass Units	[kg]
Length Units	[m]
Time Units	[s]
Temperature Units	[k]
Angle Units	[rad]
Solid Angle Units	[sr]

Fonte: Autora, 2018.