



# **ANÁLISE ATRAVÉS DE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL** **DA EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL DE ESQUADRIAS**

VICTOR SOUZA FERNANDES

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

F363a Fernandes, Victor Souza.

Análise através de fluidodinâmica computacional da  
eficiência da ventilação natural de esquadrias / Victor  
Souza Fernandes. - João Pessoa, 2019.  
95 f. : il.

Orientação: Juliana Magna da Silva Costa Moraes.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Ventilação natural. 2. Esquadrias. 3. Fluidodinâmica  
computacional. I. Moraes, Juliana Magna da Silva Costa.  
II. Título.

UFPB/BC

Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Tecnologia  
Arquitetura e Urbanismo  
Trabalho de Conclusão de Curso

# **ANÁLISE ATRAVÉS DE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL DA EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL DE ESQUADRIAS**

Victor Souza Fernandes

João Pessoa, Set. de 2019





A ventilação natural é um aspecto muito importante no conforto térmico do ambiente, além de proporcionar uma solução para redução nos gastos com energia, assunto que está em pauta nas discussões da sociedade atual. Dito isto, um dos aspectos mais importantes para a ventilação natural são as aberturas da edificação e as esquadrias que nelas estão inseridas.

O objetivo deste trabalho é compreender a eficácia de cada tipo de esquadria em relação à sua permeabilidade ao vento e o modo que cada uma influencia o fluxo de ar no ambiente. Para isso, utilizou-se como base a tipologia do Flat, visto que sua baixa compartimentação e aberturas e entrada e saída bem definidas permitem um melhor entendimento do comportamento do vento no ambiente. Utilizou-se a planta do projeto de um Flat já construído, adaptando-se algumas características para o contexto local da cidade de João Pessoa - PB. Foram escolhidas cinco esquadrias de janelas: janela de correr, janela de abrir, janela maxim-ar, janela pivotante e janela com veneziana, além de quatro esquadrias de portas: porta simples, porta com veneziana, porta com bandeira acima e porta com bandeira lateral. Escolhidos os modelos, foram elaborados vinte cenários combinando as esquadrias de janela como abertura de entrada e as esquadrias de porta como abertura de saída. Estas combinações foram modeladas no AutoCAD 3D e então submetidas às simulações computacionais. As análises das esquadrias foram analisadas por meio da Fluidodinâmica Computacional (CFD), utilizando-se o software ANSYS CFX

como ferramenta de simulação. No trabalho é apresentada toda a metodologia utilizada para a execução destas simulações de forma que os resultados obtidos sejam válidos e comparáveis entre si.

Obtendo-se os dados, estes foram apresentados individualmente, separados por cenário, demonstrando quantitativamente e qualitativamente a eficiência de cada combinação de esquadrias. Ao final, faz-se uma comparação entre os diferentes cenários em forma de gráficos, apresentando os melhores resultados obtidos.

Considerou-se que um dos principais fatores de eficiência no teste foi o dimensionamento da abertura efetiva de ventilação, ou seja, o quanto a esquadria permite de passagem de vento em relação à área que ocupa. Isto foi determinante principalmente nas aberturas de saída, que foram o fator de maior influência nos cenários. Dito isto, os melhores resultados se apresentaram com as portas veneziana e com bandeira lateral, permitindo que as janelas tivessem seu potencial de ventilação bem aproveitado. Em relação às esquadrias de janelas, os melhores valores foram obtidos com as janelas pivotante, janela de correr e veneziana, em combinação com a porta veneziana. Já os piores valores se apresentaram com a janela maxim-ar, que além de prover uma área reduzida de entrada de vento, ainda eleva o fluxo de ventilação, fazendo com que o mesmo seja direcionado ao forro do apartamento.

# ÍNDICE

Capítulos, tópicos e subtópicos

<b>1.</b>	Introdução		
	pg. 12		
<b>2.</b>	Referencial teórico		
	pg. 16		
	2.1 Estratégias bioclimáticas		
	pg. 18		
	2.2 Ventilação no ambiente interno		
	pg. 19		
	2.3 Ventilação através de esquadrias		
	pg. 21		
	2.4 Formas de predição da vent. natural		
	pg. 23		
	2.5 Fluidodinâmica computacional		
	pg. 23		
<b>3.</b>	Método		
	pg. 26		
	3.1 Delimitação do estudo de caso		
	pg. 26		
	3.2 Dados de entrada		
	pg. 30		
	3.3 Modelos de esquadrias estudados		
	pg. 31		
	3.4 Cenários estudados		
	pg. 38		
	3.5 Rotina de trabalho com o ANSYS CFX		
	pg. 38		
<b>4.</b>	Resultados		
	pg. 42		
<b>5.</b>	Conclusões		
	pg. 90		
<b>6.</b>	Referências		
	pg. 94		

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Esquema demonstrando o gradiente de velocidade conforme o tipo de terreno .....	pg. 17
Figura 2: Mapa do Brasil com destaque para as Zonas Bioclimáticas .....	pg.19
Figura 3: Esquema detalhando um modelo de ventilação por efeito chaminé .....	pg. 20
Figura 4: Diagrama demonstrando as pressões positivas e negativas exercidas em cada fachada da edificação .....	pg.20
Figura 5: Plantas baixas simulando o efeito da posição das esquadrias e incidência do vento na ventilação cruzada do ambiente .....	pg.21
Figura 6: Efeito de projeções horizontais no fluxo de ar interno em ventilação cruzada de conforto .....	pg.21
Figura 7: Exemplo da interface de resultados do ANSYS CFX utilizando streamlines .....	pg.24
Figura 8: Perspectiva isométrica (esq.) e planta baixa (dir.) do projeto Flat 35m <sup>2</sup> do escritório de arquitetura Studio Bazi .....	pg.28
Figura 9: Disposição dos apartamentos no pavimento tipo .....	pg.29
Figura 10: Planta baixa do apartamento tipo com cotas .....	pg.29
Figura 11: Tabela de rugosidade para equação logarítmica da ventilação ...	pg.31
Figura 12: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela de correr .....	pg.32
Figura 13: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela de abrir .....	pg.32
Figura 14: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela maxim-ar .....	pg.33
Figura 15: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela pivotante .....	pg. 34
Figura 16: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela veneziana .....	pg.35
Figura 17: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta simples .....	pg.35
Figura 18: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta com bandeira acima .....	pg.36
Figura 19: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta com bandeira lateral .....	pg.37
Figura 20: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta com veneziana .....	pg.37
Figura 21: Vista de topo demonstrando as dimensões do domínio em relação ao modelo da edificação .....	pg.39
Figura 22: Domínio com malha tetraédrica não-estruturada modelada no ANSYS ICEM .....	pg.40
Figura 23: Modelo demonstrando as faces do domínio delimitadas como entrada e saída de vento no ANSYS CFX-Pre .....	pg.41
Figura 24: Gráfico demonstrando a variação das partículas pelo tempo durante a execução da simulação no CFX-Solver .....	pg.41
Figura 25: Planos utilizados para obter análises qualitativas do modelo .....	pg. 43
Figura 26: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.44
Figura 27: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.44
Figura 28: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.45
Figura 29: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.45
Figura 30: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.45
Figura 31: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.45
Figura 32: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.46
Figura 33: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.46
Figura 34: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.47
Figura 35: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.47
Figura 36: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.47
Figura 37: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.47

Figura 38: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.48
Figura 39: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.48
Figura 40: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg. 49
Figura 41: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 pg. ....	49
Figura 42: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 pg.....	49
Figura 43: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 pg.....	49
Figura 44: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.50
Figura 45: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento pg.....	50
Figura 46: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.51
Figura 47: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 pg.....	51
Figura 48: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 pg.....	51
Figura 49: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 pg.....	51
Figura 50: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.52
Figura 51: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.52
Figura 52: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.53
Figura 53: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.53
Figura 54: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.53
Figura 55: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.53
Figura 56: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.54
Figura 57: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.54
Figura 58: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.55
Figura 59: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.55

Figura 60: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.55
Figura 61: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.55
Figura 62: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.55
Figura 63: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.55
Figura 64: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.57
Figura 65: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.57
Figura 66: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.57
Figura 67: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.57
Figura 68: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.58
Figura 69: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.58
Figura 70: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.59
Figura 71: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.59
Figura 72: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.59
Figura 73: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.59
Figura 74: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.60
Figura 75: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.60
Figura 76: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.61
Figura 77: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.61
Figura 78: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.61
Figura 79: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.61
Figura 80: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.62
Figura 81: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.62

Figura 82: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.63
Figura 83: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.63
Figura 84: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.63
Figura 85: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.63
Figura 86: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.64
Figura 87: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.64
Figura 88: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.65
Figura 89: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.65
Figura 90: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.65
Figura 91: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.65
Figura 92: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.66
Figura 93: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.66
Figura 94: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.67
Figura 95: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.67
Figura 96: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.67
Figura 97: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.67
Figura 98: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.68
Figura 99: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.68
Figura 100: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.69
Figura 101: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.69
Figura 102: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.69
Figura 103: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.69
Figura 104: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.70

Figura 105: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.70
Figura 106: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.71
Figura 107: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.71
Figura 108: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.71
Figura 109: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.71
Figura 110: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.72
Figura 111: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.72
Figura 112: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.73
Figura 113: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.73
Figura 114: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.73
Figura 115: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.73
Figura 116: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.74
Figura 117: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.74
Figura 118: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.75
Figura 119: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.75
Figura 120: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.75
Figura 121: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.75
Figura 122: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.76
Figura 123: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.76
Figura 124: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.77
Figura 125: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.77
Figura 126: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.77
Figura 127: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.77

Figura 128: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.78
Figura 129: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.78
Figura 130: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.79
Figura 131: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.79
Figura 132: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.79
Figura 133: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.79
Figura 134: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.80
Figura 135: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.80
Figura 136: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.81
Figura 137: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.81
Figura 138: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.81
Figura 139: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.81
Figura 140: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m) .....	pg.82
Figura 141: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento .....	pg.82
Figura 142: Contornos cromáticos do vento em planta baixa .....	pg.83
Figura 143: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02 .....	pg.83
Figura 144: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03 .....	pg.83
Figura 145: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05 .....	pg.83
Figura 146: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janela e a porta simples .....	pg.84
Figura 147: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janela e a porta veneziana .....	pg.85
Figura 148: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janelas e porta com bandeira acima .....	pg.86

Figura 149: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janelas e porta com bandeira lateral .....	pg.87
Figura 150: Gráfico comparativo entre as médias da velocidade do vento interno nos diferentes cenários estudados .....	pg. 88

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Quadro de esquadrias do apartamento tipo .....	pg.28
Tabela 2: Composição dos cenários estudados .....	pg. 38

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Perfil de velocidade do vento em relação à uma altura qualquer .....	pg. 18
---	--------

# 1. INTRODUÇÃO

Tema, problemática, motivações e objetivos



A sociedade moderna vive num contexto em que a energia se tornou uma necessidade básica para o funcionamento das cidades e da vida cotidiana. Proveniente das mais diversas formas, ela está presente em tudo à nossa volta, como nos locomovemos, como nos comunicamos. Dito isto, a geração desta energia tem um custo, seja ele na forma material, com os combustíveis fósseis e a degradação do meio ambiente, ou um custo econômico, com o extenso gasto de pesquisas para obter-se energias limpas e renováveis, além do gasto do consumidor final com as tarifas provenientes do serviço de distribuição de energia elétrica.

Todos estes fatores levam a sociedade a buscar uma forma de racionalizar o uso da energia. Um dos principais gastos de energia elétrica é com o resfriamento de ambientes, destacando-se o uso de aparelhos de ar-condicionado. Sendo assim, a arquitetura possui uma grande responsabilidade nesta questão, provendo edificações que possibilitem um uso racional da energia através de diversas estratégias bioclimáticas para adaptar o projeto ao espaço e ao clima em que está inserido. Para isto, existem diversas estratégias que atendem aspectos como o nível de insolação no interior dos edifícios, a transmitância de calor dos materiais utilizados, e o objeto deste estudo, a ventilação natural no ambiente interno.

O trabalho está inserido no contexto do conforto ambiental, mais especificamente na área de ventilação natural. Adentra também na disciplina de projeto, visto que os resultados obtidos neste estudo

provêm dados concretos para serem utilizados como base para especificações de esquadrias e soluções de ventilação natural em projetos arquitetônicos, mais especificamente, nos objetos isolados das esquadrias, provendo dados de cada tipo das mesmas.

Tem-se como objetivo deste estudo compreender a eficácia de cada tipo de esquadria em relação à sua permeabilidade ao vento, o modo que as mesmas interferem ou permitem a passagem da ventilação natural e os efeitos que elas podem causar na ventilação do ambiente interno.

Neste trabalho, entende-se por esquadrias todo o conjunto que inclui portas e janelas. Tendo isto em mente, o trabalho se apresenta como um estudo da eficácia das esquadrias em relação à ventilação natural, utilizando-se de uma técnica moderna de análise, a Fluidodinâmica Computacional (CFD).

Considera-se que a temática é de grande importância pois a ventilação natural é um aspecto importante para projetos com preocupação bioclimática e energética, possibilitando reduções nos gastos de energia elétrica e tornando a edificação mais sustentável. Segundo recomendações da NBR 15220/2003, sete das oito zonas bioclimáticas brasileiras são beneficiadas a partir da utilização da ventilação natural.

Sendo assim, o trabalho foi dividido em 6 capítulos principais, de acordo com a metodologia empregada para a realização do estudo.

O Capítulo 1 é composto por esta introdução, trazendo uma breve

## 1. INTRODUÇÃO

---

contextualização do trabalho em relação à atualidade do tema, além de delimitar os principais objetivos que se buscou alcançar com a realização do estudo.

O Capítulo 2 parte para a o referencial teórico. Nele são explicados os principais conceitos necessários para a compreensão da temática e do estudo, passando por pontos como ventilação no espaço interno, tipos de ventilação, modos de predição da ventilação, estratégias bioclimáticas, caracterização da ventilação no meio urbano e outros tópicos importantes para o trabalho. Neste capítulo estão algumas informações que serão retomadas nas etapas de *input* e análise dos resultados das simulações.

O Capítulo 3 delimita a metodologia utilizada no trabalho. É um dos capítulos mais extensos, visto que a rotina utilizada é de suma importância no entendimento e na validação dos resultados, seguindo algumas etapas e testes que delimitaram escolhas necessárias para prosseguir com o estudo. Inicialmente mostra-se como foi realizado o estudo em si, partindo da escolha do tema, principais conceitos, escolha das análises e modo de estudá-las. Partiu-se então para a delimitação do estudo de caso e tipologia utilizada, comentando-se alguns testes realizados para a determinação da mesma. Em seguida, expõe-se os principais dados de entrada (*input*) utilizados nas simulações. Logo após, são apresentados os modelos de esquadrias utilizados e os cenários compostos pela combinação destes modelos. Conclui-se o capítulo com a rotina de operação do ANSYS CFX,

demonstrando um passo a passo de como as simulações foram realizadas e os principais parâmetros utilizados.

No Capítulo 4 estão os resultados e análises dos resultados obtidos nas simulações. Nele, agrupou-se cada cenário em uma página dupla onde se tem uma análise textual descritiva, dados quantitativos apresentados a partir de gráficos, delimitação gráfica das esquadrias utilizadas e os resultados qualitativos obtidos no ANSYS CFX, demonstrando o fluxo de ar nos apartamentos através de imagens de contorno em cores. Ao final do capítulo, são apresentadas comparações entre os diferentes cenários e esquadrias utilizadas, situando-as com gráficos comparativos para melhor visualização das mesmas.

O Capítulo 5 trata do fechamento do trabalho, expondo as conclusões obtidas e realizando as últimas considerações acerca do mesmo.

Por fim, o Capítulo 6 traz o referencial bibliográfico, onde estão alocados todos os trabalhos que embasaram o repertório teórico deste estudo.





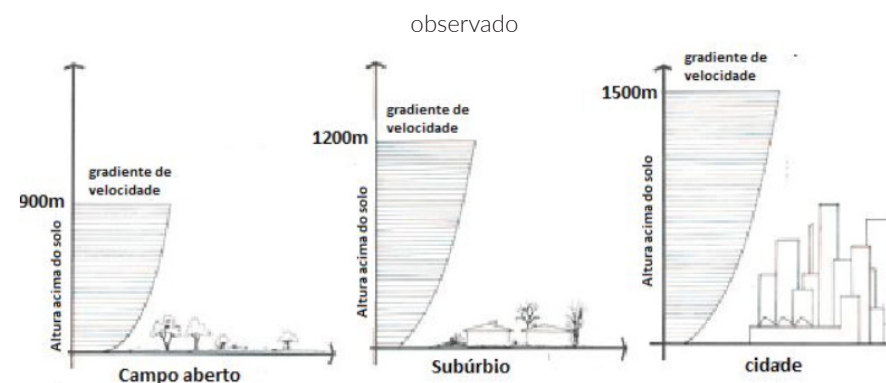
Denomina-se por vento o ar atmosférico em movimento devido à incidência desigual da radiação solar no globo terrestre. Essa variação na incidência, devido à fatores como latitude, características de absorção dos materiais na superfície, leva à uma variação de pressão em vários pontos da atmosfera. De forma simplificada, podemos dizer que o ar tende a se mover de uma zona de alta pressão (temperaturas mais baixas, onde o ar se mantém mais compactado, com maior densidade) para uma zona de baixa pressão (temperaturas mais elevadas, onde o ar se expande e possui uma menor densidade). Essas zonas de baixa e alta pressão são responsáveis por gerar movimentação dos gases em busca do equilíbrio, que juntamente com a rotação do planeta criam as correntes de vento, e por fim, a ventilação natural (FROTA e SCHIFFER, 2003 ).

O vento ainda é influenciado por características geográficas locais. No litoral, como no estudo de caso utilizado neste trabalho, geram-se as chamadas brisas marinhas. A diferença do calor específico da água em relação ao solo faz com que ele demore mais a se aquecer sobre o oceano, gerando uma zona de maior pressão, e por consequência, uma movimentação do vento em direção ao continente. Durante a noite, a água demora mais a esfriar do que o solo, gerando uma zona de baixa pressão, e causando um movimento inverso do vento, do continente em direção ao mar. Fenômenos similares podem acontecer devido à outros aspectos como o relevo, material do solo, presença de áreas verdes e o nível de urbanização.

No caso da ventilação urbana, existem conceitos importantes para a compreensão do comportamento do vento no meio. Seu encontro com obstáculos como casas, edifícios, vegetação alteram sua velocidade e sentido, para estudos deste tipo, consideramos isso como a rugosidade do entorno que varia conforme a densidade urbana e a altura das edificações (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005).

Tal fenômeno determina um tipo de velocidade variável, chamado de gradiente de velocidade, para o vento no contexto urbano, seguindo um perfil logarítmico, com menor velocidade próximo ao solo e chegando à sua velocidade inicial sem obstáculos em uma certa altura, a camada limite.

Figura 1: Esquema demonstrando o gradiente de velocidade conforme o tipo de terreno



Fonte: Melaragno (1982) apud Moraes (2013)

Dito isto, o vento pode ter sua incidência de duas maneiras: in-

## 2. REF. TEÓRICO

cidência laminar, onde independentemente da altura a sua velocidade segue constante, mantendo um mesmo valor de velocidade e pressão em toda a corrente; e incidência turbulenta, onde a massa de ar encontra obstáculos, mecânicos e térmicos, que criam vórtices e perturbações no fluxo, gerando um alto grau de complexidade na previsão dos mesmos. Segundo Leite (2010), a incidência do vento próximo à superfície apresenta-se de maneira turbulenta.

A velocidade do vento em determinada altura pode ser obtida pela expressão (Equação 1) descrita por Gasch (1996) apud Leite (2010):

Equação 1: Perfil de velocidade do vento em relação à uma altura qualquer

$$V(h) = V_{ref} \frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_{ref}}{z_0}\right)}$$

Onde:

$V_{ref}$  = velocidade do vento medida na altura de referência (m/s)

$h_{ref}$  = altura de referência de medição da velocidade do vento (10m em geral)

$z$  = rugosidade

Para esta expressão, utilizou-se a tabela de rugosidade definida pelos autores, selecionando o contexto de estudo do trabalho como subúrbio, devido à caracterização da cidade de João Pessoa, escolhida como exemplificação de caso de estudo, que apesar de apresentar um certo grau de verticalização ainda não é o suficiente para gerar uma rugosidade tão elevada.

### 2.1 Estratégias bioclimáticas

Quando se busca uma arquitetura condicionada ao local que está inserida é inerente que a tratemos como uma arquitetura bioclimática. A forma e a função ligadas às características naturais do sítio e do locus trabalhadas de forma conjunta com estratégias de conforto ambiental caracterizam este enfoque numa arquitetura que busca compreender as necessidades do clima que está localizada, assim como características inerentes às questões de terreno, clima e cultura local.

O entorno surge como o grande condicionante do projeto arquitetônico, trazendo para si um microclima que pode ser trabalhado através da integração de diversos tipos de materiais, modelos de implantação, aspectos lumínicos, térmicos, acústicos e de ventilação.

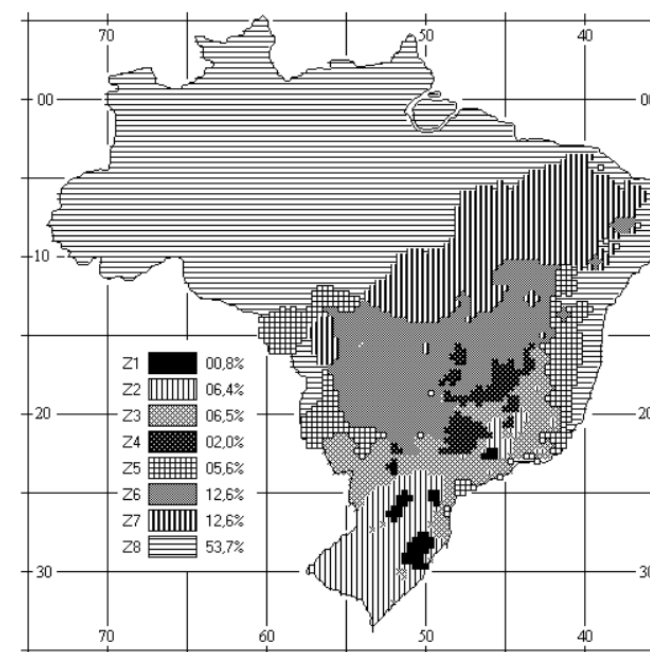
A arquitetura bioclimática contemporânea pode ser confundida com a utilização de técnicas avançadas de aproveitamento das condições climáticas do local. Pode-se incluir nesta situação tecnologias de captação de energia solar, eólica, utilização de sombreamento automatizado por sensores, controle de climatização automatizado, entre outros. No entanto, as estratégias bioclimáticas são mais do que essas novas tecnologias, elas surgem de um conjunto de técnicas utilizadas ao longo dos séculos em projetos que buscavam se adaptar ao clima, trazendo conforto ambiental para edificações em épocas em que ainda não se havia a tecnologia de ponta atual. Isso

é um fator muito importante, visto que assim, pode-se considerar que essas estratégias possuem um gasto praticamente nulo de energia para operarem, além de que com a tecnologia atual, pode-se utilizá-las de maneira mais eficiente. Algumas dessas estratégias incluem: materiais próprios para absorver ou refletir o calor, utilização de corpos d'água para resfriamento e umidificação, deslocamento de cobertas para diminuir a transmissão de calor, aquecimento de água por meio do sol, sombreamento de fachadas e janelas, e a ventilação cruzada como forma de resfriamento de ambientes e renovação do ar (CUNHA et al., 2006).

No Brasil, temos um clima em sua grande maioria tropical, no entanto, cada região do país possui características próprias que necessitam de estratégias específicas. Segundo a NBR 15220, o Brasil apresenta oito Zonas Bioclimáticas distintas (Figura 2). A norma sugere diversas estratégias para condicionamento térmico passivo próprias para cada zona delimitada.

A ventilação aparece como solução em sete das oito zonas, seja ela de forma permanente como na Zona Bioclimática 8, ou em certas épocas do ano, como na Zona Bioclimática 7. Sendo assim, torna-se imprescindível compreender os aspectos por trás desta estratégia para utilizá-la de forma eficiente.

Figura 2: Mapa do Brasil com destaque para as Zonas Bioclimáticas



Fonte: ABNT - NBR 15220/2003

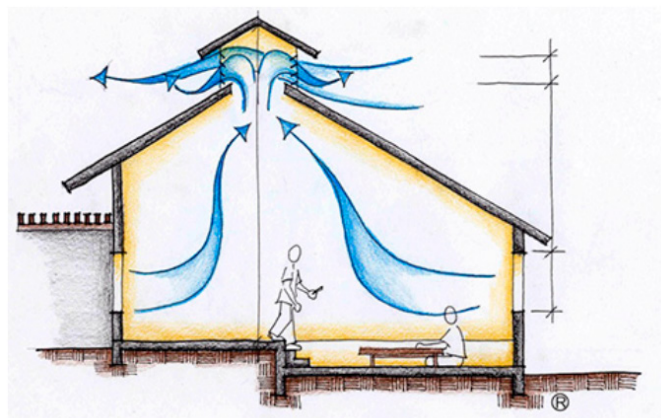
## 2.2 Ventilação no ambiente interno

A ventilação no ambiente interno pode ocorrer de três formas principais: por diferencial de densidade, diferencial de pressão ou a combinação de ambas. O diferencial de densidade geralmente ocorre quando se tem uma variação na temperatura do ar, fazendo com que o mesmo se movimente através das entradas e saídas localizadas

## 2. REF. TEÓRICO

no edifício. Este efeito é bem compreendido através da ventilação por efeito chaminé, onde o ar mais frio e denso tende a se concentrar mais próximo ao solo, enquanto o ar quente cria um fluxo em direção à coberta, gerando essa circulação de ar interna ao edifício.

Figura 3: Esquema detalhando um modelo de ventilação por efeito chaminé

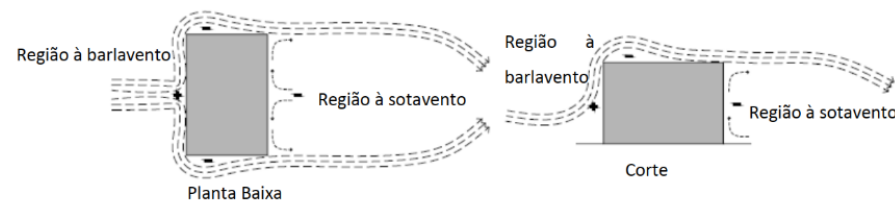


Fonte: ProjeTEEE. Acesso em: 7 de Set. de 2019. <<http://projeteee.mma.gov.br/implementationacao/efeito-chamine/>>

Outro mecanismo de ventilação natural no ambiente interno é a ventilação cruzada, gerada por um diferencial de pressão nas aberturas do ambiente, modelo de ventilação foco deste trabalho. Para entendermos a ventilação cruzada, é fundamental conhecermos os conceitos de pressão positiva e negativa, que vão determinar a possibilidade do vento circular num ambiente. De modo simplificado, para ocorrer a ventilação cruzada é necessário uma entrada de vento e uma saída, de modo que o ar se movimente por dentro do ambi-

ente. Para que isso aconteça, a pressão no lado externo da abertura de entrada deve ser maior que do lado interno, consideramos então que essa abertura está num local de pressão positiva, ou seja, uma fachada a barlavento, com incidência direta do vento. Já na abertura de saída, a pressão interna do ambiente deve ser maior do que a externa, criando uma força de sucção do ar para o ambiente externo, consideramos então que essa abertura está num local de pressão negativa, ou seja, uma fachada a sotavento.

Figura 4: Diagrama demonstrando as pressões positivas e negativas exercidas em cada fachada da edificação



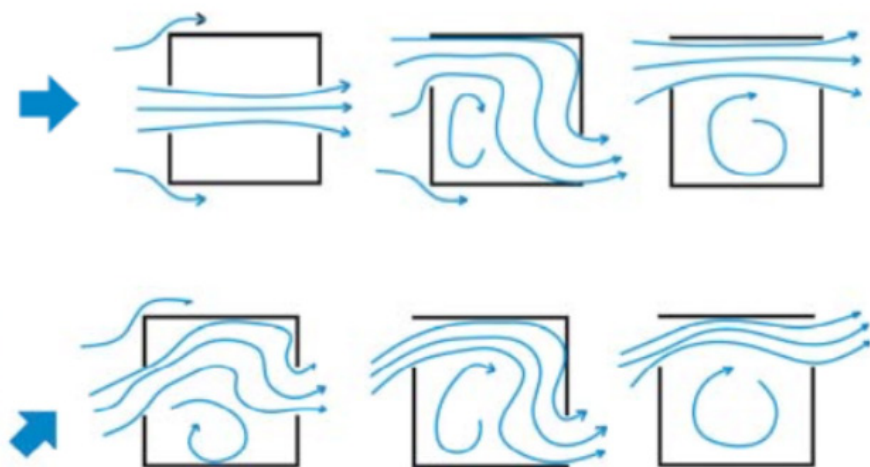
Fonte: Olgyay (1998) apud Moraes (2013)

No entanto, as fachadas nem sempre estão completamente alinhadas perpendicularmente à incidência do vento. Dito isto, a própria geometria da edificação irá impactar o modo como o vento incide em cada abertura. Até mesmo uma fachada perpendicular ao vento terá uma incidência próxima a 90° no seu centro, porém, ao afastarmos deste centro, o vento que incide sobre as aberturas tende a ter um componente de direção lateral, fazendo com que esse ângulo di-



minua e torne a incidência do vento não perpendicular. Isso se deve ao fato do ar se comportar como um fluido e sua maleabilidade faz com que o mesmo procure caminhos mais fáceis para ultrapassar o obstáculo.

Figura 5: Plantas baixas simulando o efeito da posição das esquadrias e incidência do vento na ventilação cruzada do ambiente

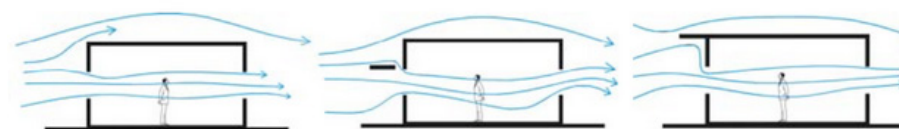


Fonte: Givoni (1976) apud Cândido (2006)

A ventilação cruzada ainda pode ter diferentes objetivos: promover uma ventilação higiênica ou uma ventilação de conforto. A ventilação higiênica é aquela que tem o intuito de renovar o ar do ambiente, sem necessariamente gerar uma brisa perceptível pelo usuário. Essa renovação de ar é extremamente importante para evitar acúmulo de gases nocivos ou simplesmente melhorar a qualidade do ar para res-

piração, trazendo um ar mais fresco e umedecido para o ambiente interno. Geralmente, esse tipo de ventilação ocorre em um plano superior, por meio de bandeiras acima de portas e janelas ou sistemas de ventilação por chaminé. Já a ventilação de conforto busca trazer satisfação direta ao usuário, promovendo uma amenização da temperatura corporal através do contato do vento com a pele. Sendo assim, esta ventilação deve circular num plano mais baixo, que entre em contato com as pessoas, fazendo proveito de elementos de entrada como portas, janelas e esquadrias em geral (CUNHA et al., 2006).

Figura 6: Efeito de projeções horizontais no fluxo de ar interno em ventilação cruzada de conforto



Fonte: Olgyay (1998) apud Cândido (2006)

### 2.3 Ventilação através de esquadrias

As aberturas são elementos arquitetônicos responsáveis pela entrada de luz e calor, assim como de ventilação na edificação. Estas geralmente têm seu desempenho afetado pela escolha do tipo de esquadria utilizada na abertura. As esquadrias são elementos fundamentais para o conforto ambiental de um projeto arquitetônico.

## 2. REF. TEÓRICO

---

Não só representam uma excelente forma de controle climático, mas também de redução de gastos de energia, controlando a entrada de radiação solar e podendo gerar resfriamento passivo dos ambientes. Os três fatores que mais interferem na ventilação interna do ambiente são: posição, dimensões e tipo de esquadrias. A posição é um fator muito importante devido ao aproveitamento do diferencial de pressão explicado anteriormente. Neste trabalho, focou-se nos modelos de esquadrias utilizados e como estes interferem diretamente no fluxo de ar interno.

Existem diversos tipos e modelos de esquadrias que podem ser utilizadas no projeto arquitetônico, desde as mais simples e tradicionais até as mais modernas e complexas. Atualmente, os modelos mais encontrados são as esquadrias de correr, utilizadas em aberturas de longa permanência, como em quartos e salas, e as janelas basculantes ou maxim-ar, utilizadas geralmente como janelas altas ou acopladas em fachadas estilo pele de vidro.

Cada tipo de clima existe uma necessidade específica de ventilação e iluminação (ou isolamento térmico e sombreamento) que deve ser cumprida pela esquadria escolhida. Os diversos modelos de esquadrias permitem níveis diferentes de controle acerca do sombreamento e permeabilidade ao vento, permitindo que o usuário adapte o elemento ao clima, gerando maior conforto no espaço interno. Assim, os códigos de obra são flexíveis quanto ao tipo de esquadria, limitando apenas uma área mínima para as mesmas. Com base na

área do ambiente que estão inseridas, os códigos recomendam uma área das esquadrias de  $\frac{1}{6}$  (um sexto) da área do ambiente (utilizou-se como base o Código de Obras da Cidade de João Pessoa para este trabalho) e muitas vezes esta área é insuficiente para uma boa ventilação. Outra deficiência dos códigos de obras é a de levar em consideração apenas a área do piso, desconsiderando outros fatores de suma importância, como posicionamento e quantidade de aberturas, delegando apenas à dimensão (muitas vezes mínima), a responsabilidade de resolver a ventilação interna.

Outra dificuldade em relação às esquadrias, sejam de entrada ou de saída, se dá em relação ao sombreamento e a privacidade. Na questão do sombreamento, percebe-se que ao abrirmos o espaço para a circulação de vento, o mesmo também pode permitir a incidência da radiação solar de forma direta no ambiente. Para isso, as estratégias de ventilação devem ser pensadas juntamente com outros elementos arquitetônicos que promovam esse sombreamento das aberturas, podendo estes ser independentes ou integrados às esquadrias, como o caso dos brise-soleils e beirais. Em relação à privacidade, o problema se dá geralmente nas conexões internas dos espaços, visto que em grande parte dos ambientes uma das aberturas de entrada ou saída seria a porta de acesso, e ao deixá-la aberta para gerar ventilação cruzada, o ambiente se torna bem menos privativo. Esse aspecto se torna ainda mais relevante em edifícios verticalizados como hotéis ou flats (objeto deste estudo), onde

usualmente ocorre de se ter um ambiente único, dividido apenas por mobiliário, onde a porta muitas vezes assume importante papel na ventilação interna. Assim, propor soluções para incrementar a passagem de vento através de dispositivos de esquadrias na entrada ou saída de vento é uma das missões deste trabalho.

## **2.4 Formas de predição da ventilação natural**

Há diversas ferramentas capazes de prever o comportamento da ventilação natural. Dentre elas, podemos destacar três principais: o túnel de vento, a mesa d'água e o mais recente, porém internacionalmente aceito, e utilizado neste trabalho, a fluidodinâmica computacional.

O túnel de vento talvez seja a ferramenta mais conhecida quando se fala em estudos de ventilação. Consiste, de forma simplificada, em uma túnel onde de um lado existe uma turbina ou hélice que movimenta o ar para dentro do túnel, uma saída de ar e tubos de despejamento de fumaça ou gelo seco para perceber visualmente o comportamento do vento. Existem ainda peças mais precisas que podem ser utilizadas para captação de dados como pressão ou velocidade do vento em certo ponto (BLESSMANN, 1990 apud. TOLEDO, 2006).

Já a mesa d'água, consiste em dois reservatórios de água ligados por uma reservatório laminar, a “mesa”. Nessa ferramenta, uma bomba

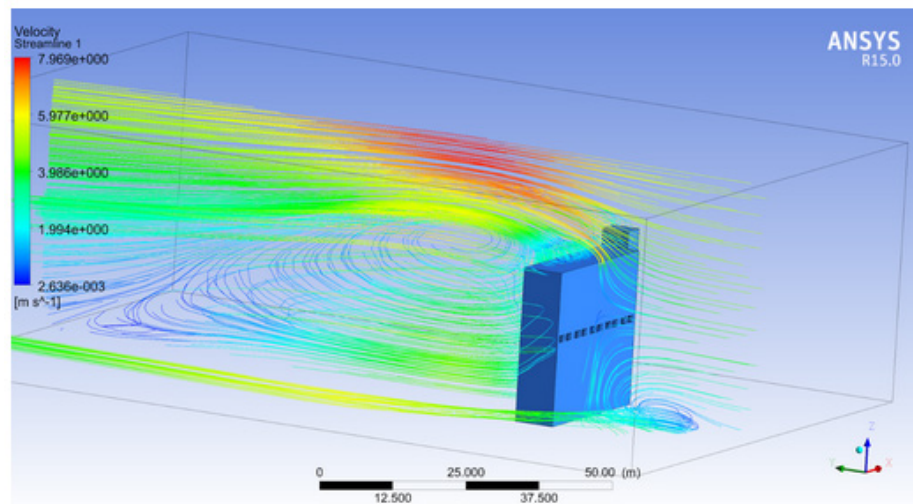
movimenta a água de um reservatório à outro, gerando um fluxo laminar horizontal onde será colocada a maquete de estudo. Neste tipo de análise é comum utilizar outros fluidos como o detergente para demonstrar visualmente a movimentação do fluido pela maquete. A terceira forma de prever o comportamento do vento é através de modelos computacionais de simulação, a Fluidodinâmica Computacional, um modo mais recente de realizar estes estudos, possibilitado pelo crescente avanço tecnológico a capacidade computacional (TOLEDO e PEREIRA, 2003). Esta ferramenta foi escolhida por já ter sido utilizada pelo autor em um trabalho de PIVIC.

## **2.5 Fluidodinâmica Computacional - CFD**

O ar em si, pode ser entendido como um fluido de acordo com a física, o que nos permite realizar estudos baseados em fluidodinâmica para entender o seu comportamento em um determinado meio. Um dos melhores meios de estudar a fluidodinâmica é através de simulações. A Fluidodinâmica Computacional (CFD) surge como um modelo numérico de simulação computacional de fluidos, onde o computador realiza cálculos em diversos pontos do modelo diversas vezes (ciclos ou iterações), gerando um resultado com base numa compilação dos diversos estados do fluido em um certo período de tempo (SANTAMOURIS e WOUTERS, 2006). No caso desse estudo, utilizou-se o software ANSYS CFX.

## 2. REF. TEÓRICO

Figura 7: Exemplo da interface de resultados do ANSYS CFX utilizando streamlines



Fonte: Autor

O ANSYS CFX é um conjunto de softwares que interagem entre si dentro de um mesmo processo de trabalho. Isso se deve ao fato do CFD ser uma ferramenta de trabalho extremamente versátil, podendo ser utilizada para diversas análises que envolvam fluidos, desde situações mais simples até modelos de alta complexidade, que envolvam outros parâmetros como termodinâmica, e partículas, como no caso de motores à combustão. Dito isto, o ANSYS CFX na arquitetura vem sendo bem utilizado por pesquisadores no que tange o aspecto da ventilação urbana ou para a análise da ventilação de forma interna, em como o vento se comporta dentro de certo edifício. Existem ainda outras possibilidades ligadas ao ramo da construção civil, como o impacto da força do vento em estruturas,

sombras de vento causadas pela implantação de um edifício e possíveis problemas acústicos causados pela ação do vento em certos elementos de projeto. Alguns estudos nacionais de análise da ventilação urbana com CFD podem ser destacados como bases para a utilização dessa ferramenta nesta área.

Em relação à estudos de ventilação urbana, podemos destacar os trabalhos de Leite (2013 e 2015) que realiza um extenso estudo acerca do impacto a verticalização e adensamento da malha urbana nas questões do conforto térmico e ventilação natural, utilizando como base o clima tropical úmido, bastante presente em muitas capitais brasileiras. Destaca-se também o trabalho de Prata (2005), que combina uma ferramenta física tradicional (túnel de vento) com uma ferramenta de ponta mais moderna (CFD), estudando os impactos da ocupação verticalizada da orla da cidade de Santos - SP, realizando análises acerca do conforto ambiental do pedestre e das áreas urbanas do trecho.

Adentrando no contexto do edifício, Moraes (2013) realiza um estudo acerca da ventilação natural em edifícios multifamiliares do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Campinas, analisando três tipologias diferentes para habitação popular e identificando os principais problemas para a ventilação interna destas edificações, demonstrando a os valores obtidos em cada ambiente dos apartamentos, utilizando o mesmo software utilizado nesta pesquisa, o ANSYS CFX, servindo como embasamento para a rotina de trabalho

deste estudo.

Voltado para o âmbito das esquadrias, Cândido (2006) realiza um estudo acerca do uso de certos tipos de esquadria em edifícios de escritórios em Maceió, analisando o impacto de três modelos de esquadrias na ventilação interna de uma edificação típica da tipologia escolhida, trazendo valores quantitativos e informações visuais que inspiraram o modo de conduzir e apresentar o presente trabalho.

# 3. MÉTODO

Etapas, cenários e rotinas

De uma forma geral, a metodologia do trabalho se iniciou pela definição do recorte do tema a ser estudado. Sendo assim, optou-se por estudar a ventilação no ambiente construído, mais especificamente, a influência dos tipos de esquadrias na ventilação dos ambientes internos do edifício. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca do tema, procurando compreender os principais conceitos a serem abordados pelo estudo, assim como os fenômenos que ocorrem no encontro do vento com os obstáculos do interior do edifício. Buscou-se então delimitar certos parâmetros que possibilitaram um estudo mais prático e voltado para a realidade: os tipos de esquadrias e suas dimensões a serem utilizadas, a disposição das mesmas no ambiente, o tipo de planta e a tipologia da edificação, os dados climáticos, características do vento e entorno definidos como dados de entrada na simulação. Com isso em mente, optou-se por realizar estes estudos a partir de uma planta simples, com pouca compartimentação e com menor influência de outros agentes que não sejam os objetos de estudo. Já as esquadrias foram escolhidas de modo a representar os modelos mais utilizados atualmente nas construções em João Pessoa - PB, tendo em vista aproximar o estudo da realidade local e possibilitar o uso do mesmo em futuras aplicações. Assim, formaram-se combinações entre esquadrias de entrada de vento (janelas) e esquadrias de saída (portas), com o intuito de gerar ventilação cruzada no ambiente.

Realizaram-se então simulações utilizando o software ANSYS CFX,

que permite calcular a interação do fluido, no caso deste estudo, o vento, com a geometria especificada: a edificação e as esquadrias. Seguiu-se uma rotina pré-determinada de utilização do software, seguindo os mesmos parâmetros para todos os casos, como uma forma de controle dos testes, para enfim obter-se os resultados relevantes à pesquisa. Após esta explanação geral do caminho do trabalho, cada etapa do mesmo será melhor detalhada ao longo deste capítulo.

### **3.1 Delimitação do estudo de caso**

Para a realização do estudo foi preciso determinar um ambiente controlado em que se pudesse inserir as diferentes combinações de esquadrias previstas. Buscou-se também aproximar os testes à realidade, visto que vários fatores influenciam no quesito de eficiência da ventilação de uma edificação. Dentre estes quesitos pode-se destacar a geometria do edifício e do ambiente, a disposição das aberturas e o nível de compartimentação.

Foram realizadas algumas simulações de teste para determinar uma tipologia que atendesse esses pré-requisitos. Inicialmente optou-se por testar o ambiente isolado, apenas um retângulo genérico com uma janela como entrada e uma porta como saída de vento, o que resultou em dados possivelmente exagerados, visto que as zonas de pressão se tornaram muito contrastantes e fugiam da realidade.

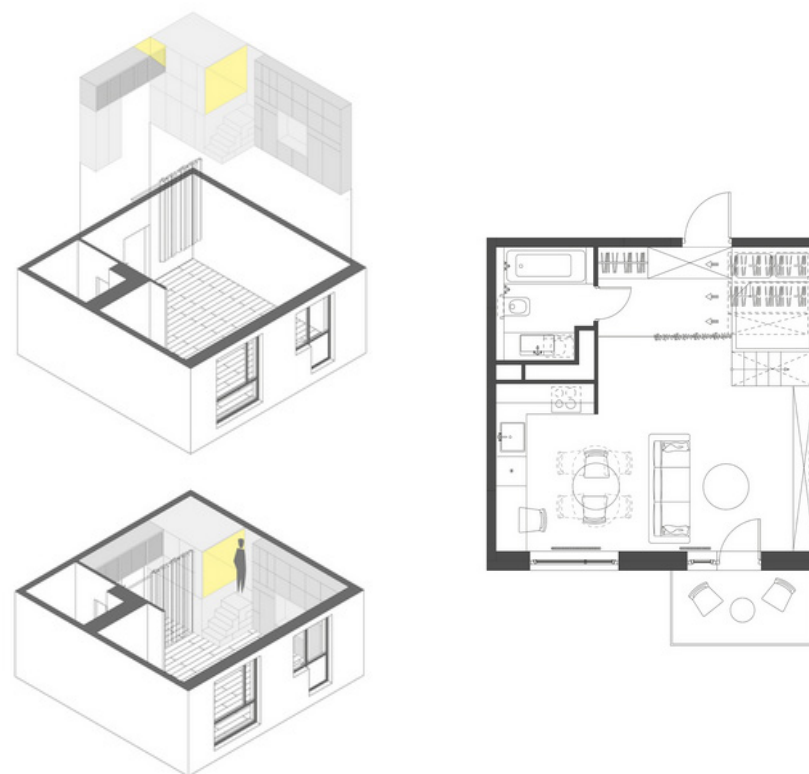
### 3. MÉTODO

Testou-se também o modelo de uma casa térrea do programa Minha Casa Minha Vida, no entanto, este já possui uma maior compartimentação e notou-se que o efeito das esquadrias estava ficando em segundo plano, sendo sobreposto pelas outras aberturas e compartimentos da edificação.

Finalmente, chegou-se à solução de utilizar a tipologia do Flat residencial ou hoteleiro, visto que a mesma possui, em geral, um ambiente contínuo que agrega diversas funções, uma entrada e uma saída de ventilação claramente definidas e um ambiente seguinte, geralmente uma circulação, que permite uma diferença de pressão menos drástica, mais próxima da realidade.

Utilizou-se como base o projeto Flat 35m<sup>2</sup> de autoria do escritório Studio Bazi, com 35m<sup>2</sup>, localizado em Moscou, Rússia (Figura 8). Este projeto divide o espaço interno do flat em três ambientes num mesmo vão, além do compartimento do banheiro. Inclui o espaço da cozinha, localizada na área esquerda da planta, espaço de estar com ligação direta à varanda, localizado na parte direita inferior da planta, e o dormitório, adaptado através de mobiliários para agregar a cama juntamente com os armários, localizado na parte direita superior da planta.

Figura 8: Perspectiva isométrica (esq.) e planta baixa (dir.) do projeto Flat 35m<sup>2</sup> do escritório de arquitetura Studio Bazi



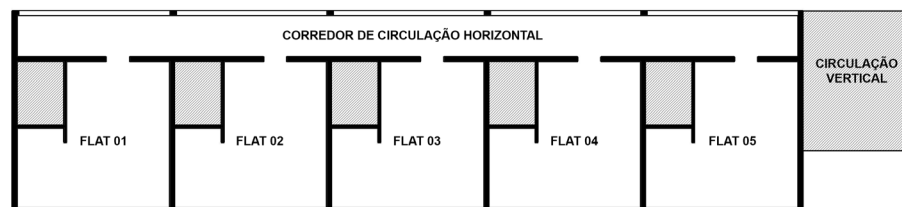
Fonte: Flat 35m<sup>2</sup> / Studio Bazi, 13 Abr 2017. ArchDaily Brasil. Acesso em: 5 Set 2019. <<https://www.archdaily.com.br/br/869120/flat-35m2-studio-bazi>>

Esta tipologia de Flat possui um padrão bem similar a outros existentes no Brasil, sendo assim, adotou-se esse cenário para o presente estudo, realizando-se algumas adaptações para adequar-se ao estudo: as varandas foram suprimidas, o tamanho das esquadrias foram modificados para adequar-se ao Código de Obras da Prefeitura-



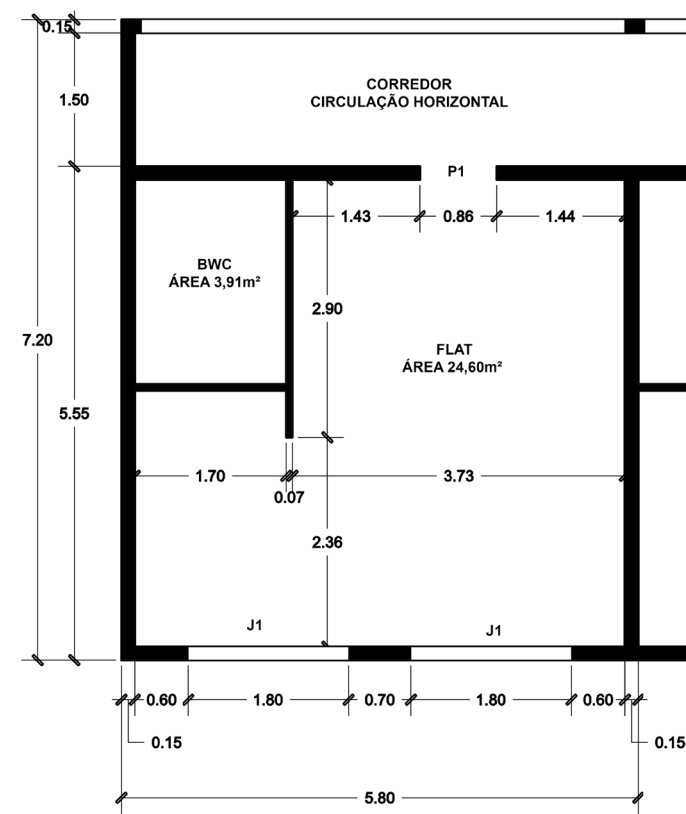
ra de João Pessoa que indica uma área de esquadria de pelo menos  $\frac{1}{6}$  (um sexto) da área do ambiente em que está localizada. Optou-se por dividir esta área em duas, seguindo o projeto, e criando duas esquadrias de entrada e uma de saída. Além disso, a planta foi replicada lado a lado, gerando cinco apartamentos iguais dispostos em linha e conectados por um corredor com livre passagem de vento, simulando assim uma edificação completa e mais próxima da realidade. Cada apartamento apresenta dimensões totais de 5,55 m de largura por 5,80 m de comprimento, seguidos de um corredor com 1,50 m de largura. Além disso a edificação possui um total de 32,25 m de comprimento e 7,20 m de largura, incluindo circulações verticais e horizontais. Cada pavimento foi definido com um pé direito de 3,00 metros e laje de 0,20m entre os mesmos.

Figura 9: Disposição dos apartamentos no pavimento tipo



Fonte: Autor

Figura 10: Planta baixa do apartamento tipo com cotas



Fonte: Autor

Tabela 1: Quadro de esquadrias do apartamento tipo

Esquadria	Dimensões (altura x largura X peitoril) metros
P1	2,10 x 0,86 x 0,00
J1	1,20 x 1,80 x 1,00

Fonte: Autor

### 3. MÉTODO

---

#### 3.2 Dados de entrada

Buscando uma maior proximidade do contexto urbano real das cidades brasileiras, os dados de entrada, o input, foram selecionados simulando um projeto na cidade de João Pessoa - PB. Dito isso, percebe-se a influência de fatores como o nível de densidade urbana, clima, características do vento. Além disso, necessita-se de outros parâmetros técnicos para a realização das simulações, desde as equações para cálculo da incidência do vento até o modelo de turbulência utilizado para interpretar a dinâmica do fluido no domínio. Quanto à caracterização climática, foram utilizados os dados obtidos em um estudo realizado por Oliveira (2013). Estes dados foram obtidos a partir do portal do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) onde se obteve uma velocidade média de incidência do vento de 3,6 m/s. Essa velocidade foi então aplicada no software a partir da fórmula logarítmica de cálculo da ventilação no meio urbano (Eq. 1 do Capítulo 2), visto que a incidência do vento na edificação em um caso real seria afetada pelo entorno e não se apresentaria de uma forma laminar.

O contexto urbano da cidade de João Pessoa apresenta diferenças significantes de região para região da cidade. Quanto aos bairros que mais se adaptam à tipologia de estudo escolhida, existe uma certa variação no nível de densidade urbana e verticalização. Nos bairros mais próximos ao Centro e Zona Sul, encontra-se ainda um grande

número de casas térreas ou com primeiro pavimento, além de apresentarem majoritariamente prédios pouco verticalizados, entre três e seis pavimentos. No entanto, estas áreas já sofrem um processo de modificação recente, onde novos empreendimentos surgem com grandes torres de apartamentos, aumentando o nível de verticalização destas áreas. Porém, a principal área que atrai essa tipologia é a orla da cidade. A mesma apresenta uma característica única que é a faixa de restrição de gabarito, gerando uma verticalização regulada e um escalonamento das edificações, objeto de estudo explorado no PIVIC deste autor, onde se analisou a influência desta restrição de gabarito na ventilação urbana, utilizando-se do mesmo software empregado neste trabalho. Esta faixa de regulação de gabarito adentra 500 metros a partir da orla, no entanto, a partir daí os prédios são limitados em altura apenas pelo seu terreno, obedecendo o Índice de Aproveitamento indicado pela prefeitura, que permite grandes torres residenciais nestes bairros. Dito isto, João Pessoa ainda não é uma cidade que apresenta um nível de verticalização tão elevado quanto outras capitais do país, sendo assim, considerou-se um contexto urbano com uma rugosidade média-alta.

Figura 11: Tabela de rugosidade para equação logarítmica da ventilação

Tipo de terreno	$Z_0$ (metros)
Lagos, mar aberto	0,0001
Superfície com areia (lisa)	0,0003
Superfície com neve (lisa)	0,001
Pradaria, campo	0,01
Vegetação rasteira	0,1
Muitas árvores e/ou arbustos	0,2
Subúrbios	0,5
Cidade, floresta	1,0

Fonte: Carvalho (2003) apud Morais (2013)

### 3.3 Modelos de esquadrias estudados

Com o intuito de analisar a eficiência para ventilação natural, foram selecionados nove modelos de esquadrias, e dentre estes, cinco são caracterizados no modelo de flat proposto como esquadrias de entrada de vento (janelas) e quatro como esquadrias de saída de vento (portas). É importante ressaltar que essa classificação é específica deste estudo, visto que tanto janelas quanto portas podem funcionar como aberturas de entrada e saída de vento, dependendo da sua disposição no ambiente, incidência do vento e alguns outros fatores. A seleção dos modelos de esquadrias estudados teve como base o grau de usabilidade das mesmas em projetos locais recentes, além da inclusão de esquadrias que não são tão comuns de serem utilizadas mas que fornecem uma expectativa de ventilação maior do que as mais usuais.

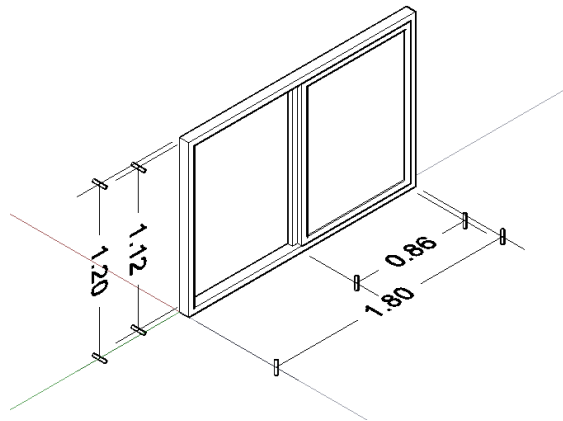
#### 3.3.1 Janela de correr

Uma das esquadrias mais comumente utilizadas nos projetos arquitetônicos contemporâneos, a janela de correr é um modelo que preza pela simplicidade, possuindo muita aceitação na construção civil devido à sua pré-fabricação industrial e poder ser utilizada em basicamente qualquer situação. Ela contém um mínimo de duas folhas que se intercalam e deslizam entre si, mantendo uma área de abertura efetiva de aproximadamente 50% da área total da esquadria. As janelas de correr podem apresentar mais de duas folhas, sendo isso determinado, geralmente, pelo seu comprimento, permitindo que o espaço vazado seja deslocado conforme a preferência do usuário. As folhas podem ser de vários materiais, sendo os mais comuns o vidro e a madeira.

No caso deste estudo, selecionou-se uma esquadria com apenas duas folhas de vidro e estrutura em alumínio (padrão usual em edifícios dessa tipologia). Sendo assim, as seguintes dimensões foram utilizadas: espessura do caixilho de 7 cm, espessura da armação da folha de 3 cm, espessura da folha de 1,5 cm, altura da folha de 112 cm e comprimento da folha de 86 cm.

### 3. MÉTODO

Figura 12: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela de correr



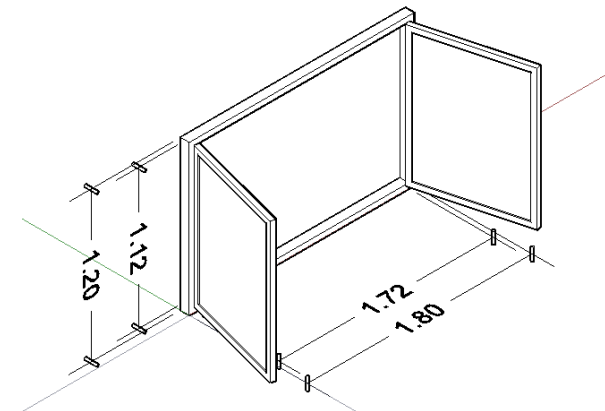
Fonte: Autor

#### 3.3.2 Janela de abrir

Outro modelo de esquadria popular é a janela de abrir. Esse tipo de janela já foi maioria em tempos passados, onde a maioria das edificações possuía poucos pavimentos, sendo em sua maioria casas térreas, sobrados ou edifícios baixos. A janela de abrir se apresenta como uma esquadria de uma ou duas folhas onde existem dobradiças acopladas na extremidade da folha que se conecta ao caixilho junto à parede, permitindo que estas folhas se abram com ângulos próximos à 180°, gerando um espaço livre de obstáculos, ou seja, uma área de abertura efetiva de 100%. No entanto, deve-se notar que este modelo ocupa um certo espaço lateral devido ao deslocamento das folhas, sendo necessário levar em conta este espaçamento no

projeto. Além disso, as janelas de abrir não são facilmente controladas, ou seja, para uma abertura intermediária é preciso que existam outros mecanismos de travas para mantê-la fixa no ângulo desejado. Para este estudo, utilizou-se uma esquadria com duas folhas de vidro e estrutura em alumínio, onde o ângulo de abertura foi de 100°, devido ao choque com as demais janelas ao lado. Dito isto, as dimensões utilizadas foram: espessura do caixilho de 7 cm, espessura da armação da folha de 3 cm, espessura da folha de 1,5 cm, altura da folha de 112 cm e comprimento da folha de 86 cm.

Figura 13: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela de abrir



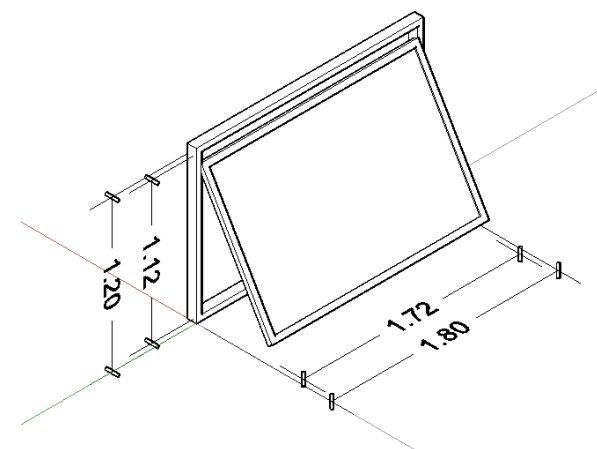
Fonte: Autor

### 3.3.3 Janela maxim-ar

A janela maxim-ar é um modelo que vêm sendo bastante utilizado nas edificações contemporâneas, especialmente como janelas altas em banheiros e áreas de serviço. Além disso, a janela maxim-ar possui outro uso bem característico, atuando como uma forma de integrar esquadrias móveis à fachadas em pele de vidro. Isso se dá ao fato de que o mecanismo da esquadria maxim-ar funciona através do deslocamento da folha para fora do ambiente, chegando à ângulos próximos de  $90^\circ$ , ou seja, não se ocupa os espaços laterais, permitindo que as mesmas sejam montadas em sequência, gerando fachadas lisas em pele de vidro. De modo geral, a esquadria maxim-ar apresenta uma área efetiva de abertura de aproximadamente 30%.

Neste estudo utilizou-se uma janela maxim-ar com apenas uma folha em vidro e abertura de  $30^\circ$ , similar às utilizadas em fachadas de pele de vidro. Foram utilizadas as dimensões: espessura do caixilho de 7 cm, espessura da armação da folha de 3 cm, espessura da folha de 1,5 cm, altura da folha de 112 cm e comprimento da folha de 172 cm.

Figura 14: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela maxim-ar



Fonte: Autor

### 3.3.4 Janela pivotante

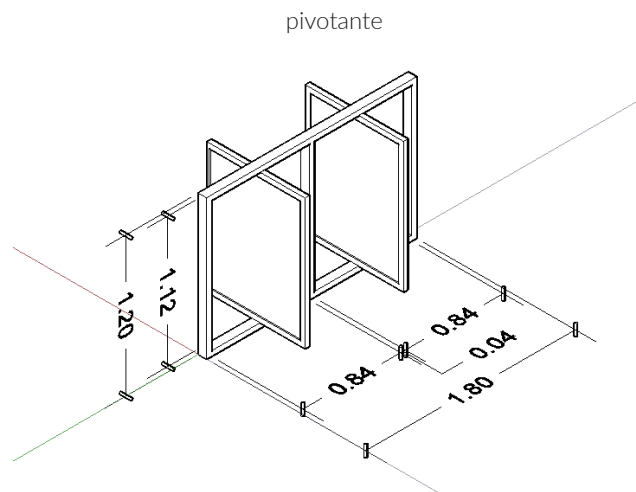
A janela pivotante possui um grau de usabilidade menor do que as demais aqui citadas, no entanto, seu funcionamento e estética a tornam uma das principais escolhas em projetos com preocupação bioclimática. A esquadria pivotante tem seu movimento a partir da rotação da folha por um eixo central, localizado na base e no topo da mesma. Sendo assim, o deslocamento giratório faz com que parte da folha adentre o ambiente, enquanto a outra parte se situe para fora da edificação, gerando um vão livre obstruído apenas pela espessura da folha em si, obtendo-se uma área efetiva de abertura de aproximadamente 98%. As esquadrias pivotantes são comumente utiliza-

### 3. MÉTODO

das em conjunto com outros tipos de esquadrias, servindo como uma dentre outras opções de combinação.

Neste estudo, optou-se por uma esquadria pivotante com duas folhas independentes, ou seja, cada folha poderia ser aberta sem afetar a outra. Para as simulações, utilizou-se as duas folhas abertas e as seguintes dimensões: espessura do caixilho de 7 cm, espessura da armação da folha de 3 cm, espessura da folha de 1,5 cm, altura da folha de 112 cm e comprimento da folha de 84 cm.

Figura 15: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela



Fonte: Autor

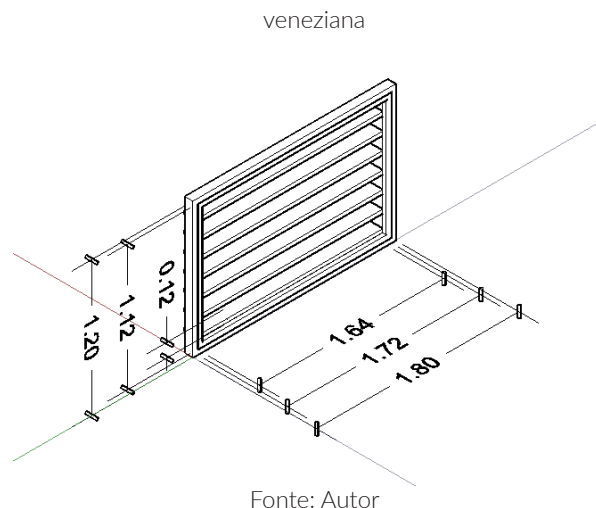
#### 3.3.5 Janela veneziana

A janela veneziana é um caso particular onde ao invés de se mover a folha da janela para gerar uma abertura, move-se as palhetas da veneziana em um sentido rotatório no eixo horizontal, gerando a abertura dentro da própria folha da esquadria. Dito isto, a janela veneziana é comumente utilizada em combinação com outros modelos de esquadria como as janelas de correr, abrir ou pivotante. Por ocupar uma grande porção da folha da esquadria, e também obstruir a mesma apenas com a espessura das palhetas, a janela veneziana apresenta uma área efetiva de abertura de aproximadamente 95%. Além das possibilidades de ventilação, ela possui um grande apelo estético, voltado em geral para uma arquitetura mais rústica quando feita em madeira, podendo ser utilizada também em alumínio para uma estética mais popular contemporaneamente.

Para este estudo, as dimensões das paletas foram levemente aumentadas devido à falta de capacidade computacional para trabalhar com elementos tão pequenos em relação ao contexto do edifício. No entanto, buscou-se manter a mesma proporção de área livre em relação à uma veneziana típica, utilizando-se as seguintes dimensões: espessura do caixilho de 7 cm, espessura da armação da folha de 3 cm, espessura da folha de 3 cm, altura da folha de 112 cm e comprimento da folha de 172 cm, espessura das palhetas de 3 cm, largura das palhetas de 12 cm e comprimento de 164 cm, afasta-

mento das palhetas de 12 cm.

Figura 16: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na janela

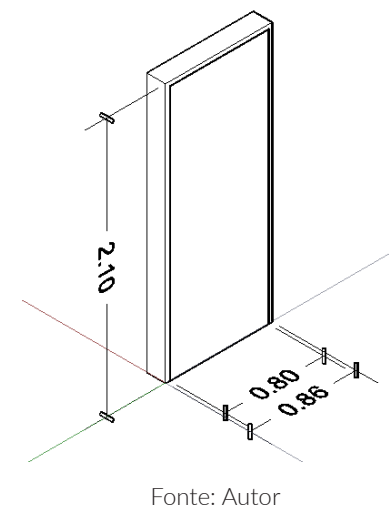


### 3.3.6 Porta simples

A porta simples é a mais tradicional na construção. É utilizada nos mais diversos ambientes e cumpre a função de permitir ou não o acesso a certo local, gerando sensações de permissibilidade ou privacidade, dependendo se a porta está aberta ou fechada. No entanto, para a ventilação cruzada, esta barreira gerada pela porta fechada é extremamente prejudicial, criando uma saída com pressão quase nula, com exceção das pequenas frestas abaixo da porta. Em geral são feitas de madeira, alumínio ou PVC e possuem um formato retangular simples.

Para este estudo, utilizou-se uma porta simples em madeira, completamente fechada e ignorou-se as possíveis frestas devido à falta de capacidade computacional e a complexidade de simular as mesmas. Sendo assim, usou-se as dimensões: espessura da porta de 3 cm, altura da porta de 210 cm, largura da porta de 80 cm.

Figura 17: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta simples



### 3.3.7 Porta com bandeira acima

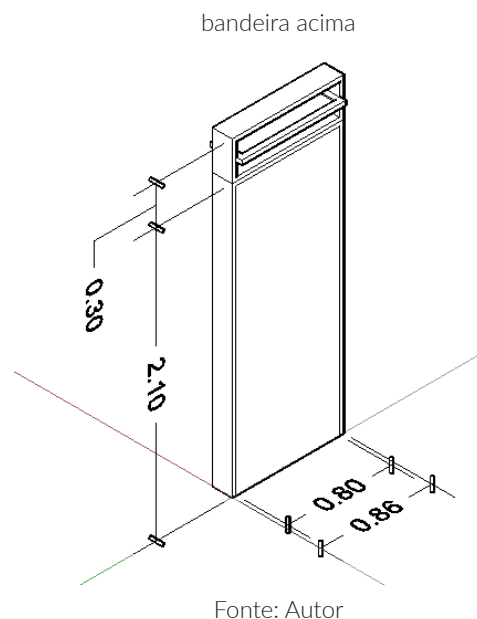
A bandeira acima é, na verdade, um adendo à porta simples. Fica localizada, como sugere o nome, acima da porta e pode possuir diversos tipos de mecanismos para permitir a permeabilidade do vento pela mesma. Estes podem ser considerados pequenas janelas, visto que utilizam os mesmos princípios das estratégias de ventilação por

### 3. MÉTODO

janela, como por exemplo, folhas de correr, pivotantes ou venezianas. As bandeiras acima da porta já foram mais comumente utilizadas em casas e sobrados antigamente, para permitir a circulação de vento sem prejudicar a privacidade do ambiente, no entanto, buscando projetos com custos mais reduzidos, a maioria dos edifícios verticalizados optam por não utilizar estas esquadrias, causando um prejuízo à ventilação cruzada do apartamento.

Neste estudo, optou-se por utilizar uma bandeira no estilo pivotante, com apenas uma folha, logo acima da porta simples do estudo anterior, com as dimensões: altura da bandeira de 30 cm, comprimento da bandeira de 86 cm, espessura da folha de 3 cm.

Figura 18: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta com



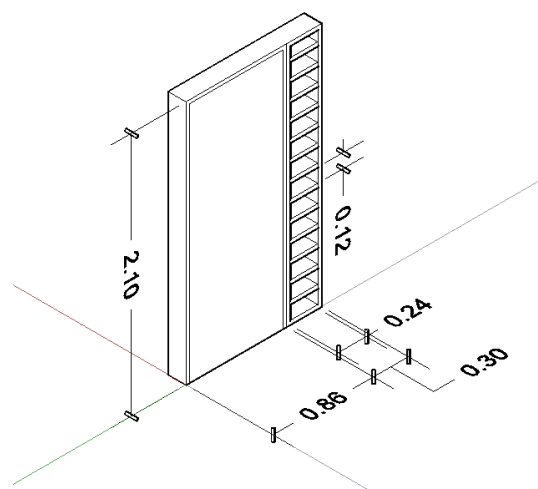
#### 3.3.8 Porta com bandeira lateral

Similar ao tópico anterior, a bandeira lateral é um acréscimo à porta simples, no entanto, esta aparece lateralmente à porta. Este modelo de esquadria é ainda mais difícil de ser encontrado devido à sua necessidade de um espaço horizontal maior do que simplesmente o vão de passagem. Isso dificulta a sua utilização em projetos mais compactos, que são a grande tendência da arquitetura contemporânea. No entanto, este modelo vê um grande uso em portas de fachada e acessos principais, visto que ele possui não somente o caráter da ventilação, mas também possui um apelo estético e de imponência, aumentando o tamanho da esquadria de entrada e dando destaque ao acesso da edificação. Similar à bandeira acima, existem diversos tipos de mecanismos que podem ser utilizados neste modelo de esquadria.

Para este estudo, utilizou-se uma bandeira lateral com veneziana, permitindo que se tenha a permeabilidade do vento, assim como a privacidade do ambiente interno, podendo ser uma alternativa para portas de entrada de apartamentos e flats. As dimensões utilizadas foram: altura da bandeira de 210 cm, comprimento da bandeira de 30 cm, espessura das palhetas de 3 cm, largura das palhetas de 15 cm, comprimento das palhetas de 24 cm, afastamento das palhetas de 12 cm.



Figura 19: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta com bandeira lateral



Fonte: Autor

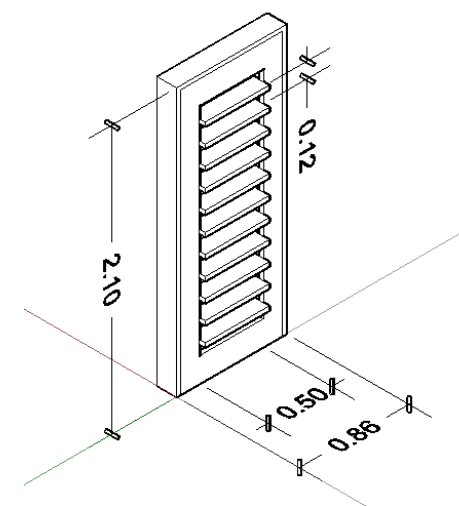
### 3.3.9 Porta veneziana

A porta veneziana é uma combinação de uma porta simples com a adição de um mecanismo de veneziana na sua área interna. Ela é um modelo de esquadria muito interessante pois permite ao usuário escolher se ele quer utilizar aquela porta de modo totalmente vedado ou permitindo a passagem de vento. As venezianas das portas podem chegar até a angulação máxima de 90°, no entanto, é comum que as mesmas tenham uma inclinação mínima para evitar a exposição do ambiente interno, sem perder a capacidade de gerar ventilação cruzada, tornando-se uma excelente escolha para portas

de entrada de apartamentos e quartos.

Assim como no estudo das janelas venezianas, as dimensões das paletas foram levemente aumentadas devido à falta de capacidade computacional para trabalhar com elementos tão pequenos em relação ao contexto do edifício. Porém, buscou-se manter a mesma proporção de área livre em relação a uma veneziana típica, utilizando-se as seguintes dimensões: espessura da folha de 3 cm, altura da folha de 210 cm e comprimento da folha de 80 cm, espessura das palhetas de 3 cm, largura das palhetas de 12 cm, comprimento das palhetas de 50cm, afastamento das palhetas de 12 cm.

Figura 20: Perspectiva isométrica com as principais dimensões utilizadas na porta com veneziana



Fonte: Autor

3. MÉTODO

3.4 Cenários estudados

A partir dos modelos escolhidos, foram gerados os cenários de estudo compondo os ambientes com duas esquadrias de entradas e uma de saída. As esquadrias de entrada foram localizadas diretamente na fachada de incidência do vento e são representadas pelas janelas, enquanto as esquadrias de saída estão localizadas na fachada posterior e são representadas pelas portas.

Foram elaborados cinco modelos distintos de janelas e quatro de portas, totalizando um total de vinte simulações a partir da combinação e criação dos cenários, como mostrados na tabela abaixo.

Tabela 2: Composição dos cenários estudados

Cenário	Janela					Porta			
	Correr	Abrir	Pivotante	Maxim-ar	Veneziana	Simples	Veneziana	Bandeira horizontal	Bandeira vertical
1	1					1			
2	1						1		
3	1							1	
4	1								1
5		1				1			
6		1					1		
7		1						1	
8		1							1
9			1			1			
10			1				1		
11			1					1	
12			1						1
13				1		1			
14				1			1		
15				1				1	
16				1					1
17					1	1			
18					1		1		
19					1			1	
20					1				1

Fonte: Autor

3.5 Rotina de simulação com o ANSYS CFX

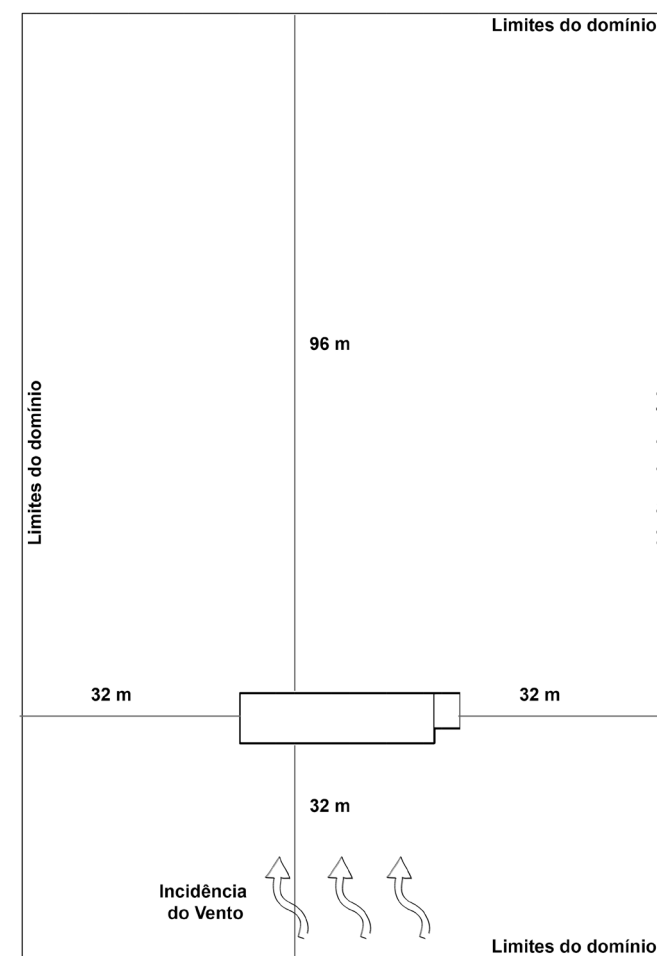
O ANSYS CFX é um software complexo, possuindo diversas funcionalidades e aplicações nas mais variadas áreas de estudo que se utilizam da fluidodinâmica computacional. Dito isto, a rotina de trabalho do software pode variar conforme a intenção do usuário e suas necessidades. O programa agrega diversos outros sub-programas que são utilizados para realizar as etapas necessárias para o preparo e execução das simulações. Isso permite também que o processo seja interrompido e continuado visto que cada sub-programa pode gerar arquivos independentes e que podem ser salvos em diversos pontos de progresso. O método de trabalho do CFX é inicialmente complexo por exigir domínio destes diversos sub-programas, no entanto, a rotina utilizada ajuda a criar um fluxo linear de trabalho que simplifica o processo, apesar de ainda exigir conhecimento específico do usuário. Para este estudo foi replicada uma rotina já utilizada por outros pesquisadores como Moraes (2013), Ribeiro (2017) e Fernandes e Moraes (2018), fazendo-se pequenas modificações para adaptar-se melhor ao projeto.

Inicialmente, deve-se gerar um modelo 3D do objeto de estudo. Para isso utilizou-se o AutoCAD 3D, principalmente as ferramentas de modelagem de sólidos 3D como o extrude, presspull, subtract e union. Nesta etapa foi modelado inicialmente o edifício com todos os pavimentos sólidos, com exceção do quinto, onde posteriormente

seriam alocadas as combinações de esquadrias nos ambientes. Este tipo de simplificação já foi adotados por outros estudos de ventilação no ambiente interno (LEITE, 2008). Os outros pavimentos foram mantidos sólidos devido à alta complexidade de simulação de um prédio completamente vazado, visto que a capacidade computacional disponível não seria suficiente para um estudo desta magnitude. Após esta etapa, fez-se as aberturas e iniciou-se a modelagem das esquadrias, utilizando o mesmo programa e ferramentas. Elas foram modeladas individualmente e depois agrupadas no arquivo base do edifício, para então se exportar o conjunto no formato .SAT, reconhecido pelo ANSYS CFX.

Feito isto, o arquivo foi importado para o primeiro subprograma do ANSYS CFX, o ICEM ANSYS. Nele definiu-se o domínio, ou seja, o volume de simulação onde o fluido irá se deslocar e interagir com o objeto de estudo. Este domínio é definido através de pontos e arestas que definem o modelo geométrico a ser utilizado. No caso deste estudo, adotou-se recomendações trazidas por Patel e Ramani (2015) onde o domínio foi definido como: espaçamentos laterais e frontal de uma vez o comprimento da fachada de incidência de vento do edifício (32m), afastamento posterior de três vezes o comprimento da fachada de incidência de vento do edifício (96m), e altura de uma vez e meia a altura do edifício (45m). Após a criação dos pontos e ligação dos mesmos através de linhas, formando o domínio, delimitam-se as faces do mesmo (Figura 19).

Figura 21: Vista de topo demonstrando as dimensões do domínio em relação ao modelo da edificação

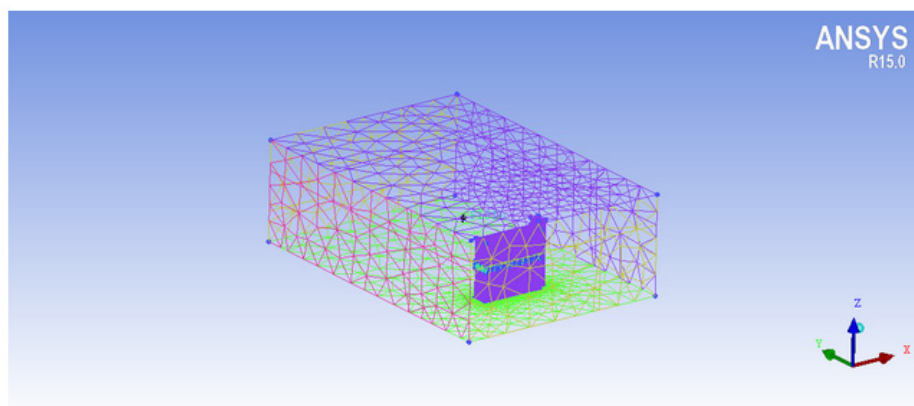


Fonte: Autor

### 3. MÉTODO

Essa etapa permite que a partir destas faces sejam criadas partes que posteriormente serão utilizadas para indicar os locais de entrada e saída de vento, além da limitação do espaço, condições de pressão e outros aspectos. No caso deste trabalho, optou-se por um domínio retangular e utilizou-se o prédio com sua fachada principal na incidência de vento predominante. Dentro deste domínio ainda deve-se criar um body, ponto material que define onde está o fluido, alocado no centro do domínio, externo a qualquer elemento modelado.

Figura 22: Domínio com malha tetraédrica não-estruturada modelada no ANSYS ICEM



Fonte: Autor

Partiu-se então para a criação da malha, que seguiram padrões utilizados em outros estudos de simulação de vento por CFD, como por Leite (2005). Utilizou-se então uma malha não-estruturada tetraédrica, ou seja, uma malha em que a distância dos nós onde ocorrerão os cálculos varia conforme a complexidade do objeto próximo. Isso se

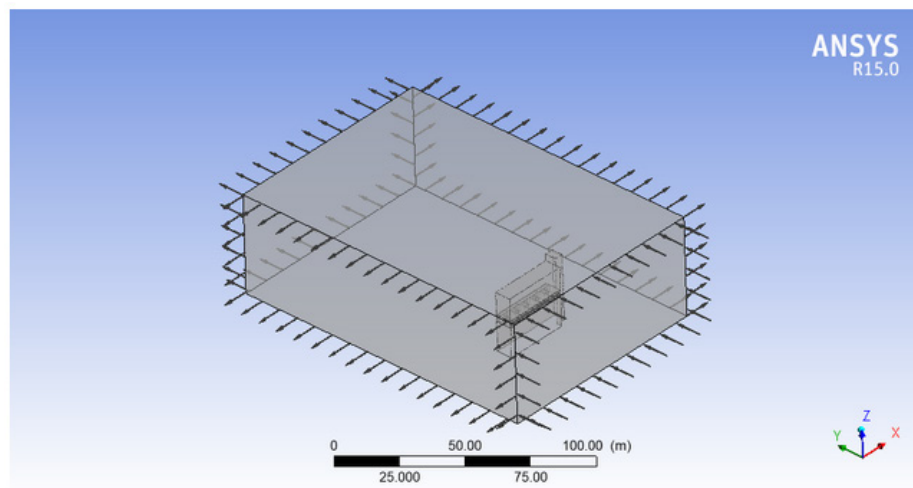
deve ao fato de termos objetos muito detalhados como as esquadrias e venezianas e outros que não necessariamente precisam de tanto refino, como áreas próximas ao edifício e os limites do domínio. Definiu-se então o tamanho destes elementos, a distância entre os nós onde serão realizados os cálculos na simulação. Em áreas de pouco interesse do estudo, nos limites do domínio ou na área exterior à edificação, foi utilizado um valor de 20 metros de espaçamento. Já nas áreas complexas, paredes externas, internas e principalmente próximo às esquadrias, utilizou-se um valor de 15 centímetros para a maioria das simulações, com exceção das simulações com veneziana, onde foi requerido uma malha ainda mais refinada, com espaçamento de apenas 10 centímetros para a execução do estudo, o que demanda uma alta capacidade computacional.

Gerada a malha, passamos para o segundo subprograma, o ANSYS CFX-Pre, onde foram definidos os parâmetros de entrada e dados numéricos para a realização da simulação. Definiu-se a parte inlet como entrada de vento, adotando a equação logarítmica de vento para malha urbana já apresentada no capítulo de referencial teórico no começo deste trabalho, além de adotar o valor de 3,6 m/s para a velocidade inicial do vento. As outras faces laterais do domínio foram definidas como partes de saída com pressão zero, e o “Topo” e a “Base” foram definidas como parede, limitando o escape do fluido (Figura 21). Já os elementos modelados, edifício e esquadrias, foram todos definidos como paredes sólidas, permitindo sua interação com

o fluido.

Figura 23: Modelo demonstrando as faces do domínio delimitadas como entrada e saída de

vento no ANSYS CFX-Pre



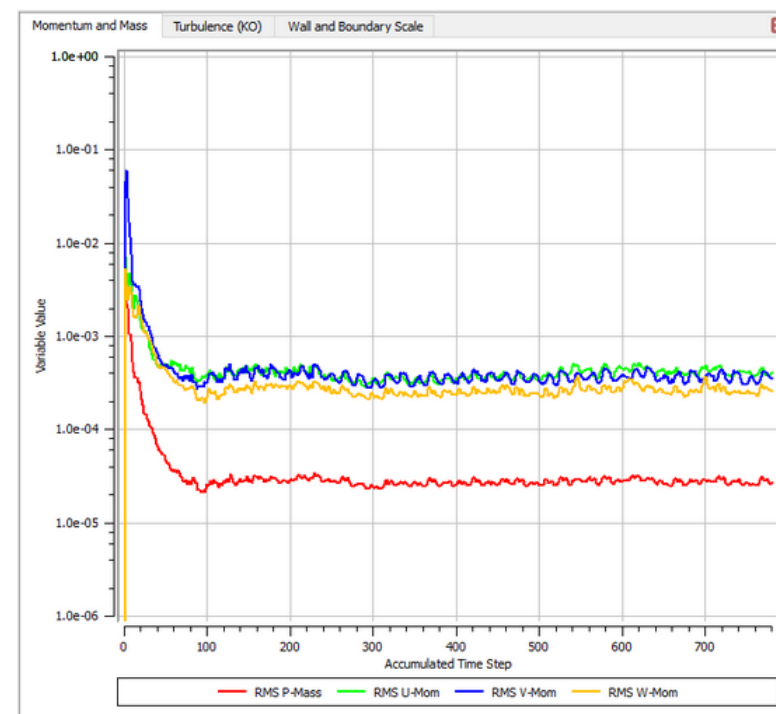
Fonte: Autor

Aspectos mais técnicos também incluem o modelo de turbulência utilizado, o SST (Shear Stress Transport) como utilizado por Moraes (2013), um modelo que agrega cálculos relevantes não só à parte externa do edifício mas também internamente ao mesmo, visto que o estudo sofre interferência destes dois ambientes. Determinou-se também a quantidade de iterações realizadas pela simulação, o número de vezes que as equações serão solucionadas em todo o domínio para gerar dados estáveis. Optou-se por um mínimo de 300 e um máximo de 10.000 iterações, sendo a simulação terminada ao chegar em um número residual de  $10^{-4}$  ou o gráfico entrar em um estado de estabilidade ou convergência, significando que a análise

atingiu uma solução definida. Estes gráficos, como mostra a Figura X, podem ser acompanhados no ANSYS CFX-Solver, subprograma que executa a simulação e gera resultados sobre a mesma em tempo real.

Figura 24: Gráfico demonstrando a variação das partículas pelo tempo durante a execução

da simulação no CFX-Solver



Fonte: Autor

Após a execução da simulação, os resultados são importados para o ANSYS CFX-Post, onde os mesmos poderão ser analisados de diversas maneiras, qualitativamente e quantitativamente, pelo usuário.

## 4. RESULTADOS

Análises, discussões e comparações

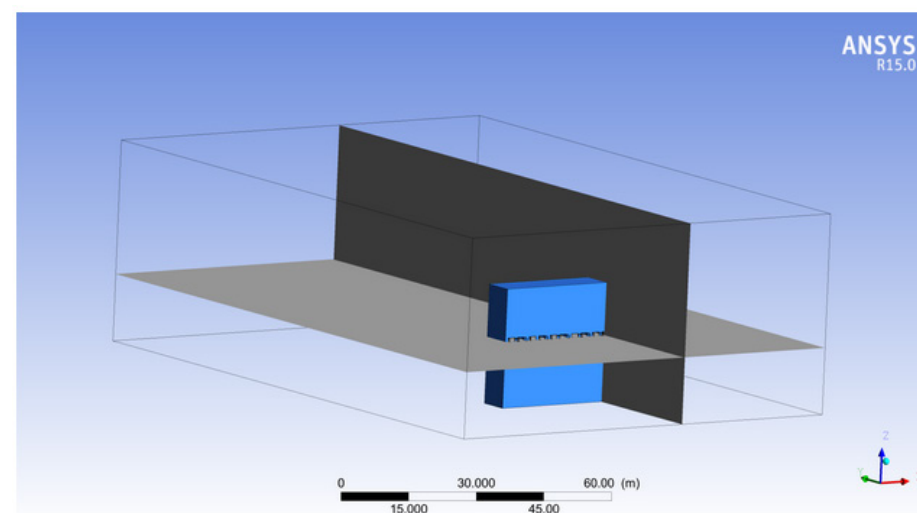
Buscando um melhor entendimento dos resultados, foram adotadas algumas diretrizes para a obtenção dos dados. Todas estas etapas foram executadas no subprograma ANSYS CFX-Post, onde foi possível gerar análises qualitativas e quantitativas das simulações executadas. Primeiramente, utilizou-se análise em plano horizontal no quarto andar, alocado a um metro e meio do piso, situando-o numa altura que remete à zona de respiração e ventilação de conforto. A partir deste plano foram obtidas imagens de contorno demonstrando a velocidade do vento em “planta baixa” e seu comportamento naquela altura demarcada (Fig. 23).

Com estes resultados parciais, notou-se que a disposição dos apartamentos de forma linear gerou resultados que poderiam ser simplificados ao adotar apenas alguns apartamentos para retirar os dados quantitativos. Para isso, foram escolhidos três apartamentos: o Flat 02, visto que por uma questão de simetria os resultados foram muito similares ao Flat 04; o Flat 03, por ser o apartamento central e o único com uma incidência completamente perpendicular do vento; e o Flat 05, por ter um grau de similaridade com o Flat 01 mas não sofrer tanta influência do efeito de canto da ventilação, devido ao fato de estar localizado juntamente ao bloco de circulação vertical (Fig. 9).

Escolhidos estes apartamentos para a coleta dos dados, foram gerados os planos verticais em cada um deles. Estes planos estão alinhados de forma que os cortes produzidos passem ao mesmo tempo

por uma das janelas e a porta do flat, demonstrando o percurso do vento no ambiente interno (Fig. 23). Já os dados quantitativos foram obtidos através do Plano Horizontal. Calculou-se também a velocidade livre incidente na altura do plano horizontal através da equação do gradiente de velocidade, resultando no valor de 3,13m/s.

Figura 25: Planos utilizados para obter análises qualitativas do modelo



Fonte: Autor

Os resultados estão agrupados neste capítulo de forma sistemática. Cada subtópico apresenta os gráficos, análise descritiva e imagens de cada um dos cenários utilizados, agrupados por tipo de janela e tipo de porta. Ao final do capítulo demonstra-se um comparativo realizado entre os diferentes cenários, buscando-se compreender a melhor situação para se utilizar os diferentes tipos de esquadria aqui analisados.

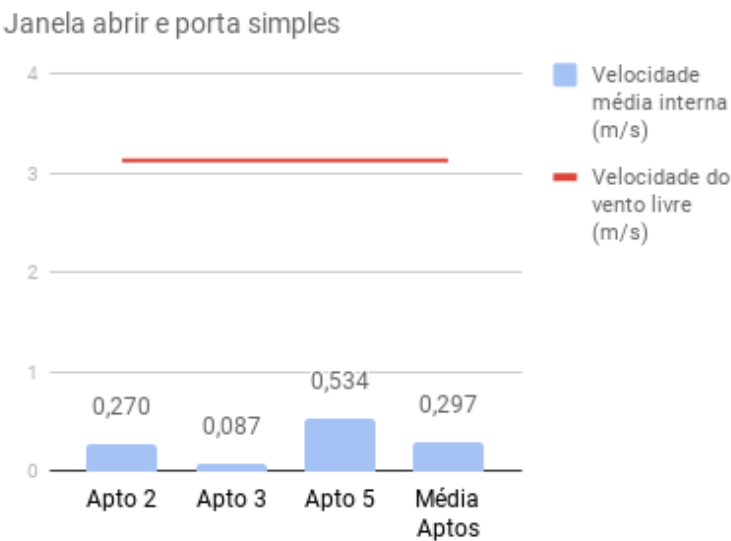
## 4. RESULTADOS

### 4.1 Janela de abrir e porta simples

Esta combinação envolve o uso de duas janelas e abrir e uma porta simples, fechada por apartamento. Podemos perceber que a velocidade média atingida nos apartamentos é bem baixa, chegando a uma média de 0,087 m/s no Flat 03. Isso se deve ao fato de que com a porta fechada não existe uma ventilação cruzada no ambiente, visto que o ar não tem por onde sair no sentido contrário das janelas. Sendo assim, mesmo com as grandes aberturas proporcionadas pelas janelas de abrir a pressão nas janelas se iguala e o vento não consegue adentrar o ambiente.

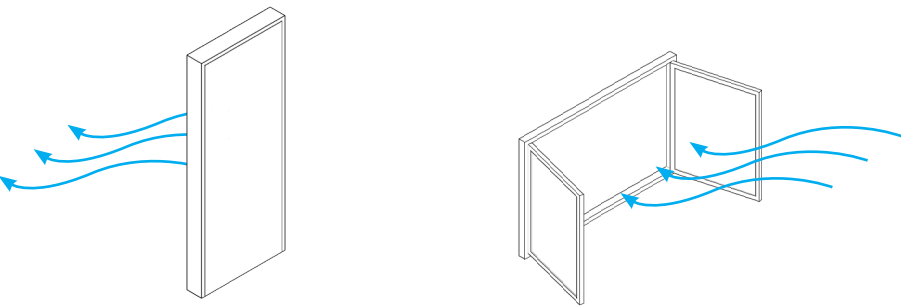
Percebe-se, no entanto, que nos Flats 02 e 05 a velocidade do vento é levemente maior do que no Flat 03. Isso se deve ao fato que no Flat 03 a incidência do vento é completamente perpendicular, enquanto nos outros apartamentos, o vento ganha uma incidência levemente angulada devido à posição mais lateral dos mesmos em relação à edificação, gerando uma diferença de pressão nas próprias janelas e permitindo que uma delas funcione como entrada e a outra como saída, gerando uma ventilação, ainda que mínima, no ambiente.

Figura 26: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

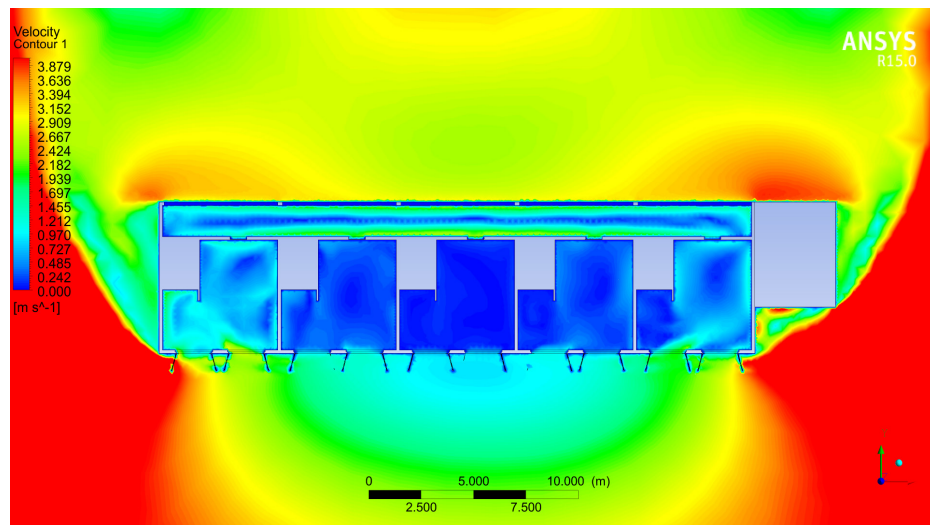
Figura 27: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

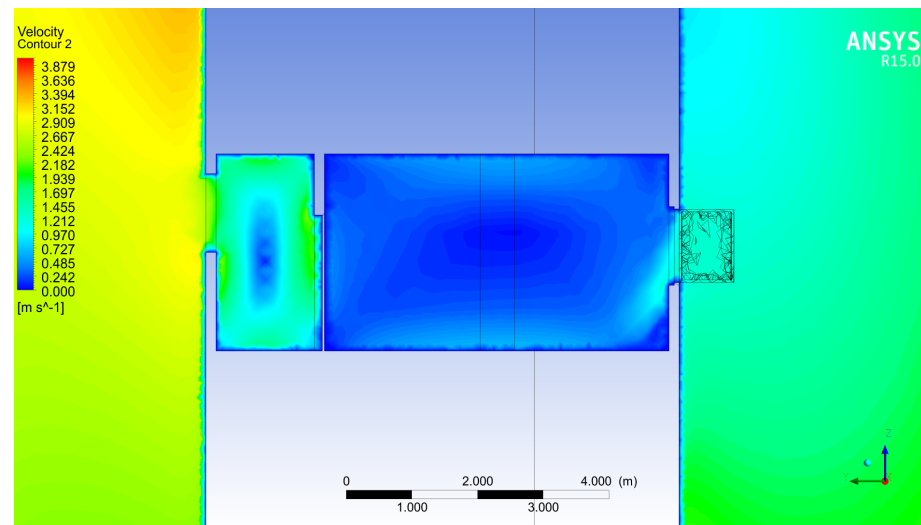


Figura 28: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



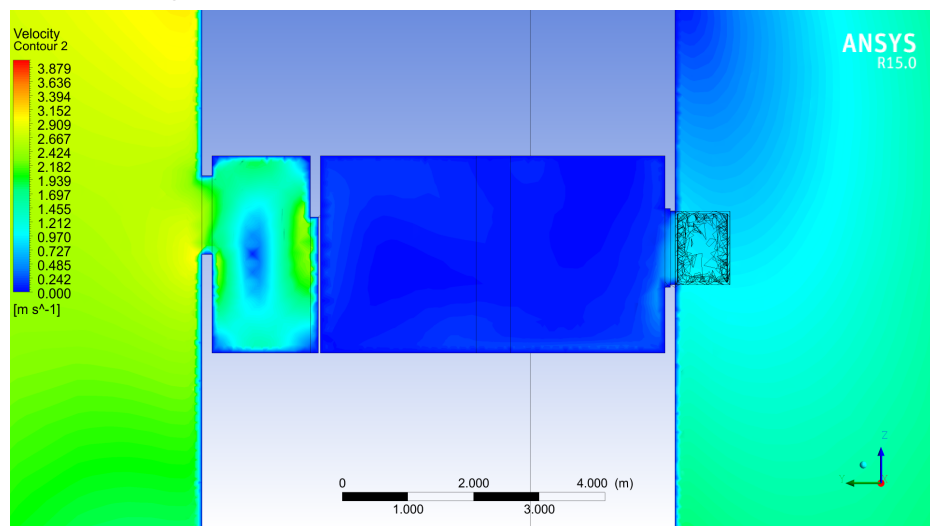
Fonte: Autor

Figura 29: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



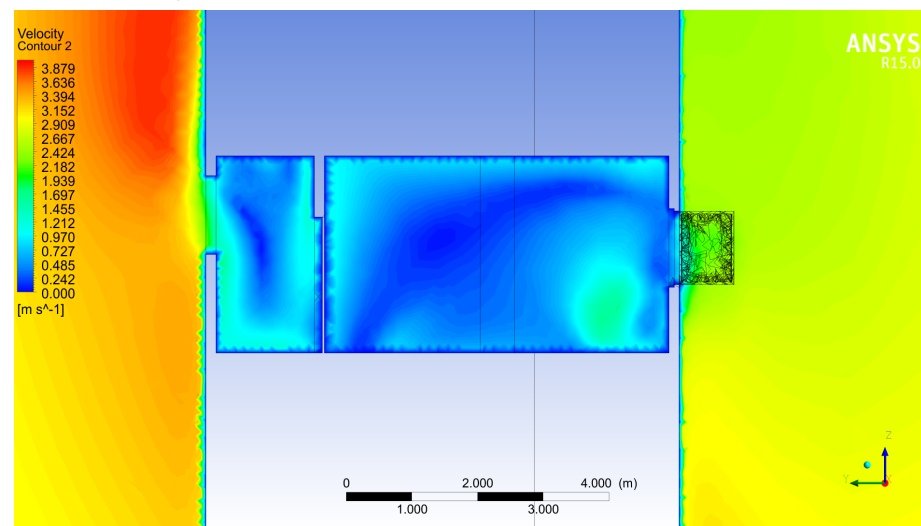
Fonte: Autor

Figura 30: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 31: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

### 4.2 Janela de abrir e porta veneziana

Este cenário envolve a combinação de duas janelas de abrir com uma porta veneziana. Pode-se rapidamente perceber que as velocidades atingidas neste cenário são mais elevadas, visto que a combinação de uma janela que proporciona grandes aberturas, como é o caso da janela de abrir, juntamente com uma porta que permite a passagem de vento através da mesma gera um bom fluxo de ar interno ao ambiente.

Percebe-se também que as velocidades médias atingidas em cada apartamento são bem próximas, o que indica que independentemente da angulação de incidência do vento na janela, ocorre uma ventilação cruzada favorável devido ao diferencial de pressão proporcionado pela porta veneziana.

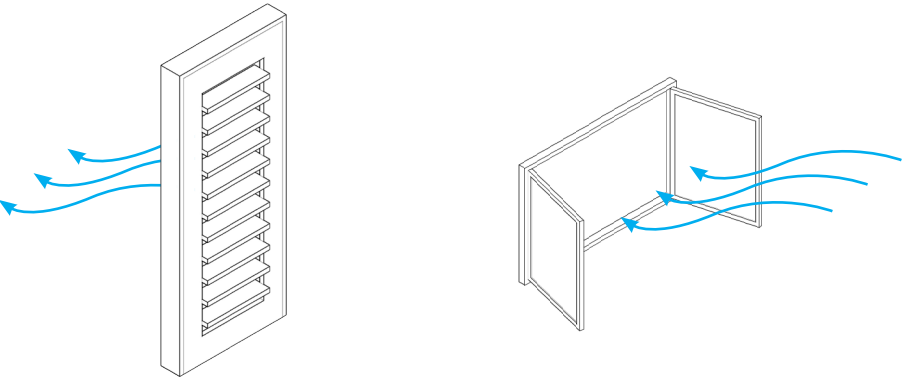
Nota-se também que a distribuição do vento interno aparece de maneira mais homogênea, no entanto, existem alguns pontos que criam zonas de turbulência ou estagnação. Podemos considerar que um dos fatores que causa este fato é a questão das folhas da janela estarem alocadas numa angulação de 100°, o que pode causar certo bloqueia em ventilação mais laterais em certos pontos do apartamento.

Figura 32: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



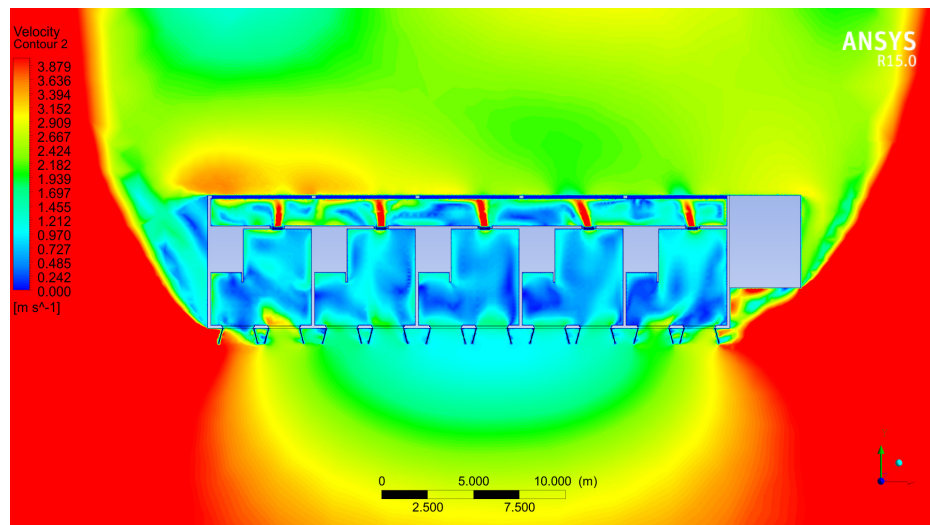
Fonte: Autor

Figura 33: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



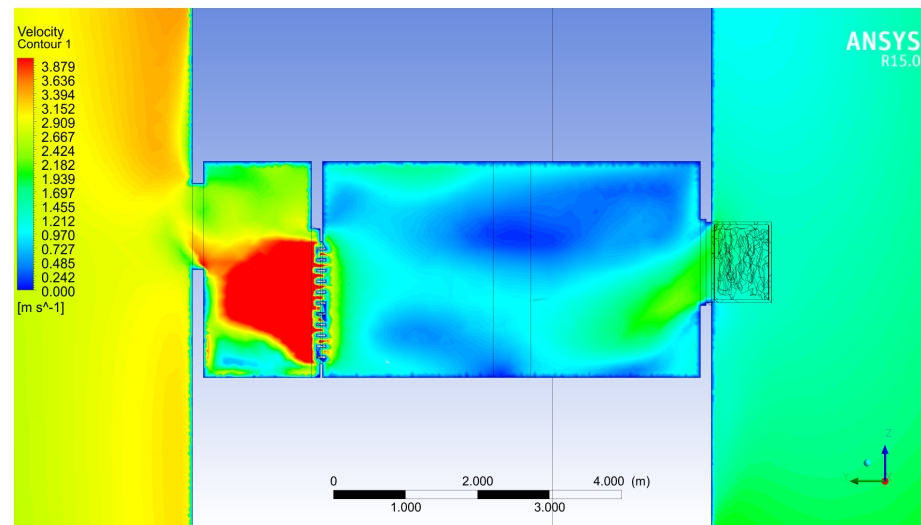
Fonte: Autor

Figura 34: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



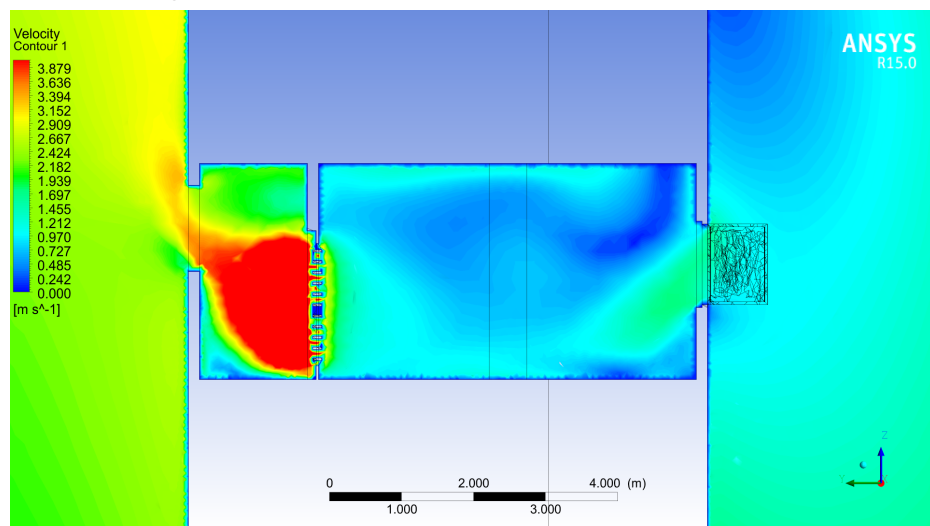
Fonte: Autor

Figura 35: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



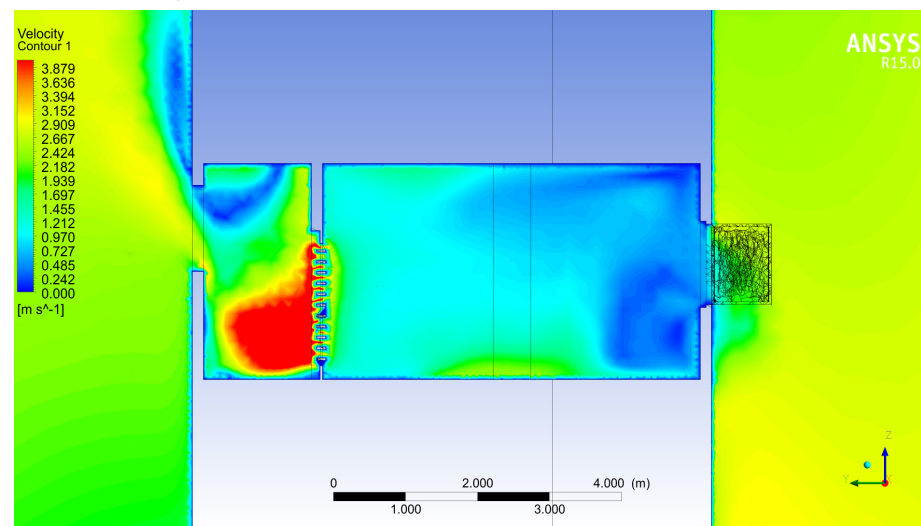
Fonte: Autor

Figura 36: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 37: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

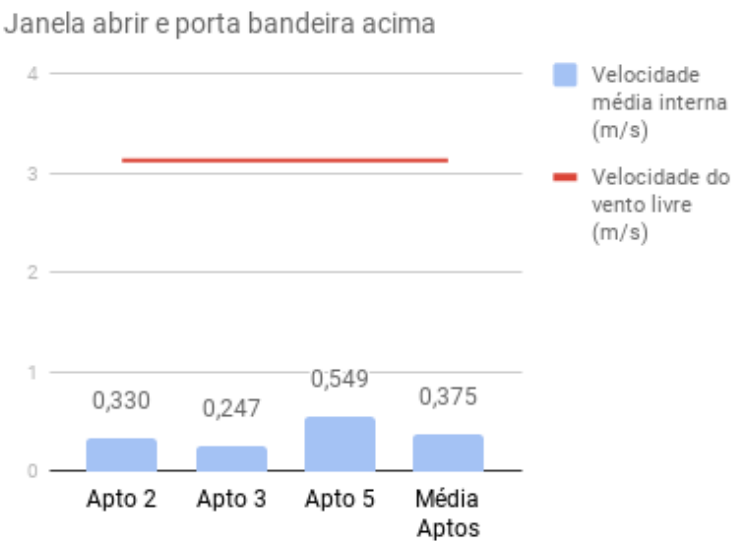
## 4. RESULTADOS

### 4.3 Janela de abrir e porta com bandeira acima

Este cenário envolve a combinação de duas janelas de abrir e uma porta com bandeira acima em cada apartamento. Nota-se que os valores de velocidade média do vento são baixos, apenas um pouco mais elevados que o cenário com a porta completamente fechada. Isso se deve ao fato de que mesmo gerando uma saída de ar, a bandeira acima da porta é subdimensionada, tornando-se ineficiente para gerar uma ventilação cruzada realmente eficaz para o ambiente. Percebe-se a recorrência do fato dos apartamentos laterais apresentarem um velocidade média de vento levemente maior, devido à incidência de vento angulada.

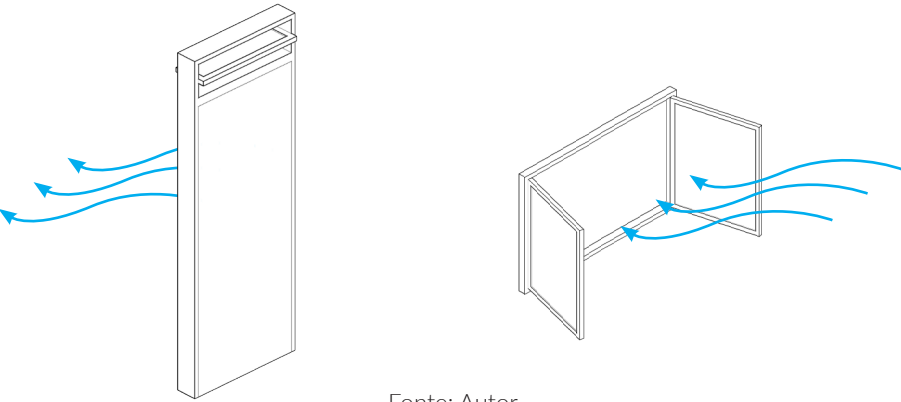
Outro fator interessante é a presença do efeito venturi na bandeira acima, Mesmo com uma velocidade de vento baixa no ambiente interno, o ar ganha grande velocidade ao passar pela bandeira devido ao afunilamento do fluido, gerando uma alta velocidade de saída, apesar de o volume de ar que escapa do apartamento pela bandeira ser baixo.

Figura 38: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



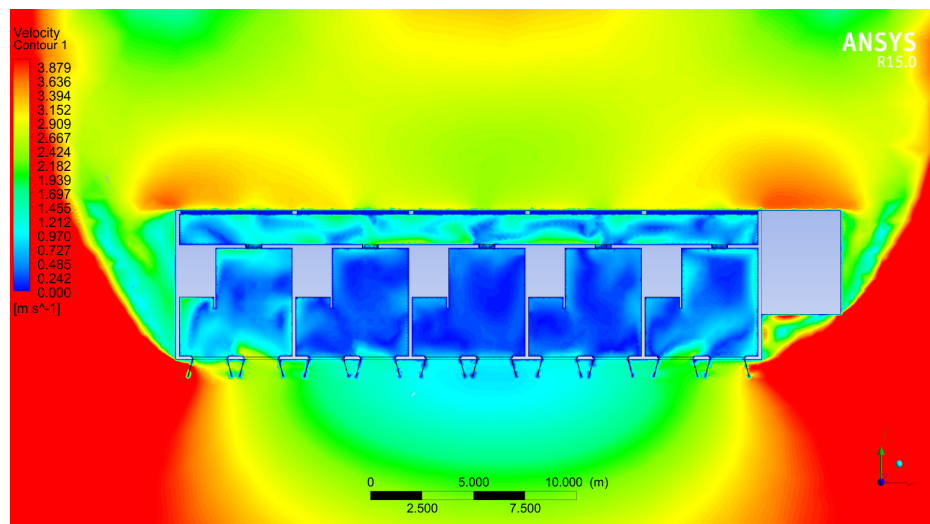
Fonte: Autor

Figura 39: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



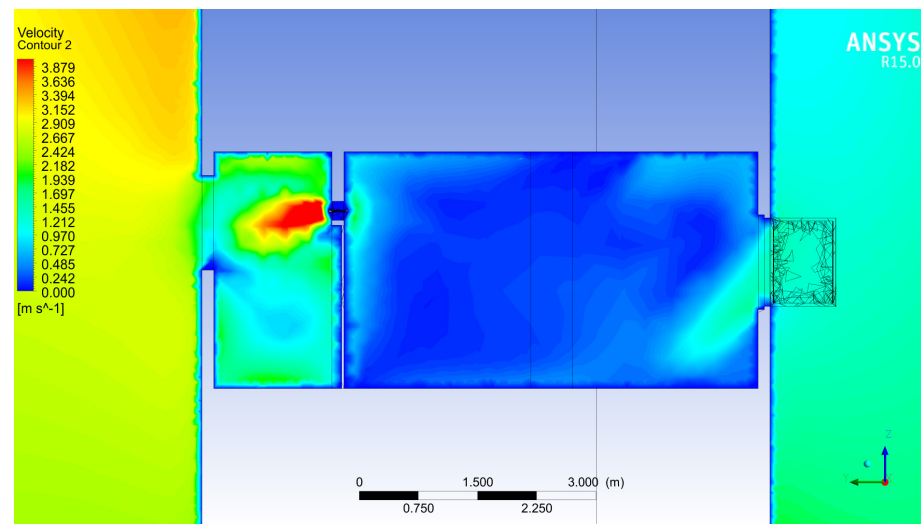
Fonte: Autor

Figura 40: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



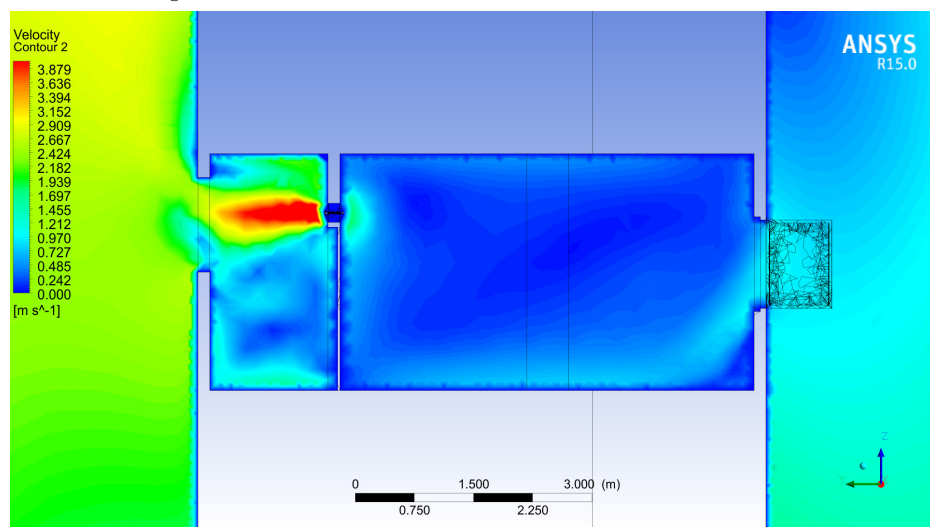
Fonte: Autor

Figura 41: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



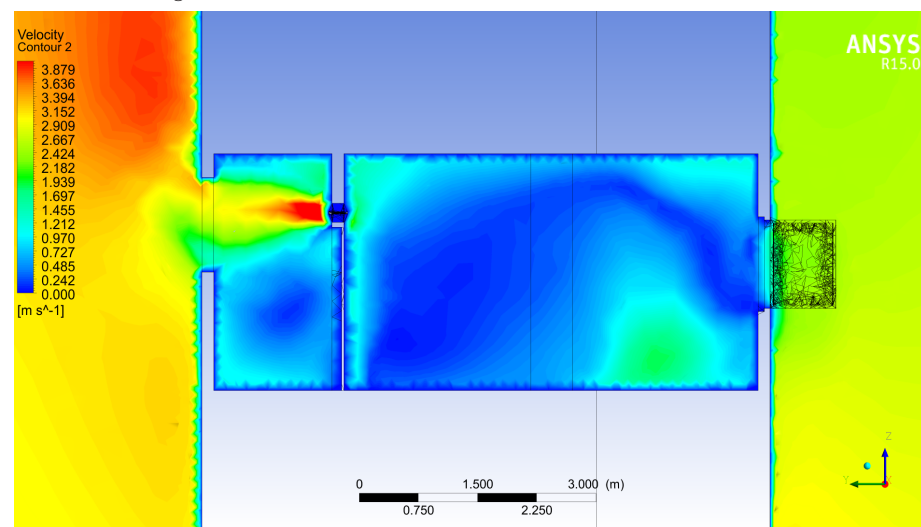
Fonte: Autor

Figura 42: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 43: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

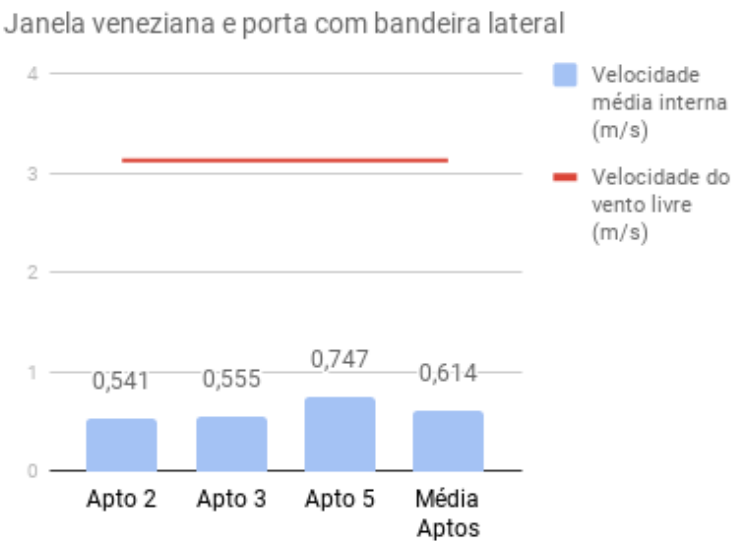
### 4.4 Janela de abrir e porta bandeira lateral

O cenário inclui duas janelas de abrir e uma porta com bandeira lateral em cada apartamento. Logo podemos perceber que a velocidade média do vento em cada apartamento não chega a ser tão alta quando o cenário com a porta veneziana, porém, é bem mais considerável do que os cenários com a porta simples e a porta com bandeira acima.

Nota-se que por seguir a altura da porta, a bandeira lateral gera uma área de escape de vento bem mais considerável do que a bandeira acima, permitindo um fluxo de ar bem maior. Percebe-se também que as velocidades do vento no ambiente interno são relativamente constantes, ou seja, a influência da angulação do vento não é tão perceptível neste cenário, apesar de a velocidade média do vento no Flat 05 ainda ser maior que as demais.

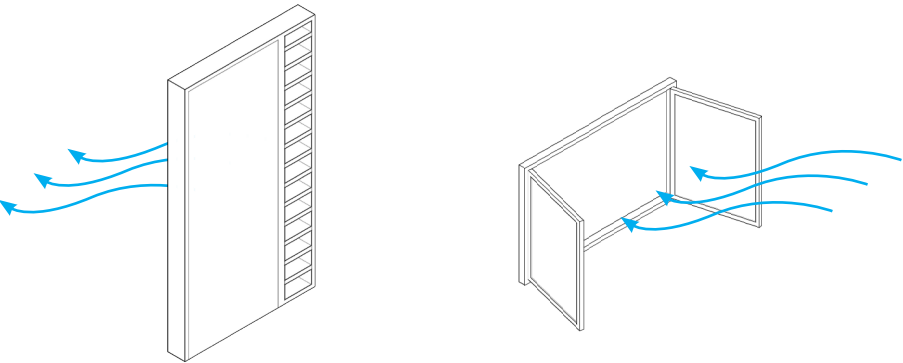
No entanto, pode-se perceber que distribuição de vento não é tão homogênea em todos os apartamentos, gerando algumas áreas de estagnação, principalmente nos Flats 03 e 04. Isso talvez se dê ao fato de que apesar da grande altura, a largura da bandeira não favoreça tanto este espalhamento do ar pelo ambiente.

Figura 44: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

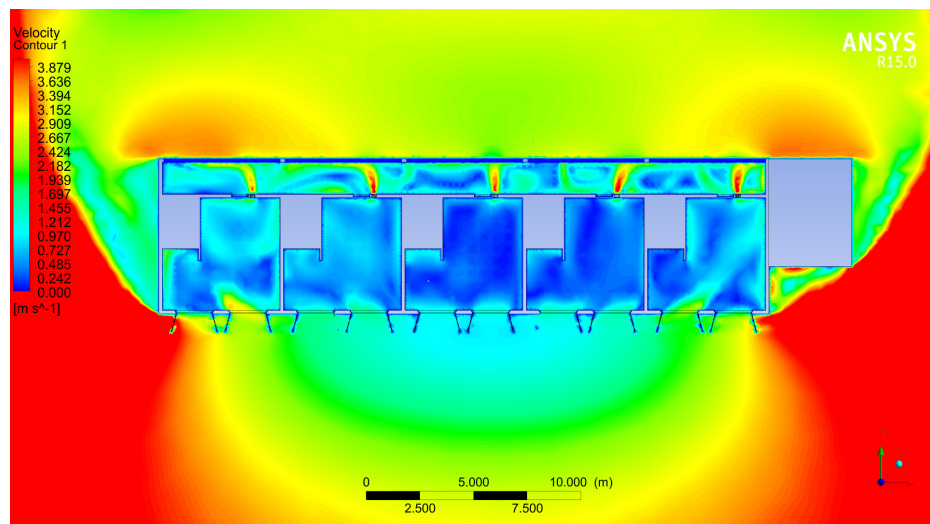
Figura 45: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

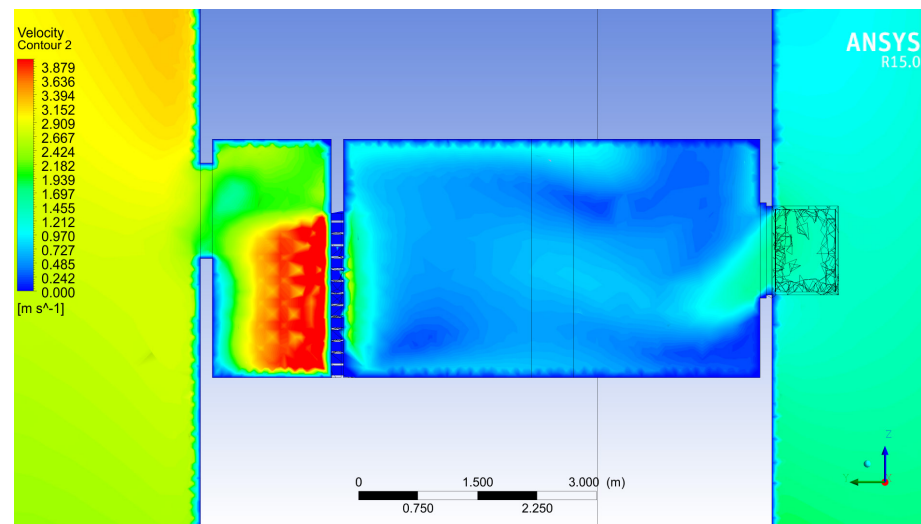


Figura 46: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



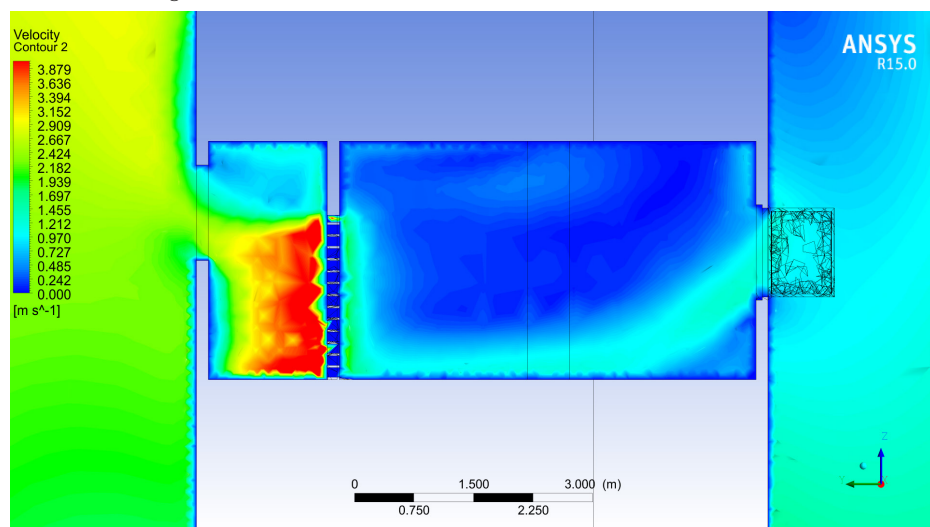
Fonte: Autor

Figura 47: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



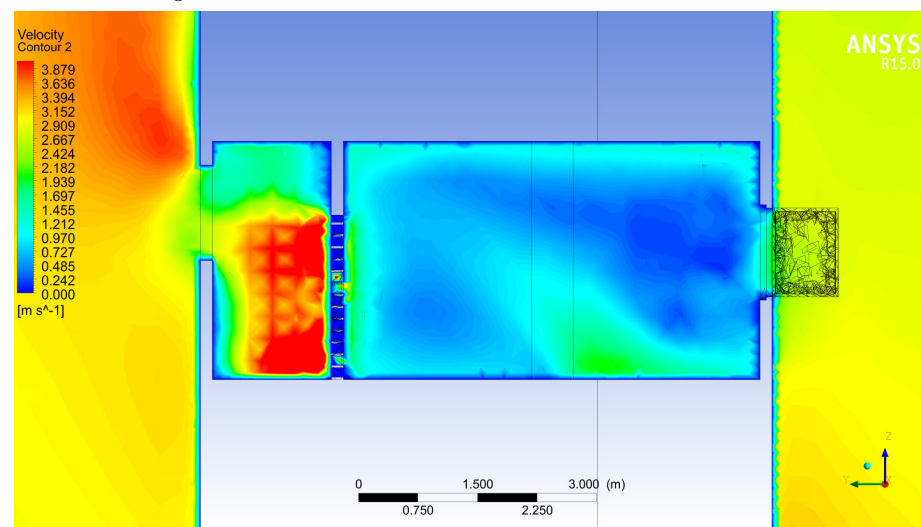
Fonte: Autor

Figura 48: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 49: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

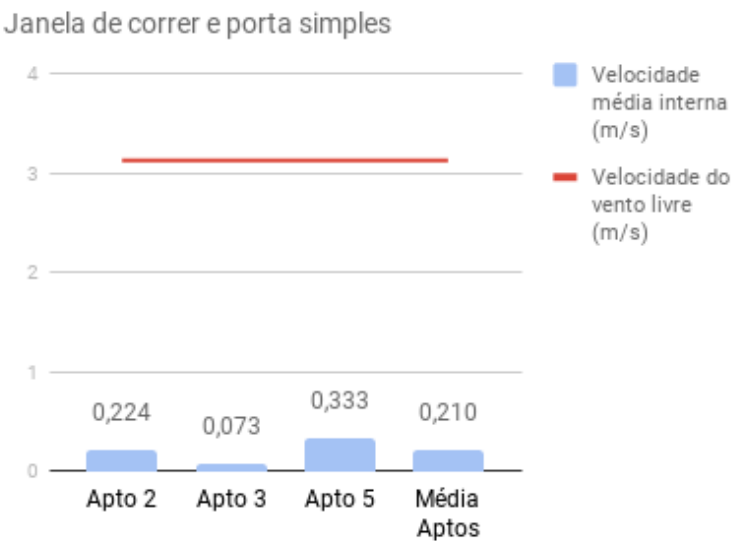
### 4.5 Janela de correr e porta simples

Este cenário é composto por duas janelas de correr e porta simples, fechada. Este é provavelmente o cenário mais comum de se encontrar em edificações construídas. Combina os dois modelos mais simples e mais utilizados de esquadrias.

Percebe-se que a velocidade média do vento no ambiente interno é muito baixa, chegando à uma quase estagnação completa no Flat 03. Deve-se ao fato da porta simples fechada não providenciar uma saída para o vento, impedindo a ventilação cruzada. Além disto, a janela de correr possui um agravante de permitir uma área livre de apenas 50% da área da esquadria, diminuindo ainda mais o volume de ar em movimento no apartamento.

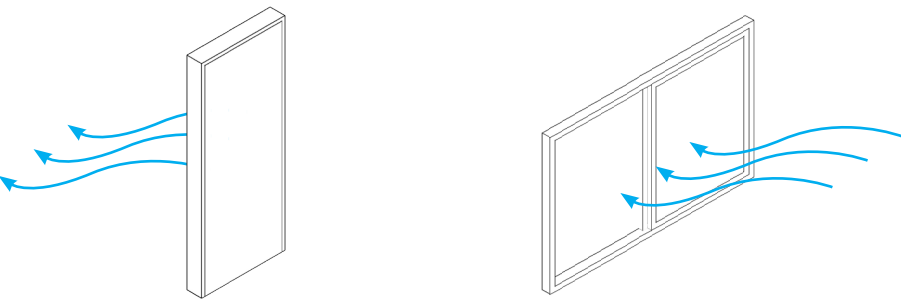
Nota-se que mesmo os Flats mais laterais não conseguem gerar velocidades significativas, mesmo com a incidência angulada do vento, visto que nem a área de abertura de entrada nem a área de abertura de saída são suficientes para uma ventilação confortável.

Figura 50: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

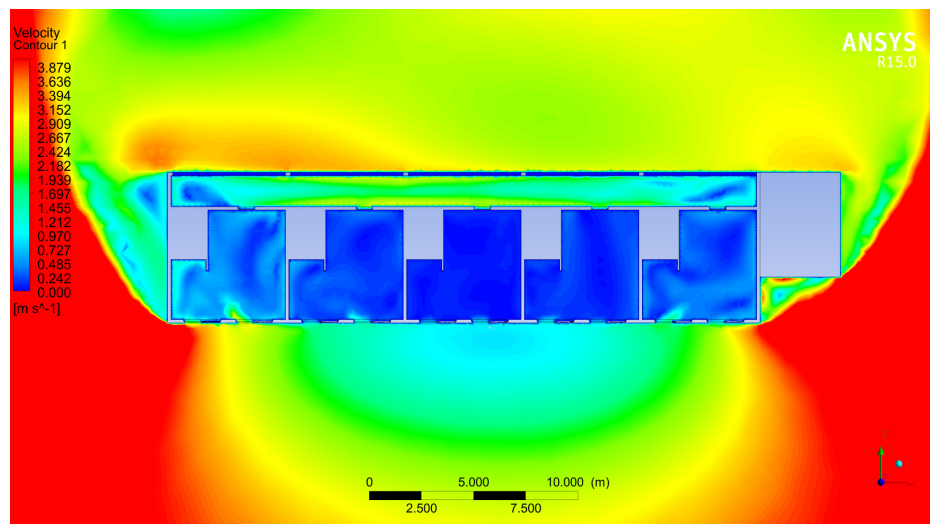
Figura 51: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

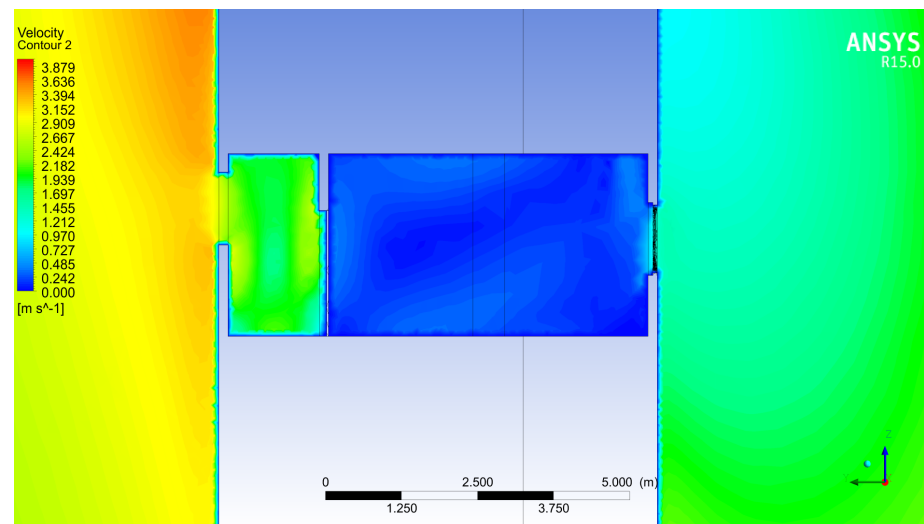


Figura 52: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



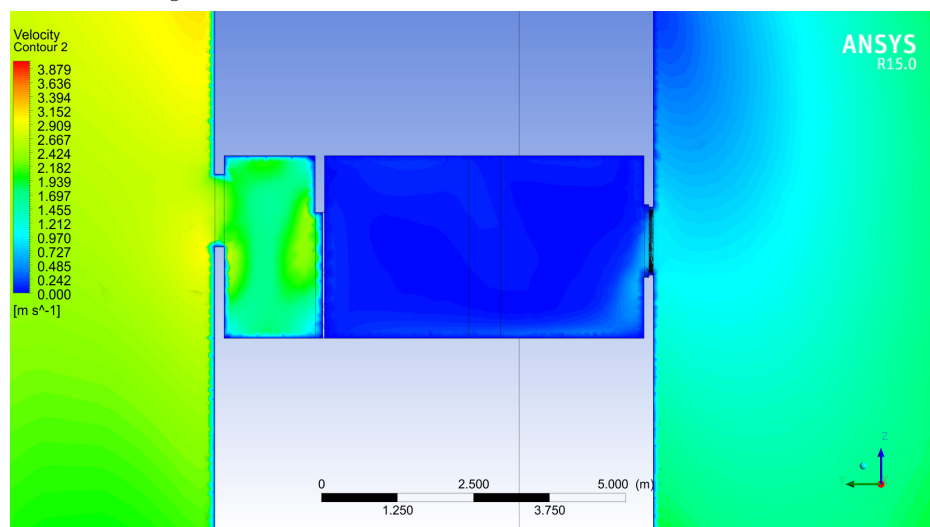
Fonte: Autor

Figura 53: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



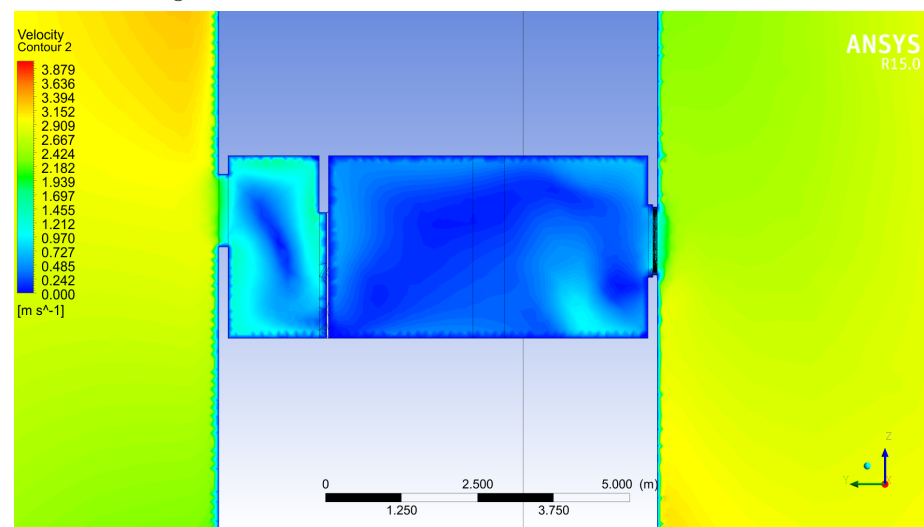
Fonte: Autor

Figura 54: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 55: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

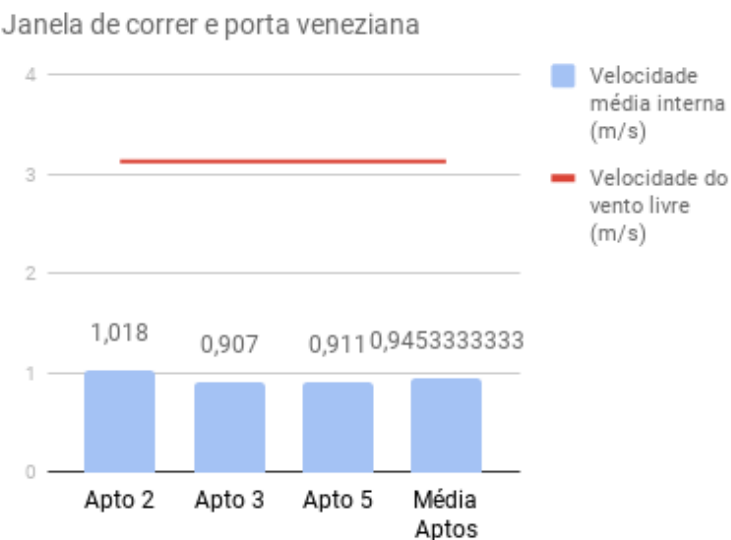
### 4.6 Janela de correr e porta veneziana

Este cenário inclui uma composição com duas janelas de correr e uma porta com veneziana. O gráfico demonstra que essa combinação fornece valores muito favoráveis de velocidade média da ventilação no ambiente interno, sendo uma das maiores médias obtidas neste estudo. Nota-se também um grande constância entre as velocidades obtidas nos diferentes apartamentos, demonstrando que a angulação de incidência não é tão impactante neste caso.

Diferentemente da maioria dos casos, a velocidade média do vento no Flat 02 é maior do que nos outros dois onde foram coletados os dados. Apesar dessa margem ser pequena, supõe-se que o lado para qual a janela foi aberta, neste caso, pode influenciar na velocidade média do vento e nos resultados obtidos.

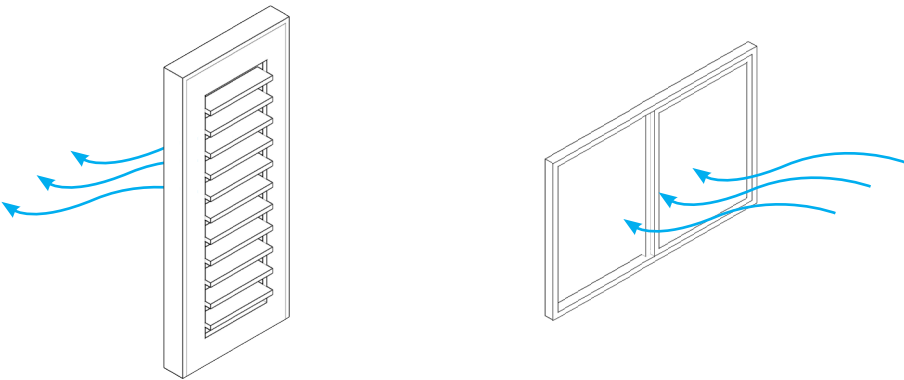
Nota-se também que a velocidade do vento é bem maior próximo às esquadrias de entrada, devido ao efeito venturi, visto que por se tratar de uma abertura livre de apenas 50% da área, a mesma acelera o vento nesta região próxima.

Figura 56: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



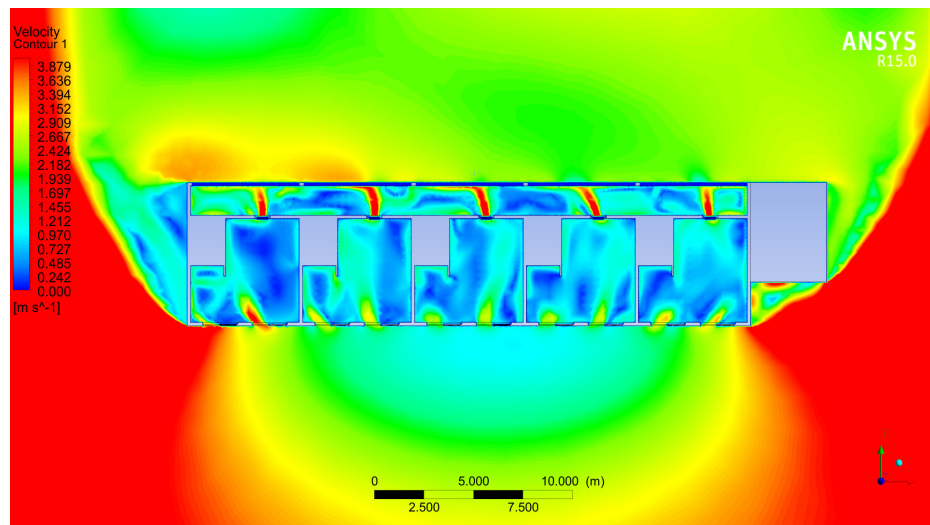
Fonte: Autor

Figura 57: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



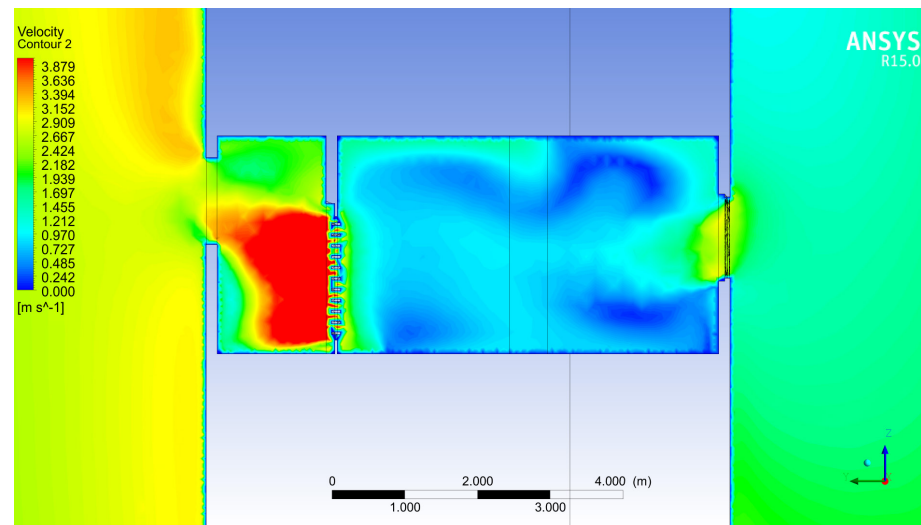
Fonte: Autor

Figura 58: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



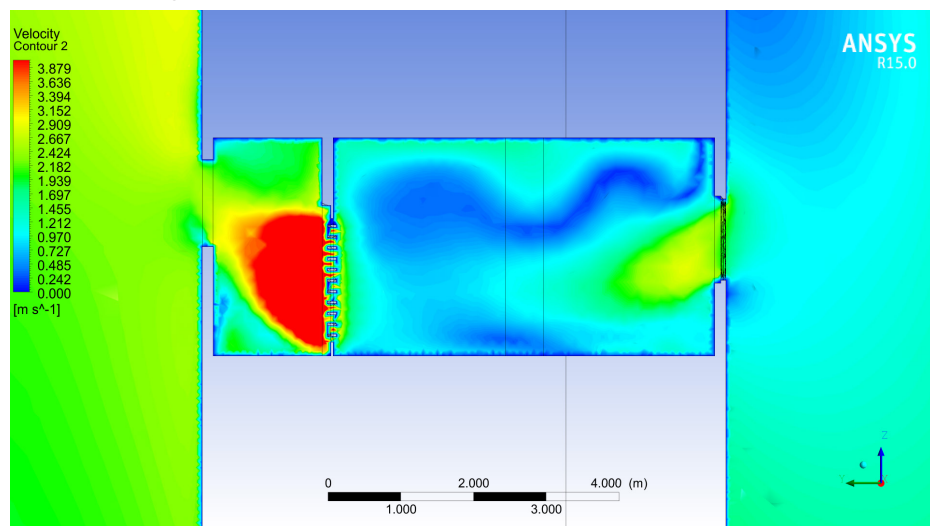
Fonte: Autor

Figura 59: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



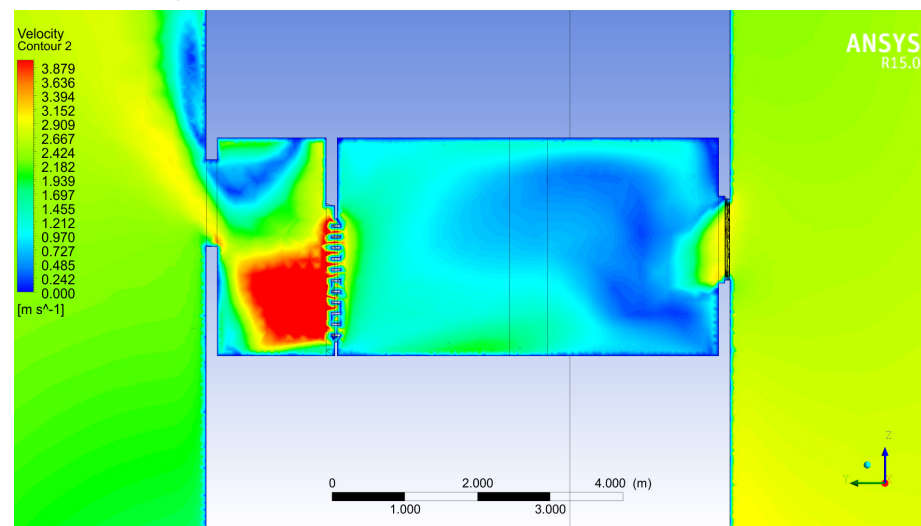
Fonte: Autor

Figura 60: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 61: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

4. RESULTADOS

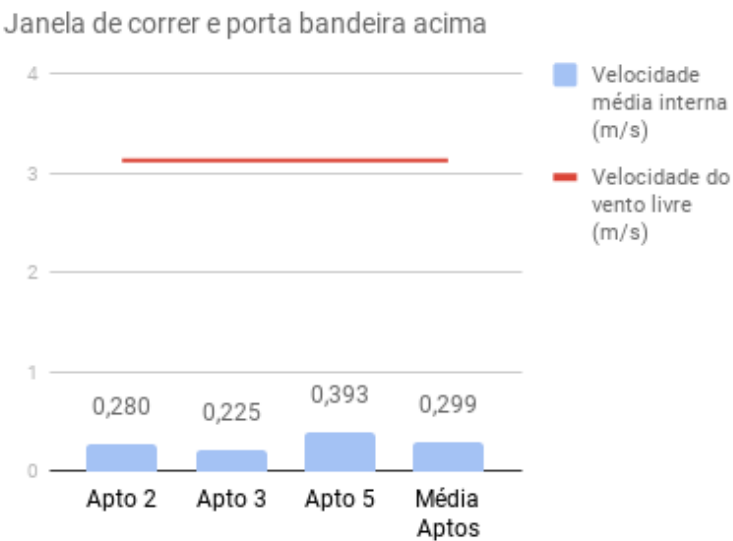
4.7 Janela de correr e porta com bandeira acima

Compondo este cenário estão duas janelas de correr e uma porta simples com bandeira acima, alocadas em cada apartamento. Percebe-se, novamente, que a bandeira acima da porta não é tão efetiva em proporcionar uma abertura de saída e gerar uma ventilação cruzada confortável. Isto é demonstrado pelos valores de velocidade média do vento no gráfico que se mostram muito próximos do cenário onde a porta é completamente fechada.

Ocorre apenas um leve acréscimo na velocidade média do Flat 03, visto que sua velocidade era praticamente nula e por menor que a abertura criada pela bandeira acima da porta seja, ela ainda gera algum tipo de influência no fluxo de vento do apartamento. Já nos outros flats, esse aumento de velocidade é ínfimo, demonstrando que este tipo de saída é insuficiente e ineficaz no modelo.

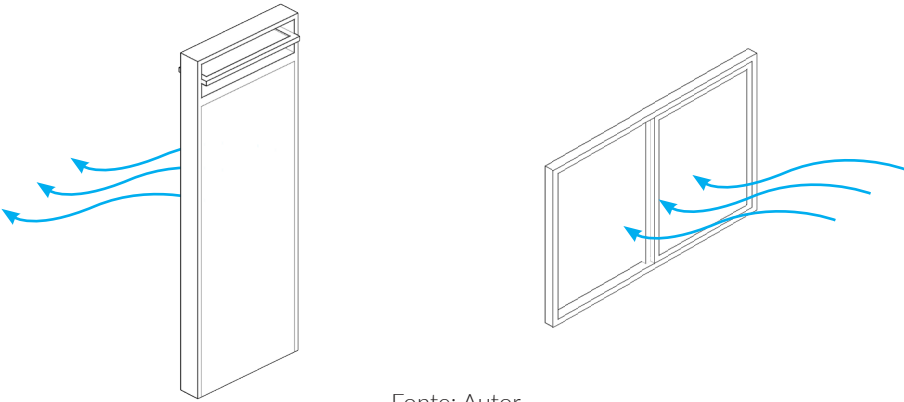
Percebe-se ainda o efeito venturi na esquadria de saída e o decaimento do vento, devido à sua baixa velocidade, perceptível nos cortes dos apartamentos.

Figura 62: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



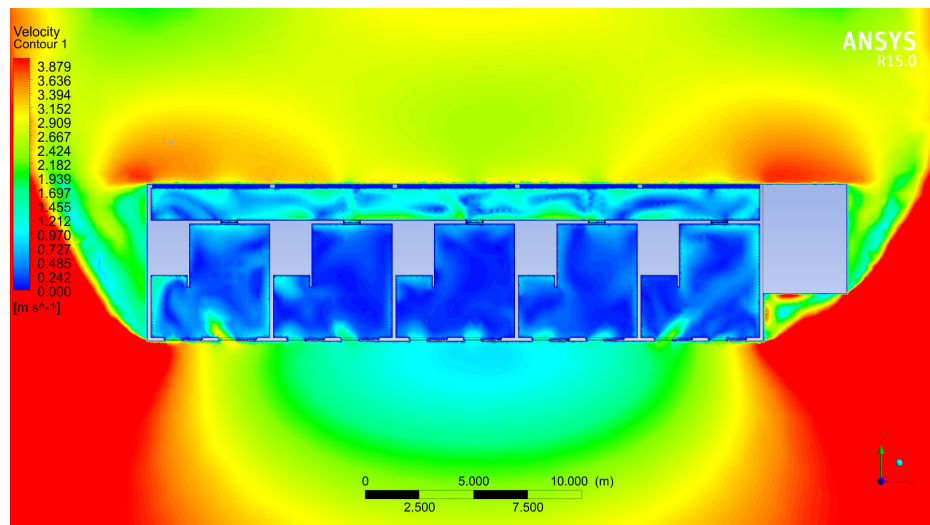
Fonte: Autor

Figura 63: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



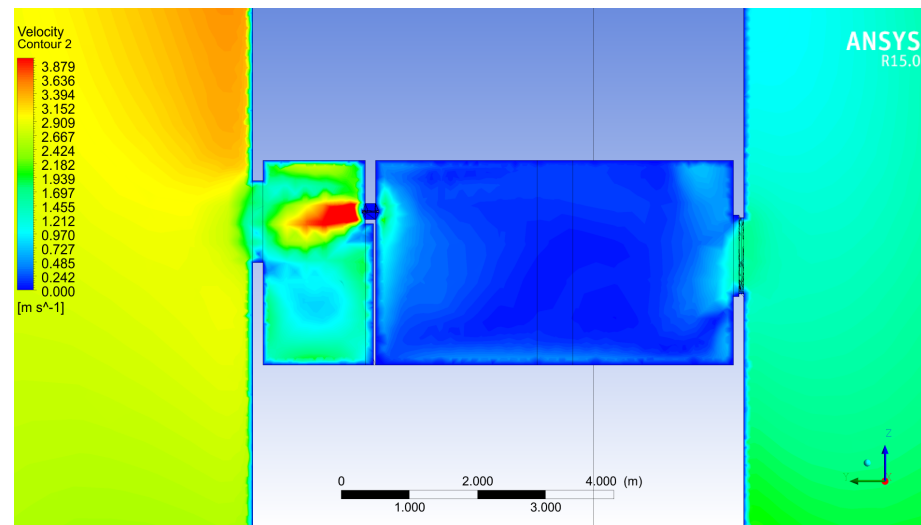
Fonte: Autor

Figura 64: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



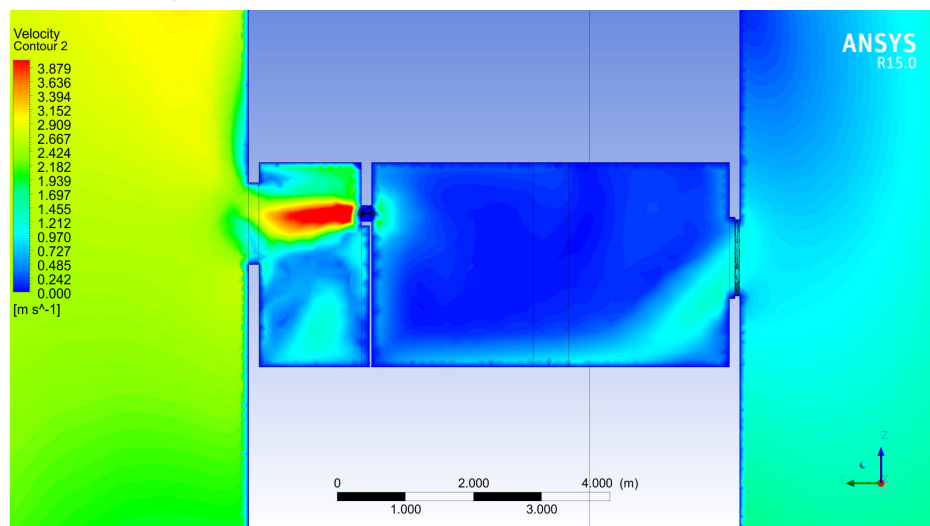
Fonte: Autor

Figura 65: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



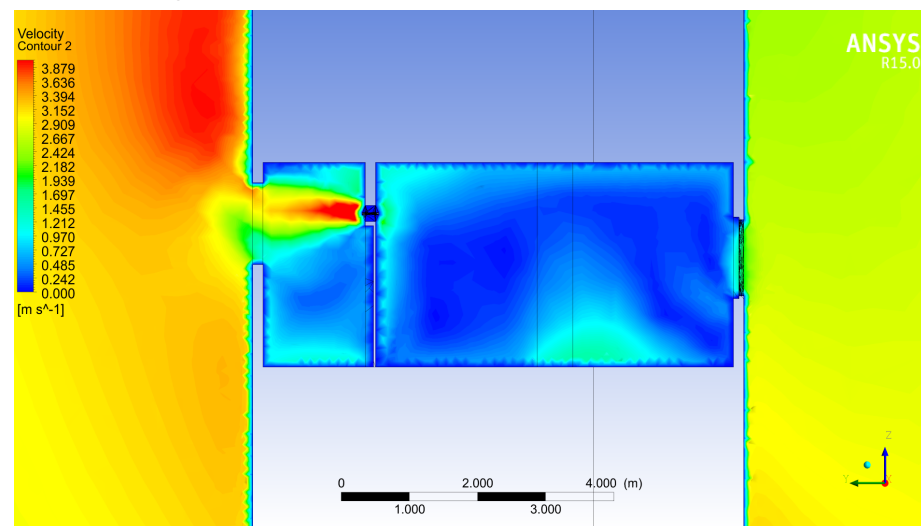
Fonte: Autor

Figura 66: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 67: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

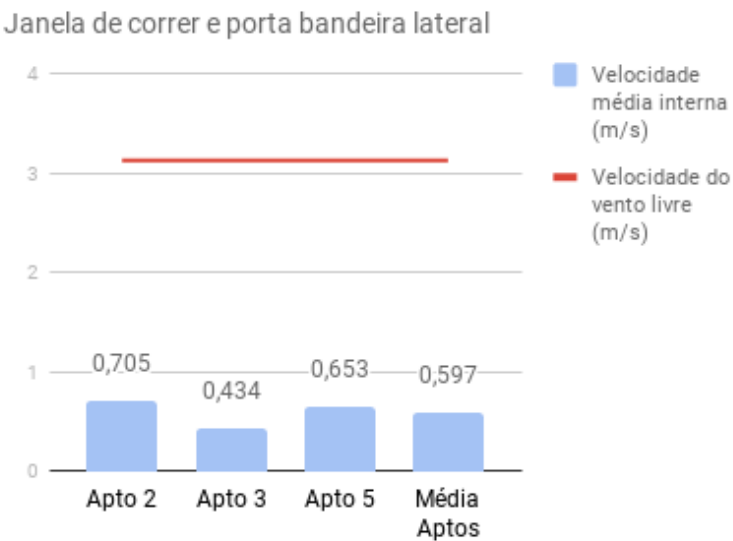
### 4.8 Janela de correr e porta com bandeira lateral

Este cenário conta com duas janelas de correr e uma porta com bandeira lateral em cada apartamento. Percebe-se a influência da bandeira lateral na permissibilidade da passagem do vento, permitindo a ventilação cruzada.

O gráfico demonstra que as velocidades médias nos Flats 02 e 05 chegam a valores mais confortáveis, no entanto, a velocidade média da ventilação no ambiente interno do Flat 03 ainda aparece com valores baixos. Isto pode se dar pelo fato de que por apresentar apenas uma abertura de 50% da área total da esquadria, e a mesma ser deslocada para um dos lados, o fluxo de ar seja prejudicado por este desalinhamento entre aberturas com uma incidência completamente perpendicular.

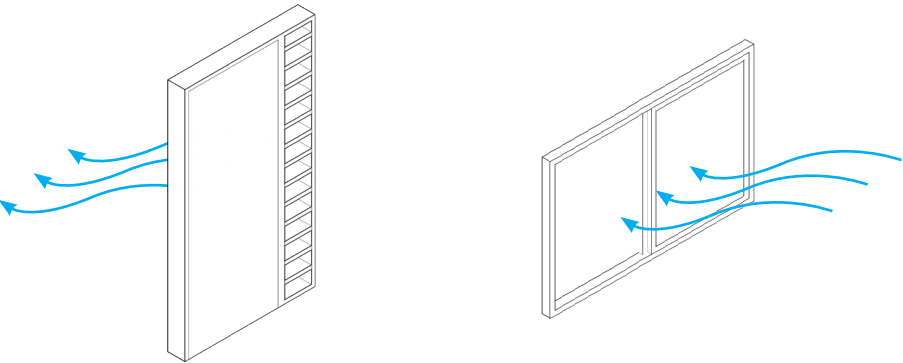
Percebe-se também, como nos outros casos, o efeito venturi, não apenas nas janelas de correr, mas também na bandeira lateral. Além disso, os apartamentos apresentam uma distribuição relativamente homogênea do fluxo de vento interno, com exceção do Flat 03, devido à suposição anterior.

Figura 68: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

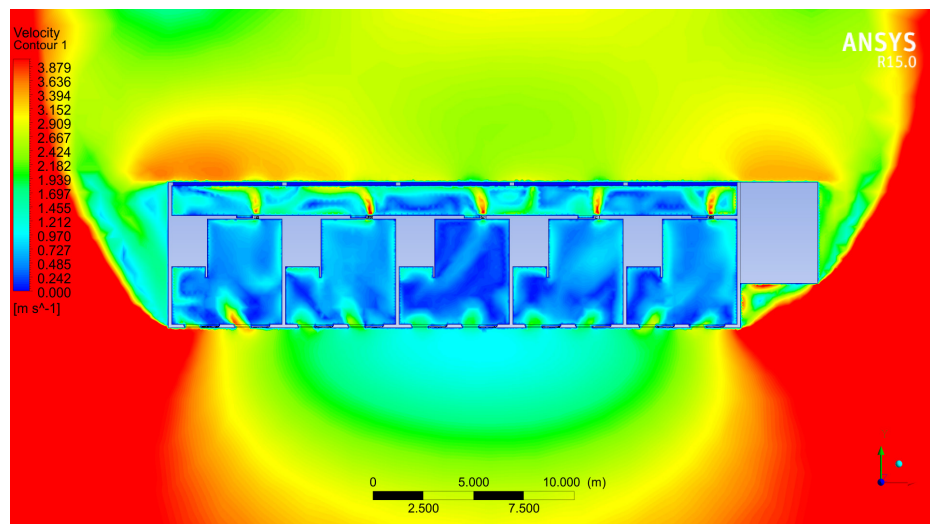
Figura 69: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

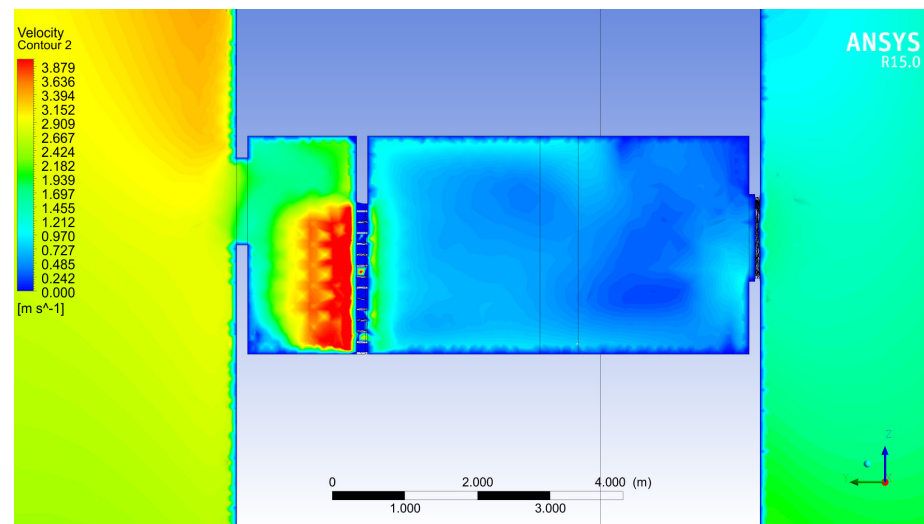


Figura 70: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



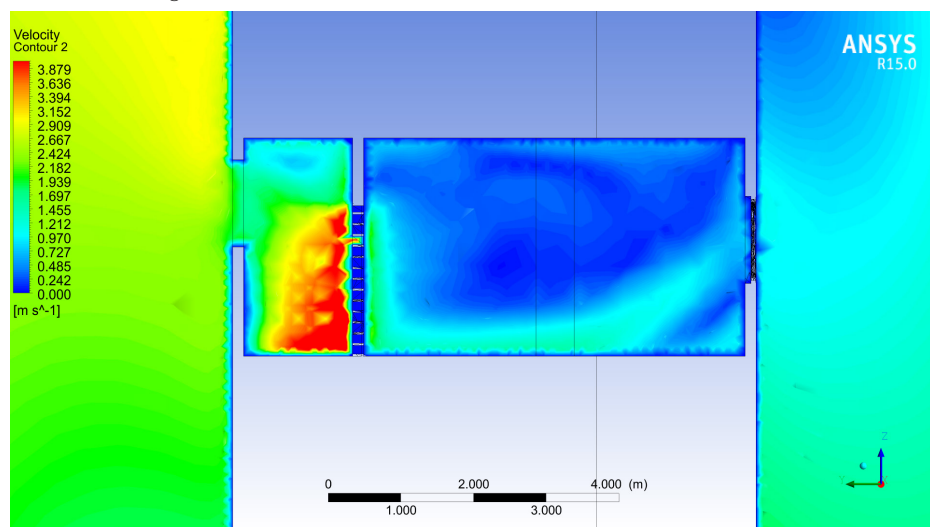
Fonte: Autor

Figura 72: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



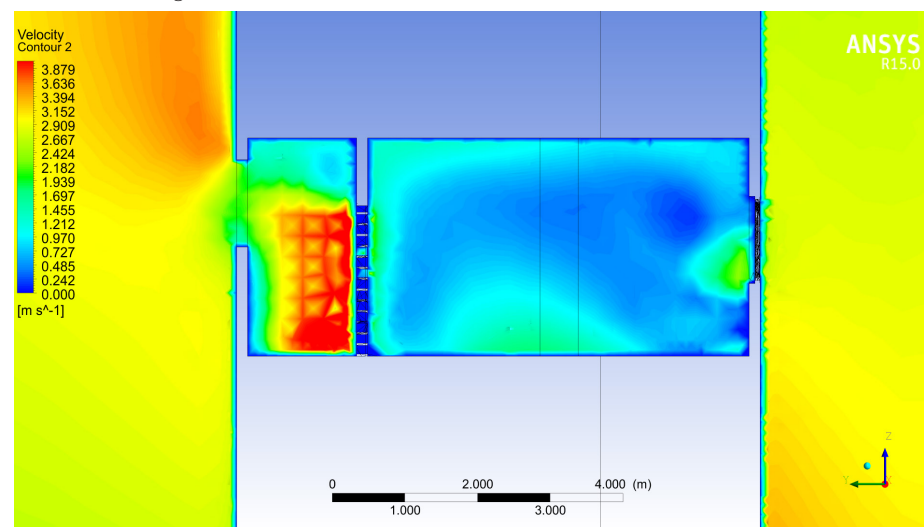
Fonte: Autor

Figura 71: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 73: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

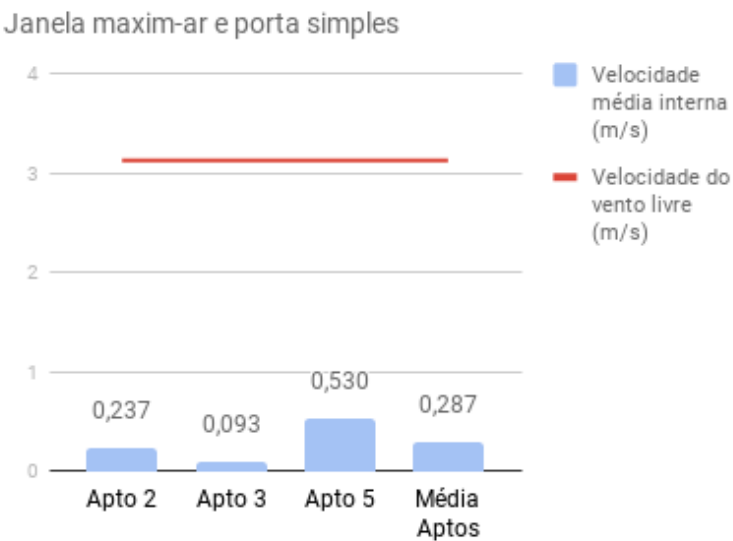
### 4.9 Janela maxim-ar e porta simples

O cenário é composto por duas janelas maxim-ar e uma porta simples em cada apartamento. A janela maxim-ar é o modelo que apresenta a menor área livre de passagem de vento dentre os modelos deste estudo. Dito isso, percebe-se que a velocidade média do vento dos apartamentos em combinação com a porta simples fechada é muito similar às outras, demonstrando a baixa influência do tipo de janela nesta combinação, e o maior impacto da falta de uma abertura de saída.

Nota-se pelos cortes que o fluxo de ar gerado pela janela maxim-ar é quase inexistente, exceto no Flat 05, onde há uma maior influência da incidência de vento angulada e uma das janelas funciona como abertura de saída de vento.

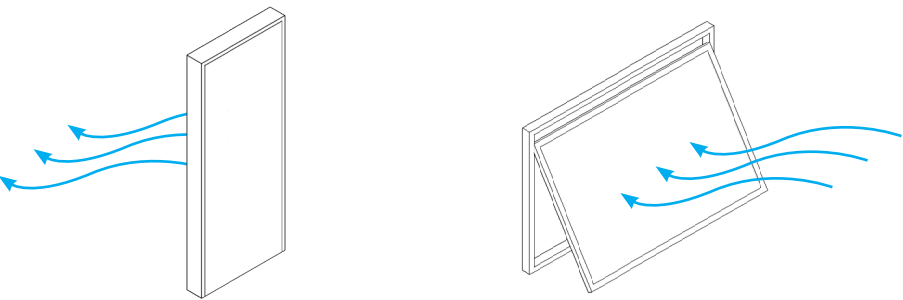
Outro fator importante é que mesmo com o vento seguindo por uma abertura localizada na parte de baixo da esquadria, o baixo diferencial de pressão faz com que a ventilação que consegue adentrar o ambiente não chegue a se elevar em direção ao forro, decaindo muito próximo à abertura de entrada.

Figura 74: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

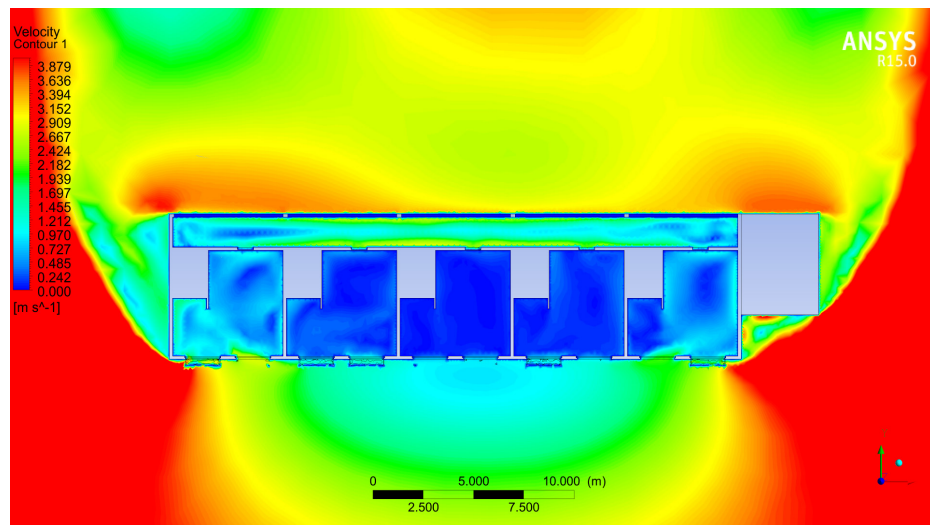
Figura 75: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

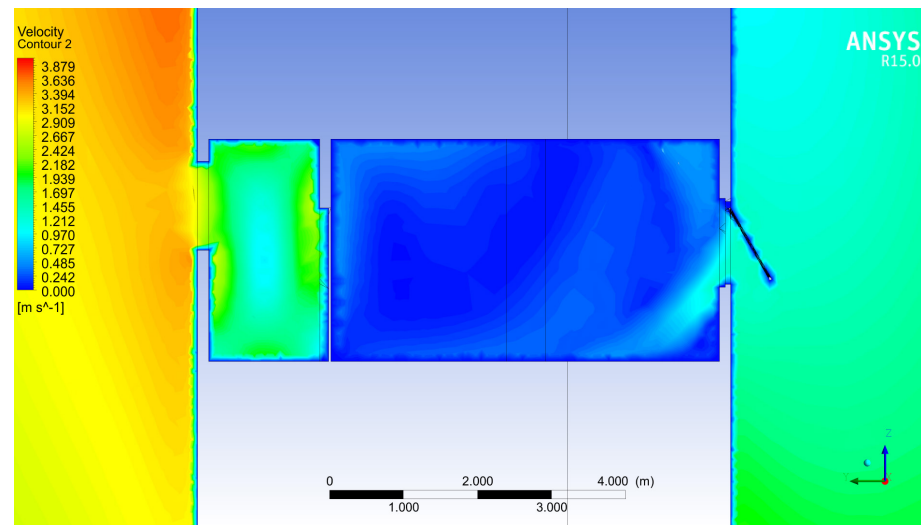


Figura 76: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



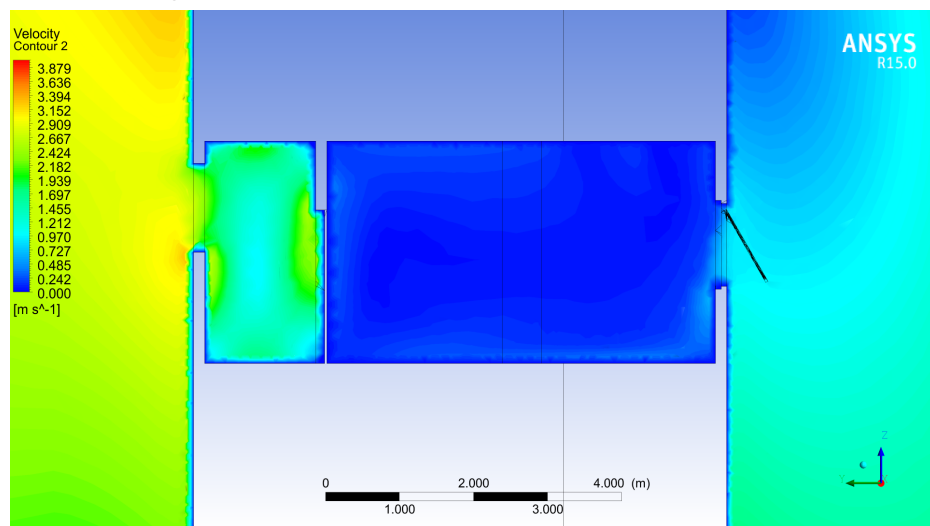
Fonte: Autor

Figura 77: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



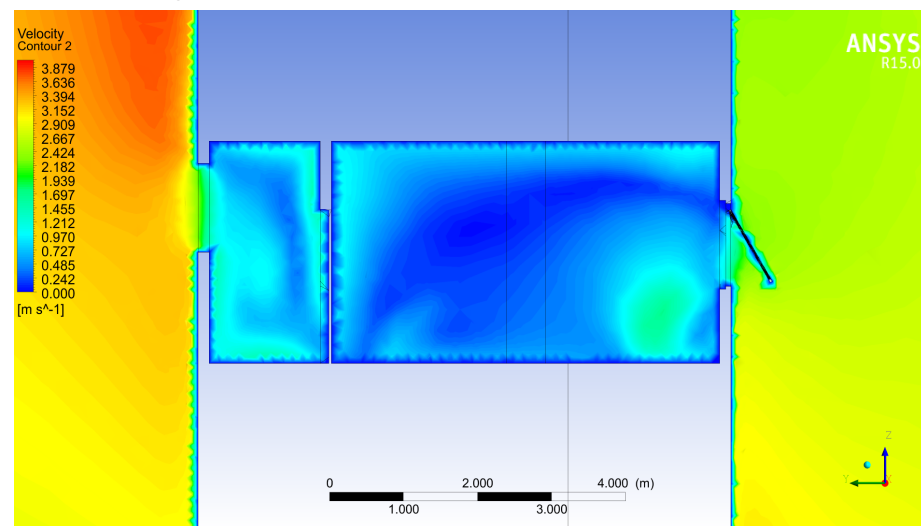
Fonte: Autor

Figura 78: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 79: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

4. RESULTADOS

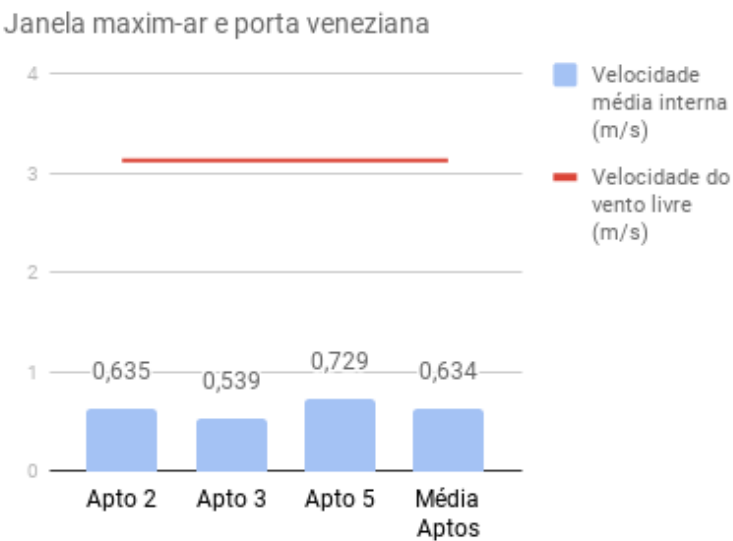
4.10 Janela maxim-ar e porta veneziana

Este cenário é composto de duas janelas maxim-ar e uma porta veneziana em cada apartamento. Como demonstrado no gráfico, a combinação da janela maxim-ar com a porta veneziana, apesar de gerar um leve aumento na velocidade média do vento interno ao ambiente, ainda atinge valores muito baixos em relação às outras combinações.

Pode-se perceber que a influência da esquadria de entrada neste caso é bem considerável, visto que em comparação com os outros cenários de mesma porta, a diferença da velocidade média é perceptível, tornando-se um ponto fora da curva. Isso se deve ao fato de a janela maxim-ar ser a que apresenta a menor área livre. Dito isto, é provável que essa área seja insuficiente para gerar um fluxo de ar compatível com o fluxo de escape promovido pela porta veneziana.

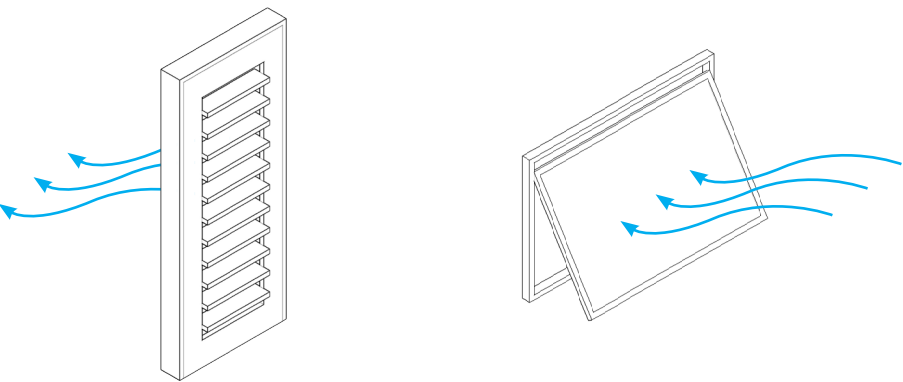
Sendo assim, essa combinação se torna desfavorável pois o elemento de entrada é subdimensionado em relação ao de saída, desperdiçando o investimento em ambos.

Figura 80: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



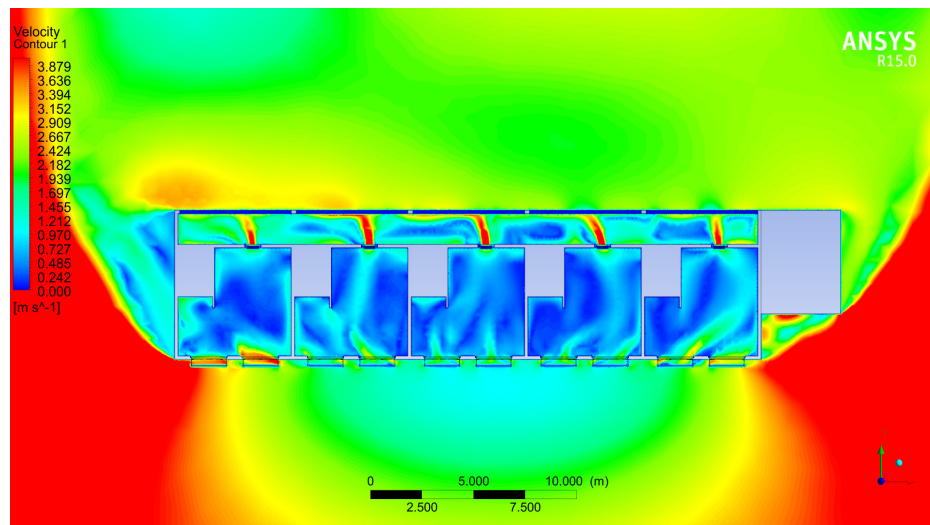
Fonte: Autor

Figura 81: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



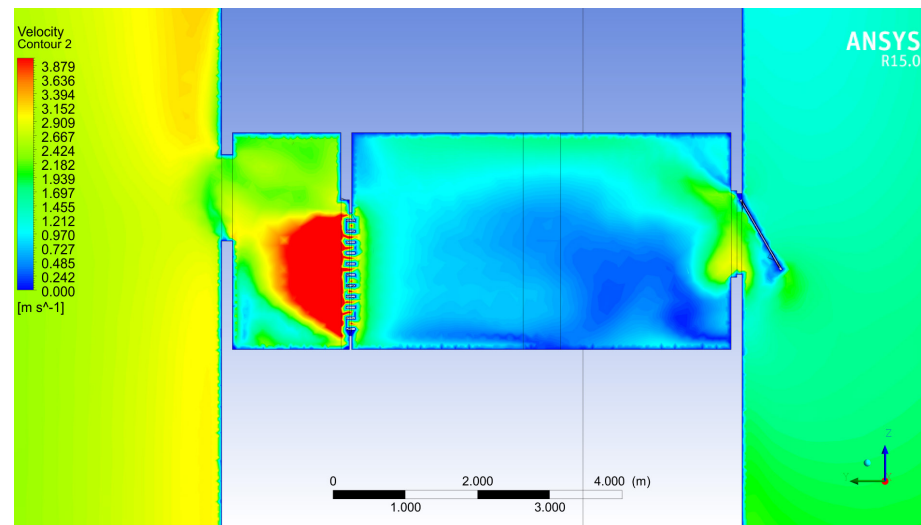
Fonte: Autor

Figura 82: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



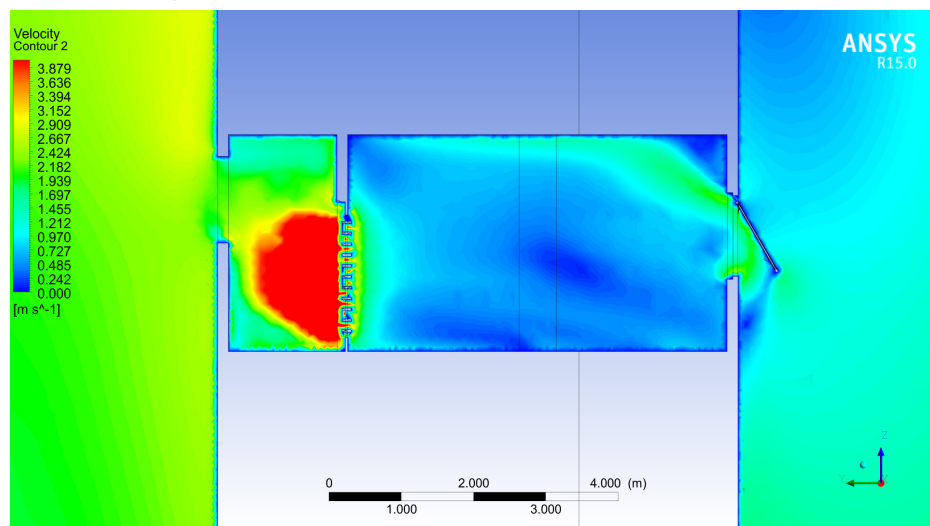
Fonte: Autor

Figura 83: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



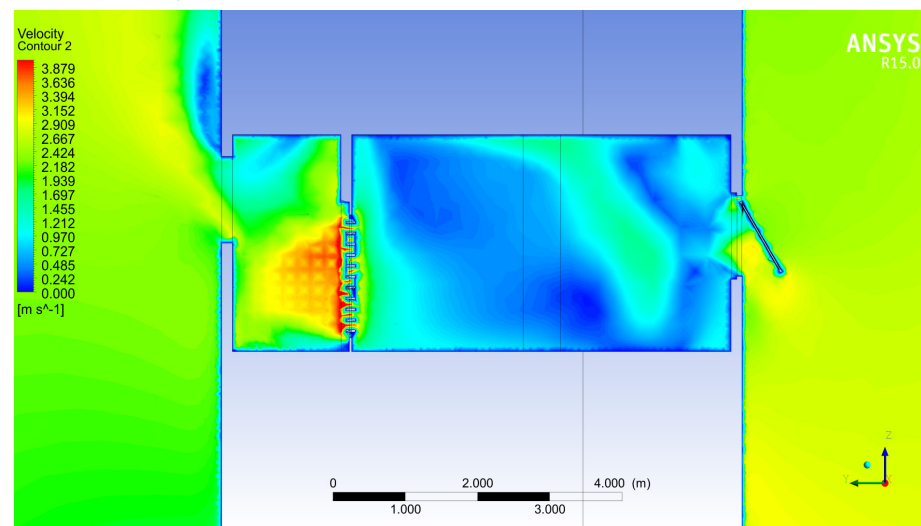
Fonte: Autor

Figura 84: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 85: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

4. RESULTADOS

4.11 Janela maxim-ar e porta com bandeira acima

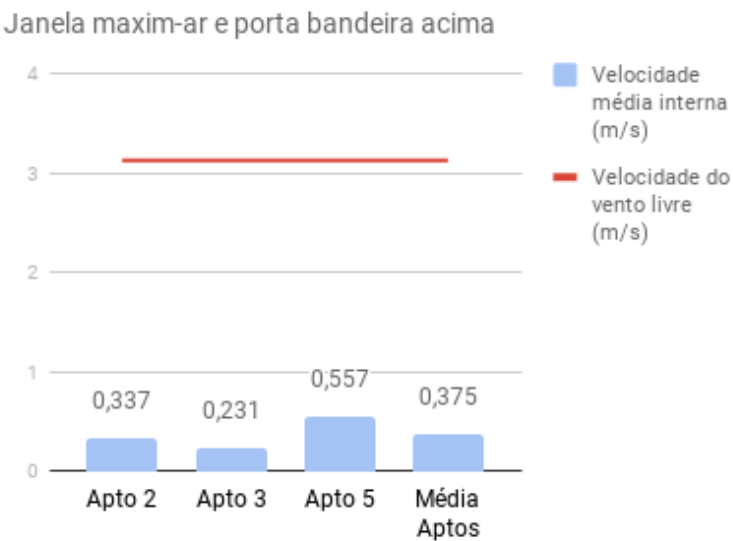
Composto por duas janelas maxim-ar e uma porta simples com bandeira acima, este cenário apresenta valores próximos aos outros. Percebe-se que nesse caso a variação do tipo de esquadria de entrada é pouco perceptível e considera-se mais a variação no tipo de esquadria de saída.

Novamente, nota-se que o tamanho da bandeira acima é insuficiente, mesmo em relação à menor área livre de abertura gerada pela esquadria maxim-ar.

Sendo assim, geram-se grandes áreas de estagnação do vento, com pouco aproveitamento da ventilação cruzada. Percebe-se também o caimento da ventilação devido ao baixo diferencial de pressão, fazendo com que o fluxo se mova em direção ao piso.

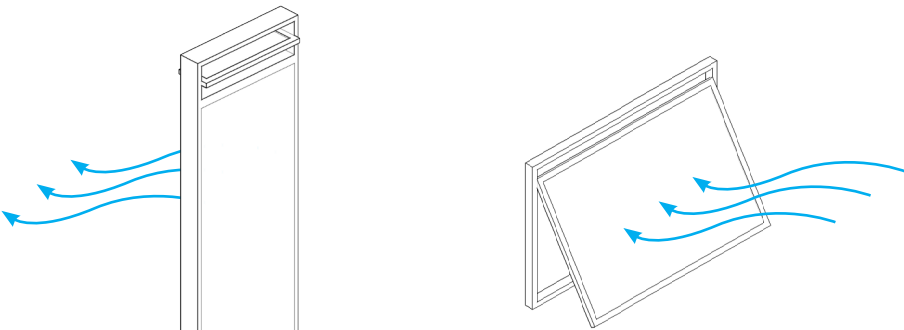
Pode-se notar uma leve elevação no fluxo de vento do Flat 05, gerado provavelmente pela circulação do vento entre janelas e incidência mais angulada, onde o vento chega a circular um pouco num plano mais alto, bem próximo ao forro do apartamento.

Figura 86: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



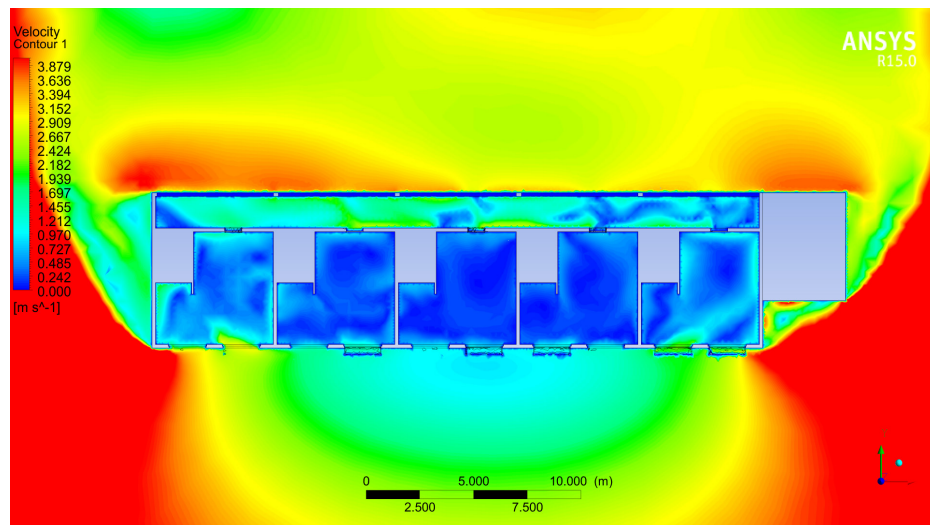
Fonte: Autor

Figura 87: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



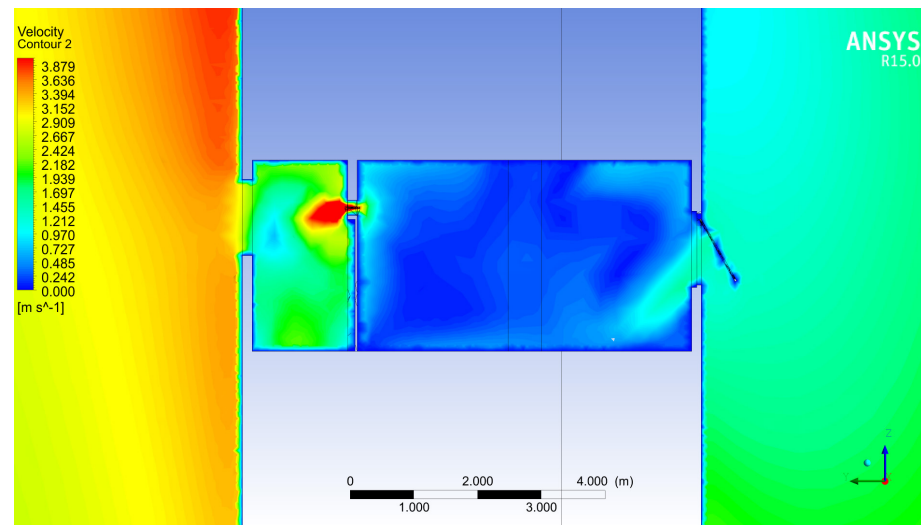
Fonte: Autor

Figura 88: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



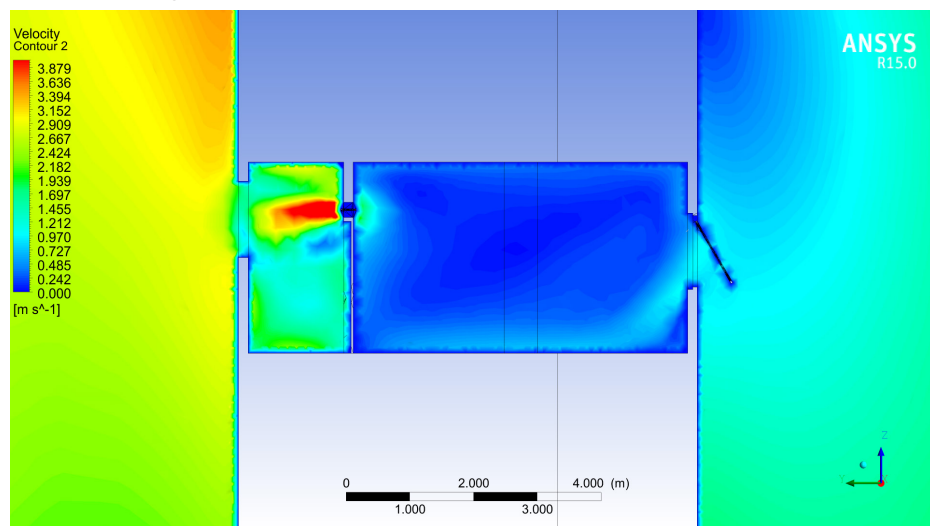
Fonte: Autor

Figura 89: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



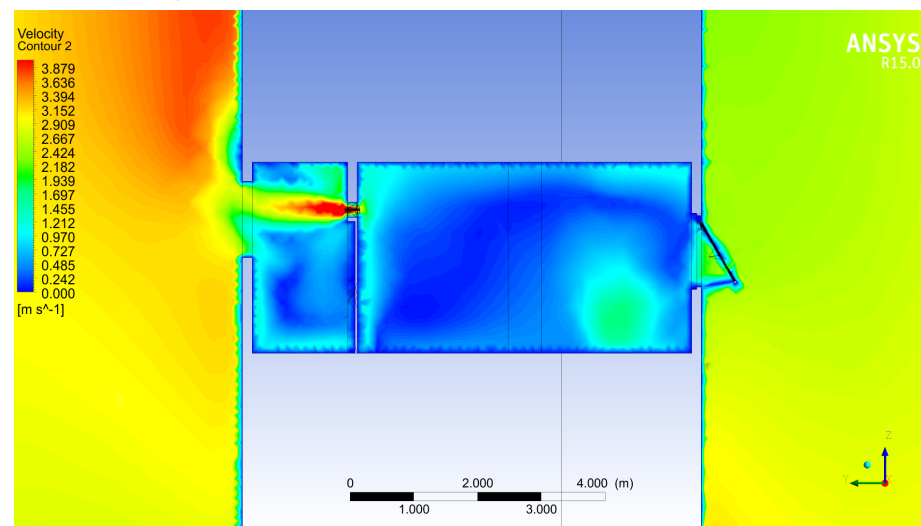
Fonte: Autor

Figura 90: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 91: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor



## 4. RESULTADOS

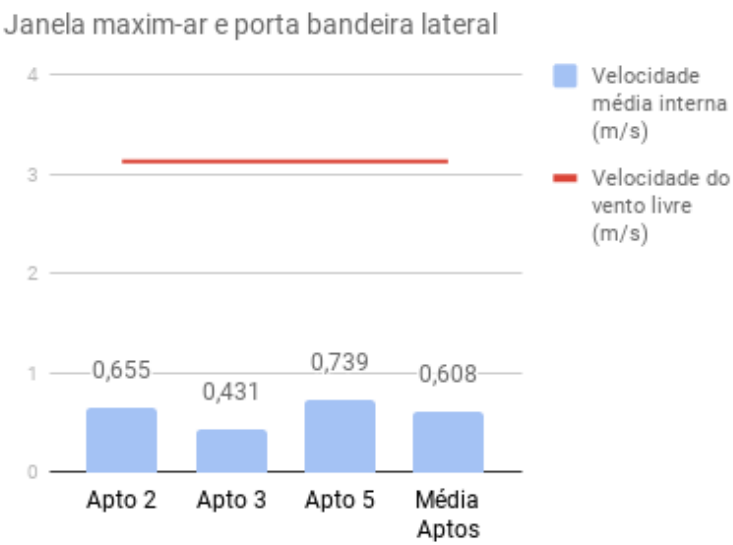
### 4.12 Janela maxim-ar e porta com bandeira lateral

Este cenário é composto por duas janelas maxim-ar e uma porta simples com bandeira lateral. Neste caso, acontece uma variação um pouco maior entre a velocidade média do vento interno nos apartamentos, apesar da média geral dos flats se manter próxima à dos outros cenários com aplicação de porta simples com bandeira lateral. Os Flats 02 e 05 apresentam uma velocidade média maior, porém, o Flat 03 atinge valores baixos, fugindo do esperado para o estudo. Isso pode se dar ao fato de que a pressão exercida perpendicularmente na esquadria maxim-ar não gera um grande diferencial de pressão, juntamente com o fato de que a bandeira lateral possui uma abertura que vai desde o chão até uma altura de 2,10m.

Dito isto, o fluxo parece se deslocar em um plano mais baixo do que o plano de respiração (1,5 m de altura) como mostra o corte do Flat 03, diminuindo a velocidade média obtida.

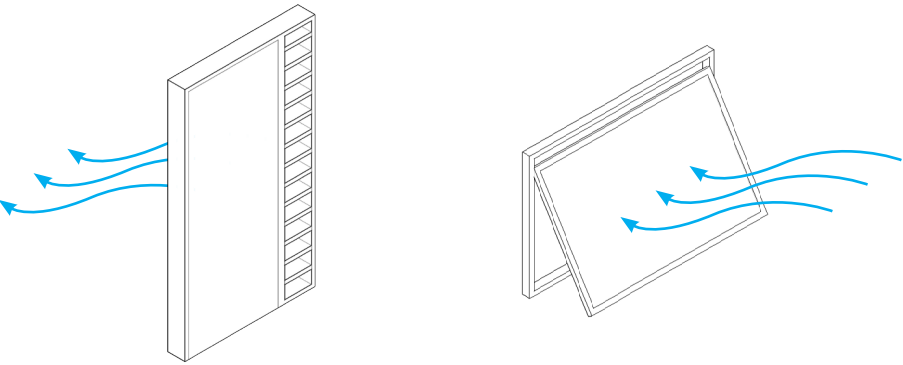
Já nos outros apartamentos, percebe-se um fluxo de ar em uma altura mais elevada, além de um fluxo próximo ao forro, como observado nos outros cenários com janela maxim-ar.

Figura 92: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



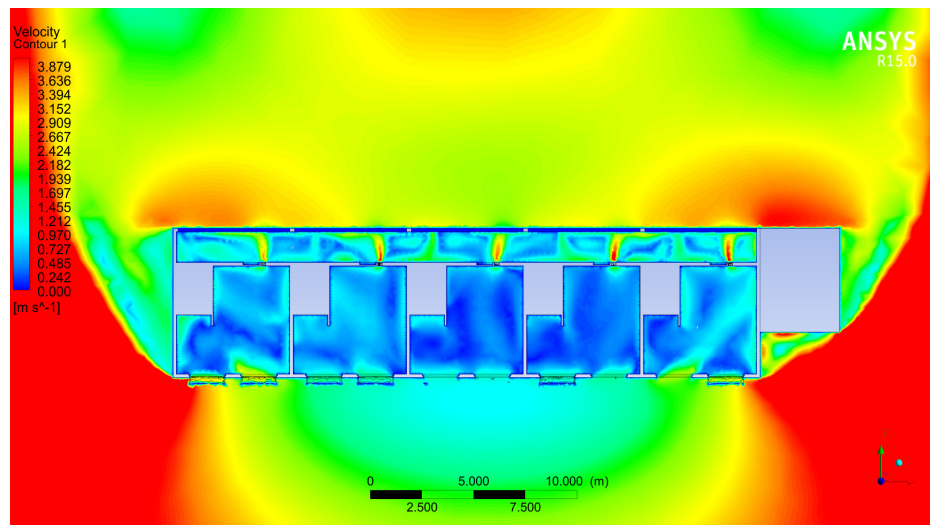
Fonte: Autor

Figura 93: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



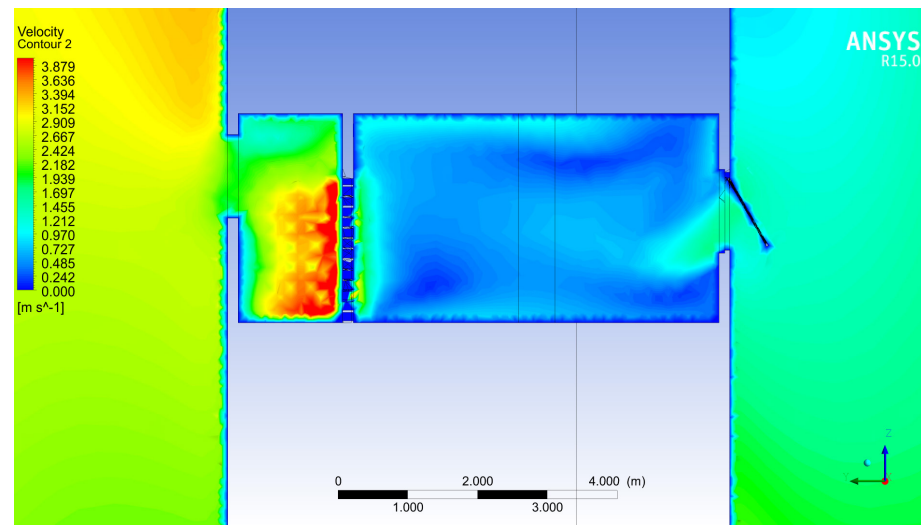
Fonte: Autor

Figura 94: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



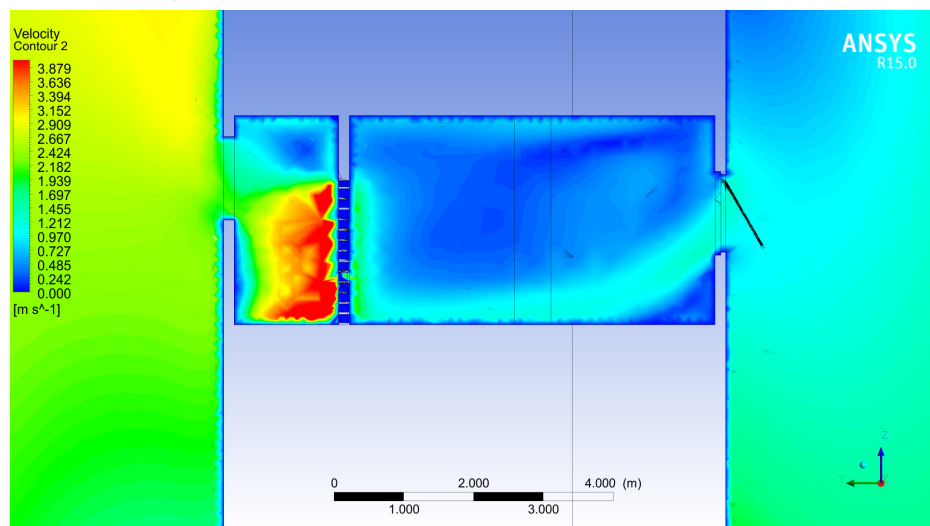
Fonte: Autor

Figura 95: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



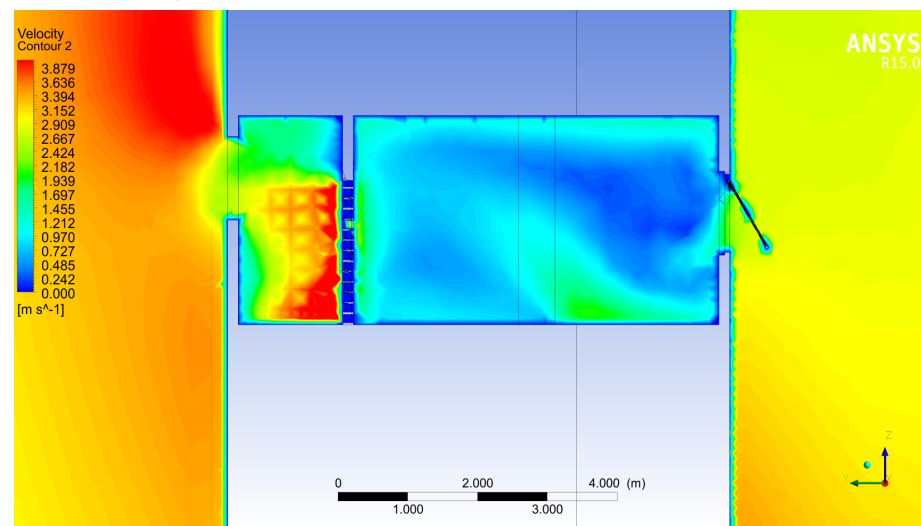
Fonte: Autor

Figura 96: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 97: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

4. RESULTADOS

4.13 Janela pivotante e porta simples

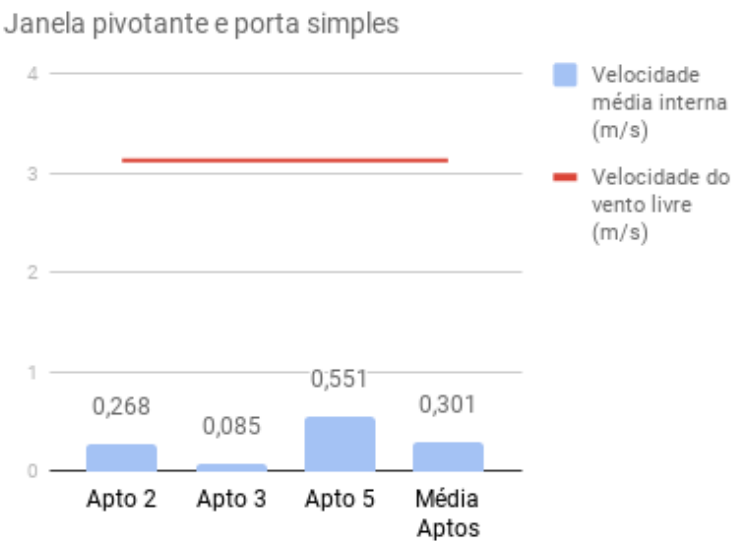
O cenário conta com uma combinação entre duas janelas pivotantes e uma porta simples fechada em cada apartamento. Apresenta resultados numéricos bem próximos às outras situações com porta simples fechada, demonstrando mais uma vez a precariedade de não se ter uma saída de ar no ambiente.

Percebe-se que nos Flats 02 e 03 ocorre uma estagnação quase que generalizada do ar, possuindo algum movimento nas proximidades das janelas pivotantes, principalmente no Flat 02.

Similar aos outros casos, o Flat 05 apresenta uma certa circulação de ar devido à incidência angulada do vento, que possibilita o uso de uma das janelas como entrada e a outra como saída de vento.

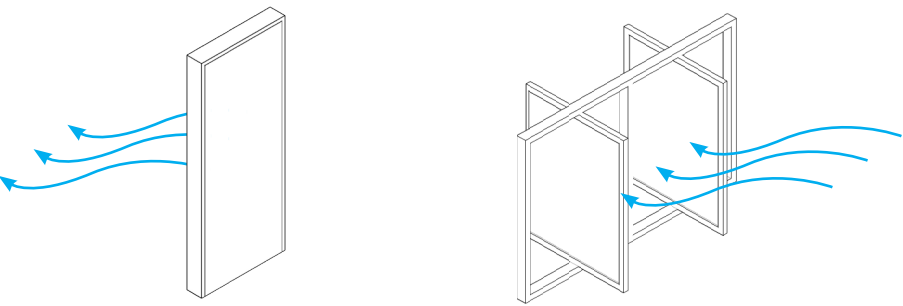
Nota-se também que a janela pivotante pode funcionar como um leve captador de vento. Isso se deve ao fato de que a sua folha passa um pouco do caixilho da esquadria de modo que o vento incidindo de forma angulada tende a se encontrar com a folha e se direcionar para o interior da edificação, aumentando um pouco o fluxo nestes apartamentos mais laterais, como é o caso do Flat 05.

Figura 98: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

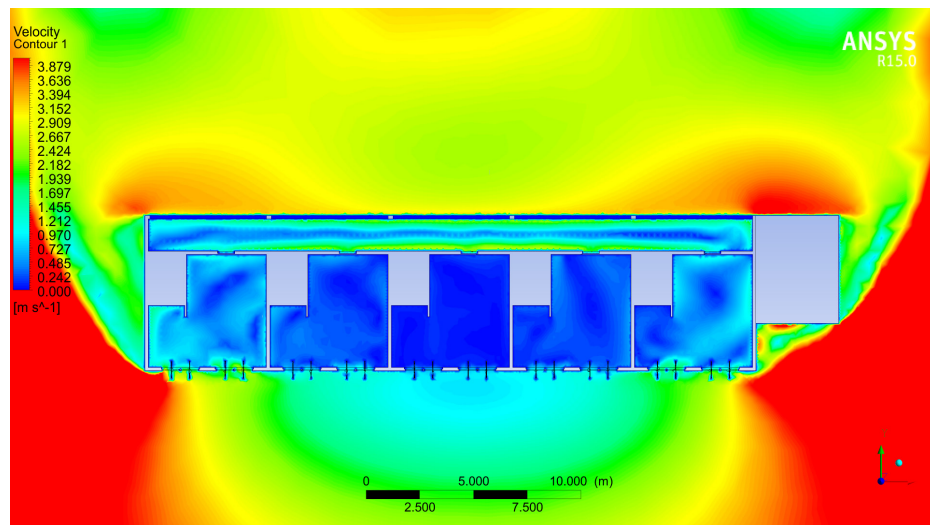
Figura 99: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

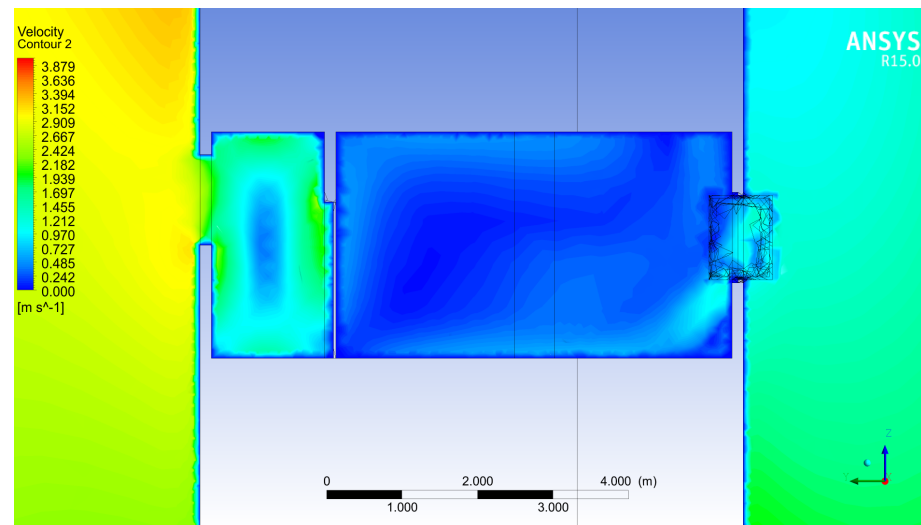


Figura 100: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



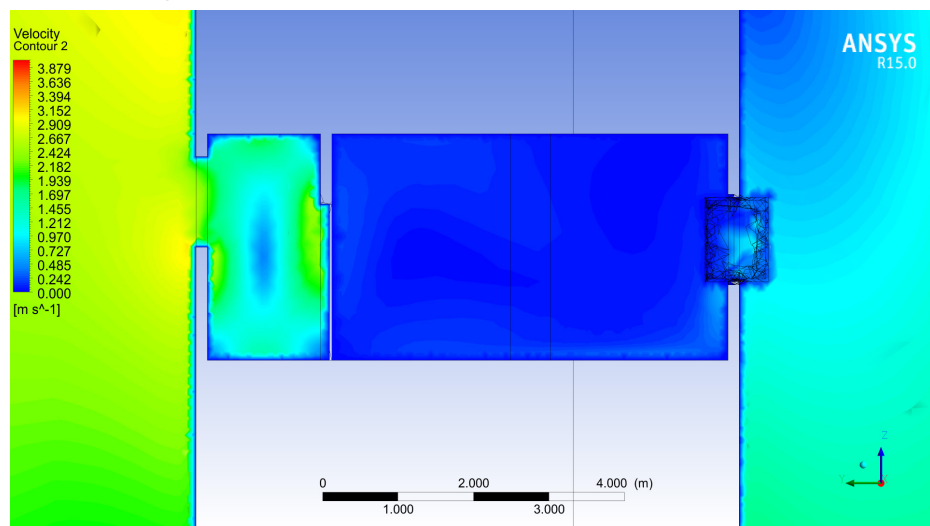
Fonte: Autor

Figura 101: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



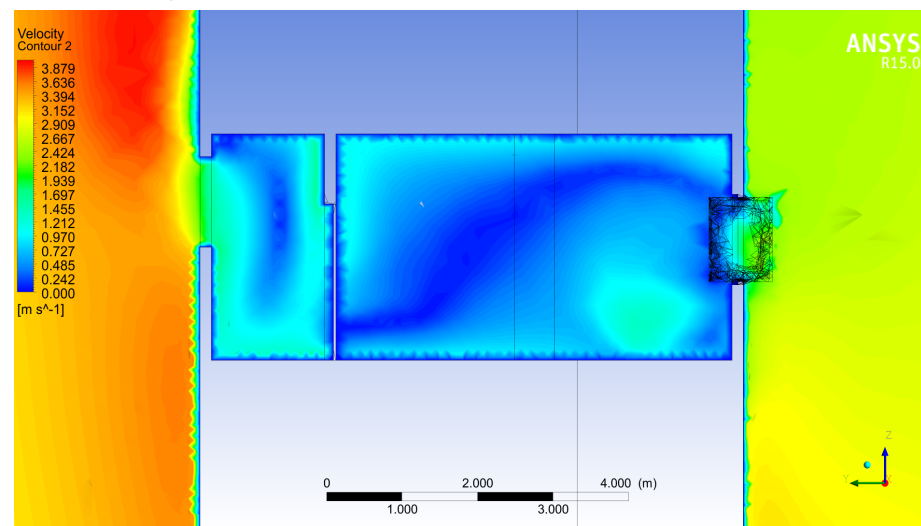
Fonte: Autor

Figura 102: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 103: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

4. RESULTADOS

4.14 Janela pivotante e porta veneziana

O cenário inclui uma combinação entre duas janelas pivotantes e uma porta veneziana por apartamento. Em valores numéricos, esta é a combinação que apresenta o maior ganho de velocidade média de vento no ambiente interno. Segue a tendência da porta veneziana de gerar uma abertura de saída arrojada, juntamente com a permeabilidade da janela pivotante.

Os valores de velocidade média atingidos são maiores nos Flats 02 e 05, porém o Flat 03 ainda apresenta uma das maiores velocidades do estudo. A janela pivotante possui uma área efetiva de abertura de aproximadamente 98%, o que a torna bastante permeável em uma incidência de vento perpendicular. No entanto, sua maior vantagem talvez seja a possibilidade de captar o vento que incide de maneira angulada ou lateralmente. Vantagem essa possível devido ao fato da folha saltar perpendicularmente ao caixilho, criando uma barreira vertical e desviando o vento para dentro do edifício.

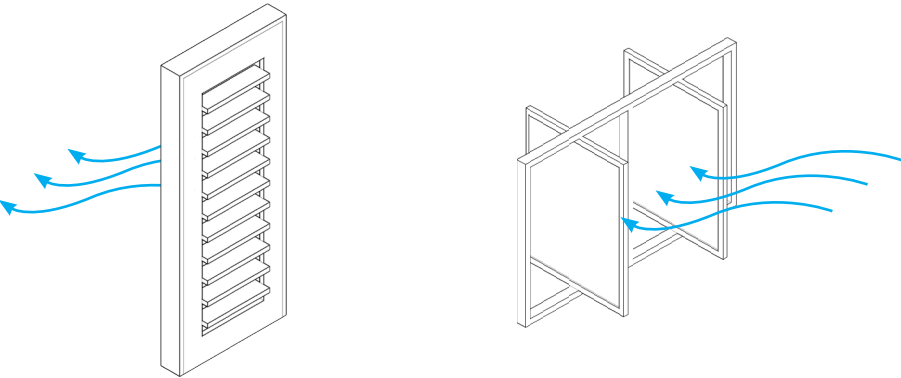
Pode-se perceber que essa combinação apresenta alguns pontos de velocidade elevada, porém não é de todo homogêneo, apresentando bolsões de ar estagnado.

Figura 104: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



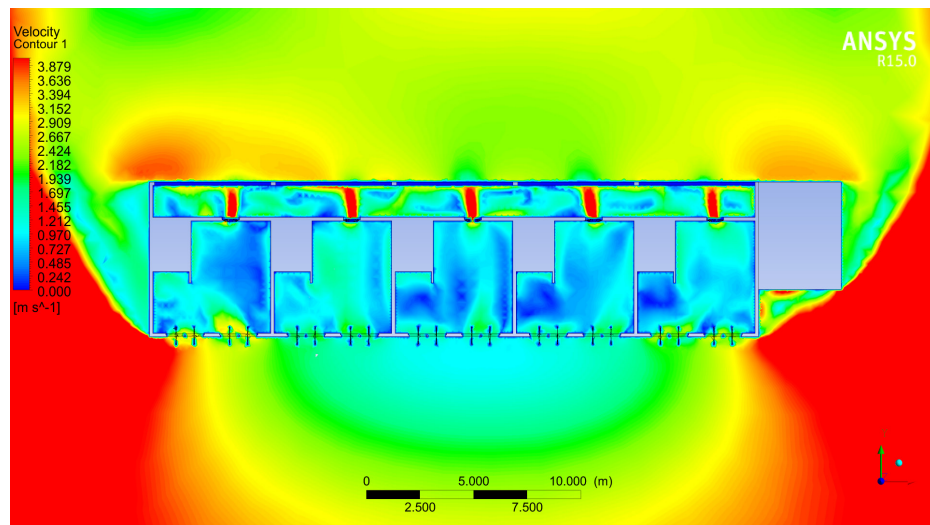
Fonte: Autor

Figura 105: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



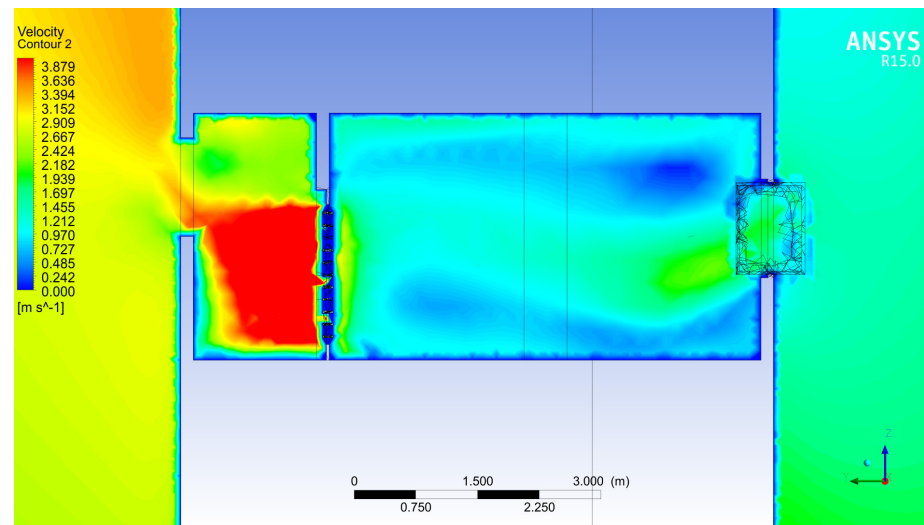
Fonte: Autor

Figura 106: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



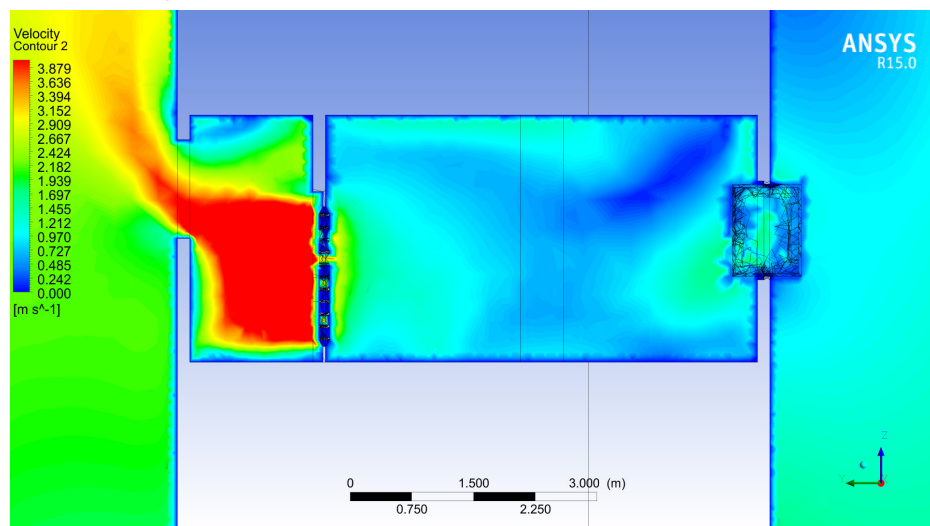
Fonte: Autor

Figura 107: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



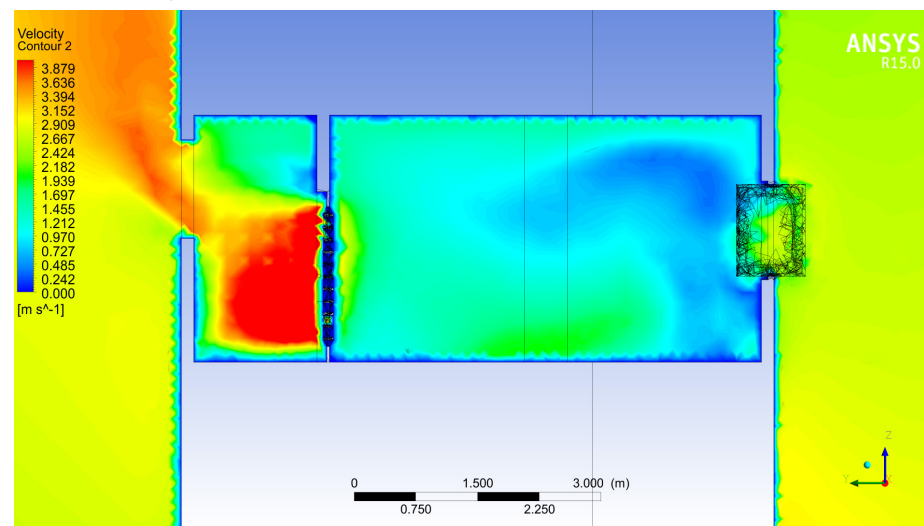
Fonte: Autor

Figura 108: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 109: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



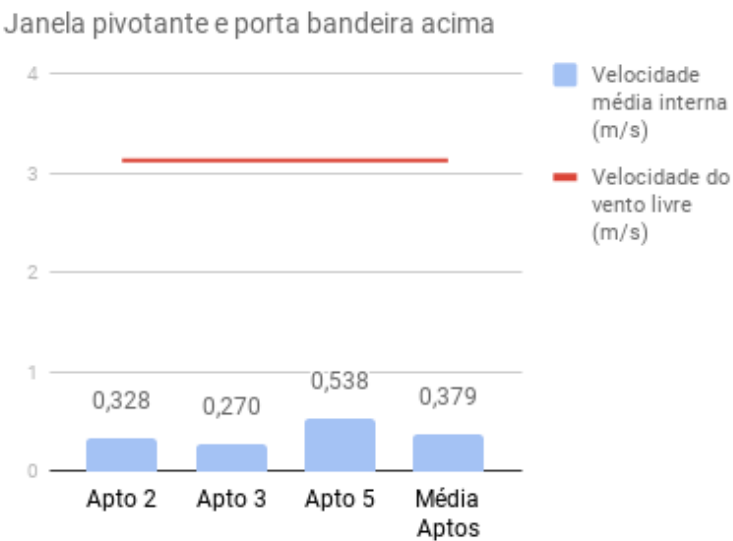
Fonte: Autor

4. RESULTADOS

4.15 Janela pivotante e porta com bandeira acima

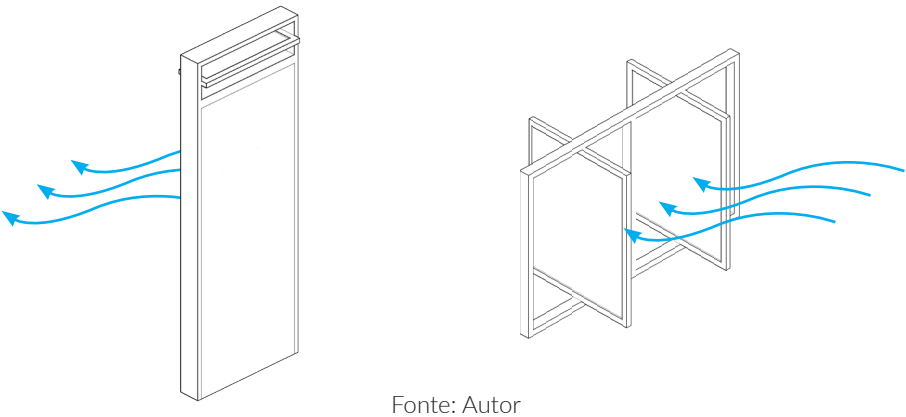
O cenário apresenta uma combinação entre duas janelas pivotantes e uma porta simples com bandeira acima por apartamento. Os valores obtidos para a velocidade média da ventilação do ambiente interno aparecem muito similares aos outros cenários com porta com bandeira acima. Isso reforça o fato de que as dimensões de abertura proporcionadas pela bandeira acima são insuficientes para que o efeito de uma mudança de esquadria de entrada seja perceptível. Percebe-se o decaimento do fluxo de ventilação devido ao baixo diferencial de pressão, causando uma baixa velocidade e um rebaixamento do plano em que o vento é movimentado, com destaque em especial para os Flats 02 e 03. Já no Flat 05 percebe-se novamente a influência da incidência angular, compensando um pouco a pequena área da abertura de saída com uma das janelas, melhorando um pouco a circulação de vento.

Figura 110: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



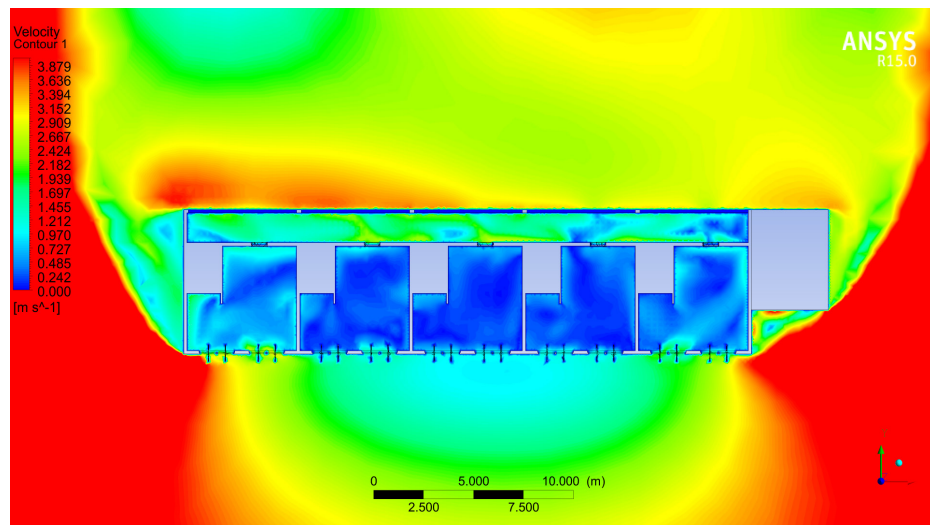
Fonte: Autor

Figura 111: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



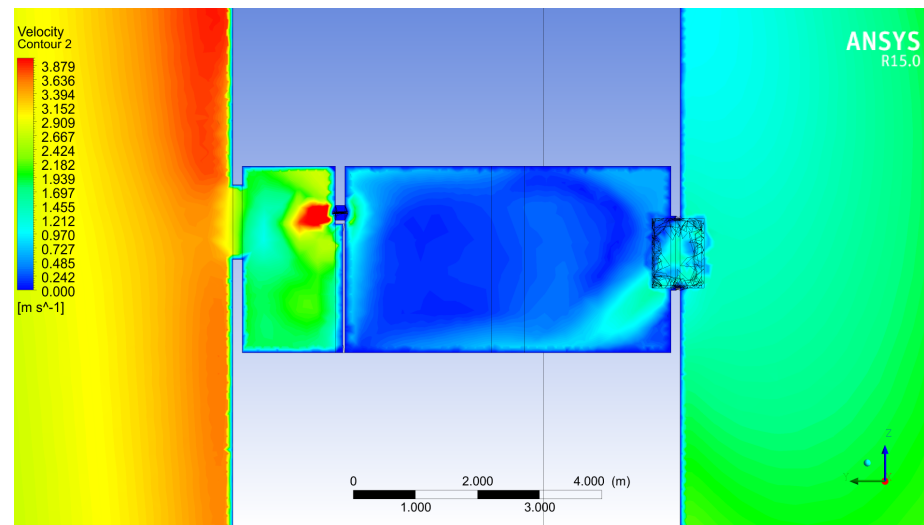
Fonte: Autor

Figura 112: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



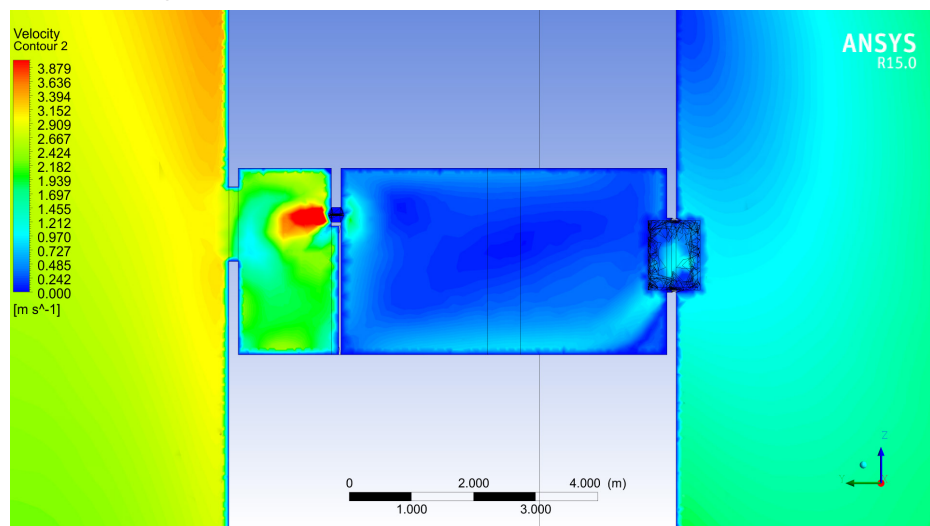
Fonte: Autor

Figura 113: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



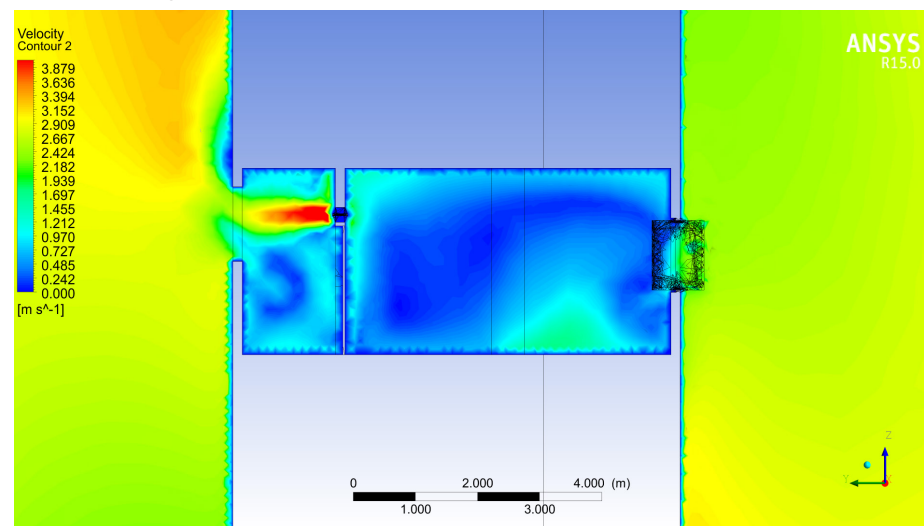
Fonte: Autor

Figura 114: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 115: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor



## 4. RESULTADOS

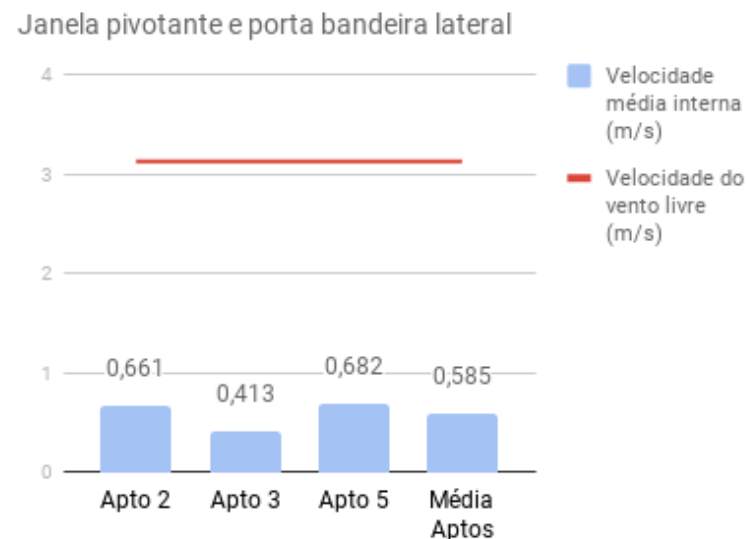
### 4.16 Janela pivotante e porta com bandeira lateral

Este cenário é composto por duas janelas pivotantes e uma porta com bandeira lateral em cada apartamento. Percebe-se que os valores de velocidade média da ventilação interna apresenta uma constância entre o Flat 02 e o Flat 05, no entanto, o Flat 03 apresenta um valor mais baixo de velocidade. Isto se deve, provavelmente, ao fato das janelas pivotantes funcionarem em parte como um direcionador do vento para o interior do ambiente, como explicado anteriormente.

Em questão de distribuição do fluxo de vento no ambiente interno, percebe-se que o menos favorável é o Flat 03, que apresenta uma altura mais baixa do fluxo de vento, além de gerar velocidades maiores apenas próximo às aberturas de entrada e saída de vento.

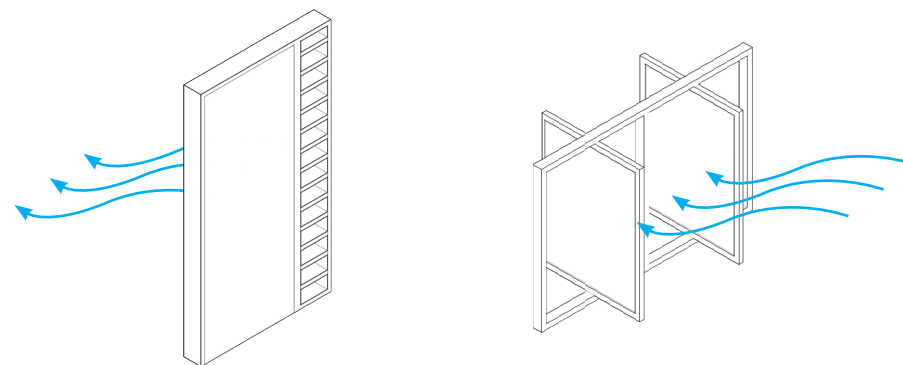
Já nos Flats 02 e 05, essa distribuição se torna mais homogênea, apesar de ainda apresentar focos de estagnação. Nestes apartamentos o fluxo tende a se manter numa altura mais confortável, próximo ao plano de respiração (1,5 m).

Figura 116: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



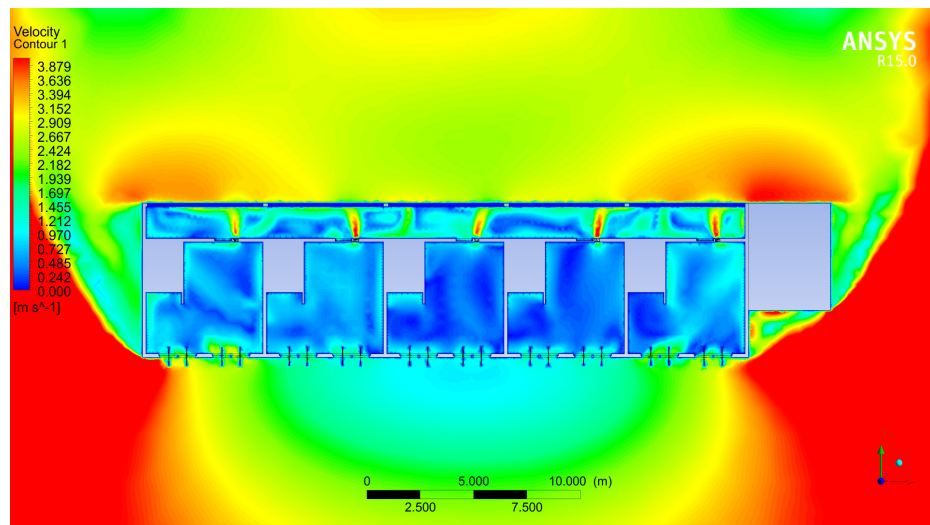
Fonte: Autor

Figura 117: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



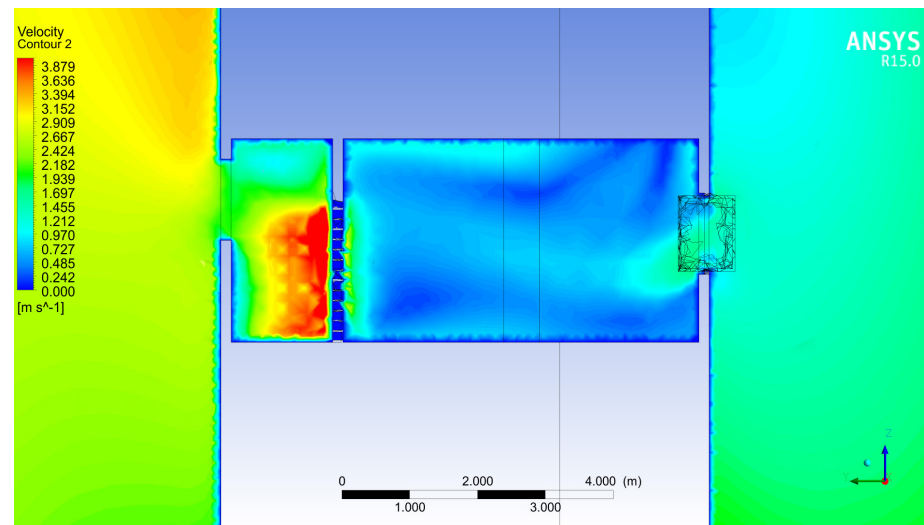
Fonte: Autor

Figura 118: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



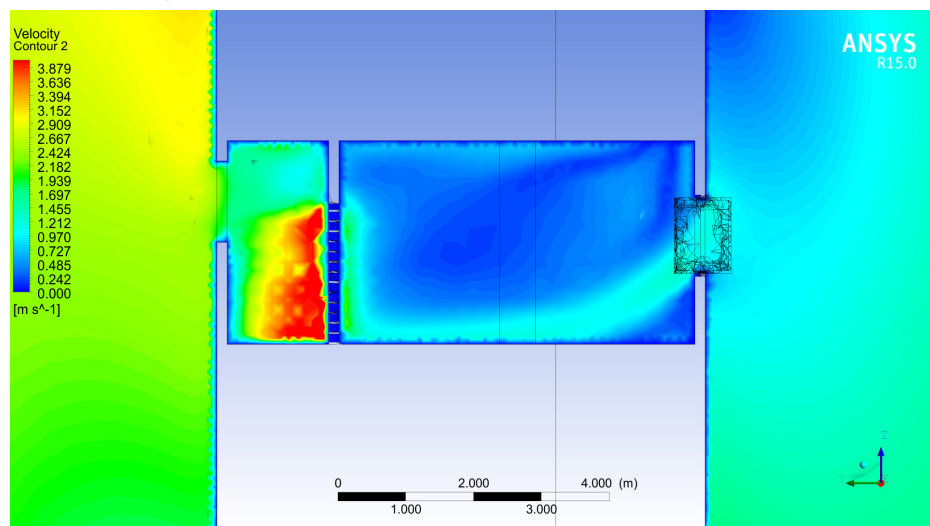
Fonte: Autor

Figura 119: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



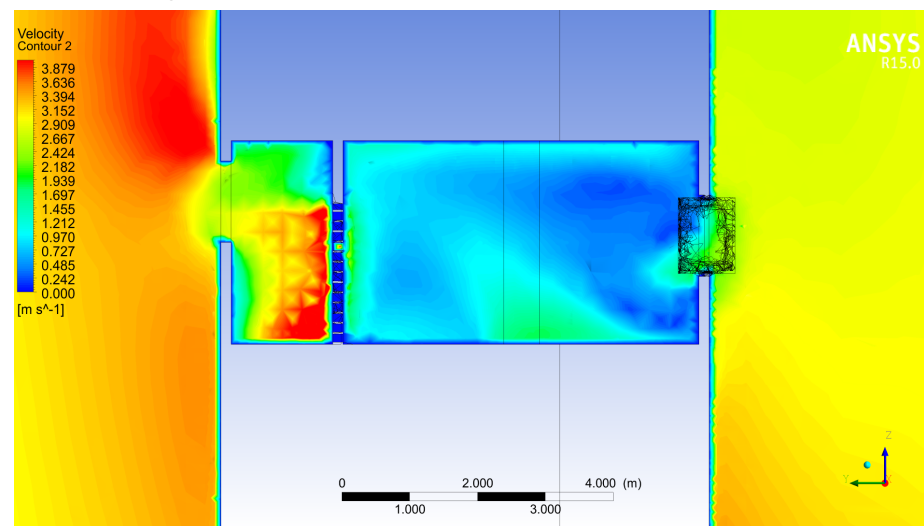
Fonte: Autor

Figura 120: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 121: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

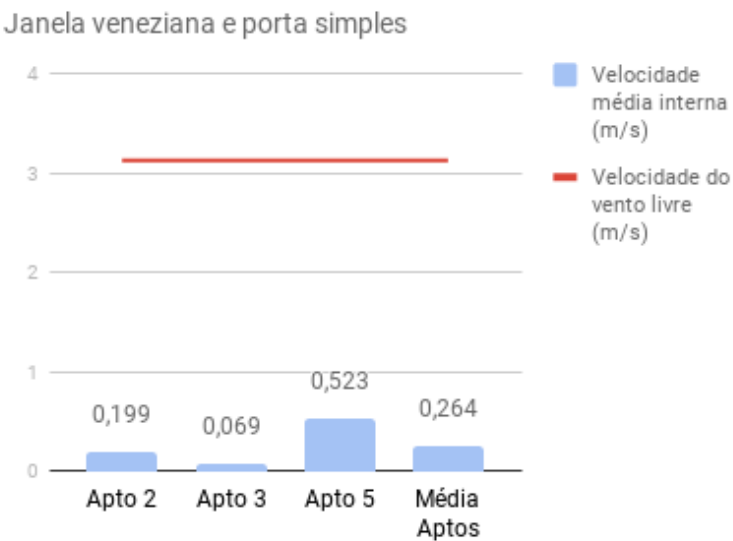
### 4.17 Janela veneziana e porta simples

O cenário é composto de duas janelas venezianas e uma porta simples fechada em cada apartamento. Percebe-se que os valores de velocidade média da ventilação no ambiente interno são muito baixos para esta situação, em especial nos Flats 02 e 03, que apresentam os menores valores do estudo. No entanto, o Flat 05 ainda apresenta uma valor próximo aos demais estudos que apresentam porta simples fechada.

Acredita-se que estas menores velocidades nos Flats 02 e 03 podem se dar ao fato de que a veneziana tende a ordenar o fluxo de vento, retificando mais a sua incidência e diminuindo o efeito de saída das janelas com incidência mais angulada.

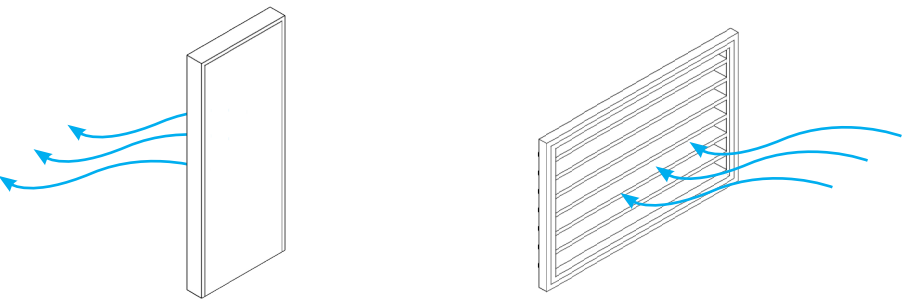
Considera-se, porém, que este efeito neste cenário é praticamente irrelevante, seguindo o mesmo padrão das outras composições com porta simples fechada, onde a estagnação de vento é constante na maior parte dos apartamentos.

Figura 122: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



Fonte: Autor

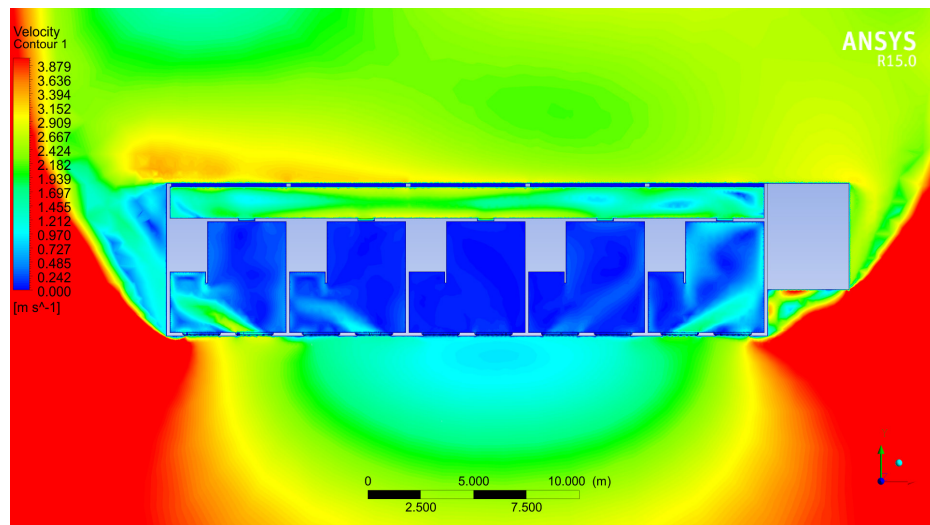
Figura 123: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



Fonte: Autor

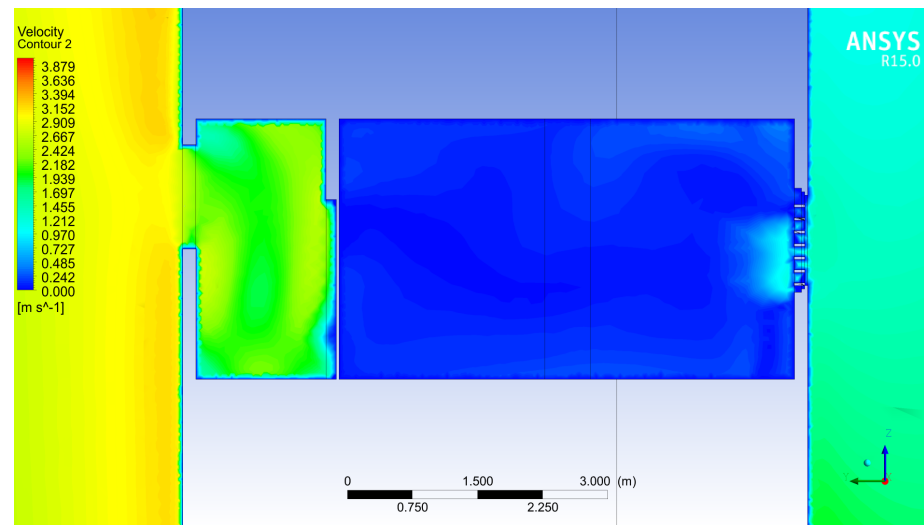


Figura 124: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



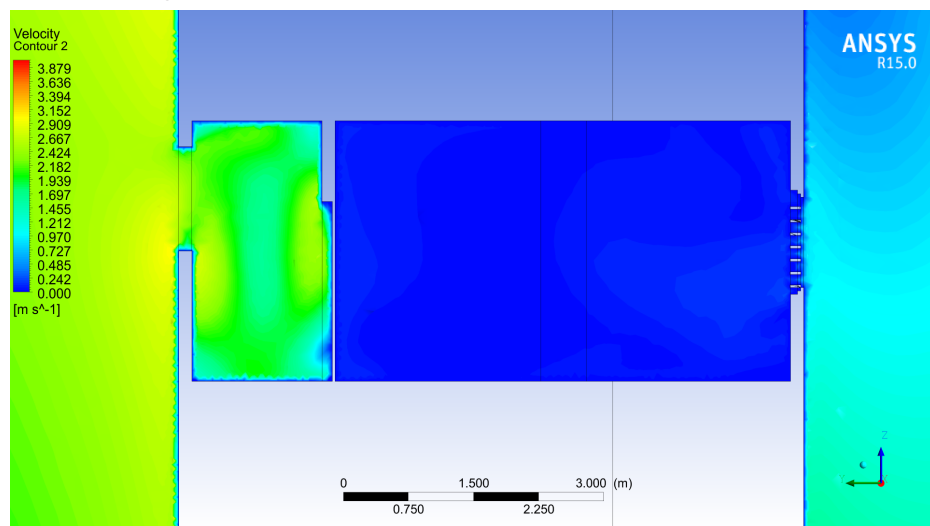
Fonte: Autor

Figura 125: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



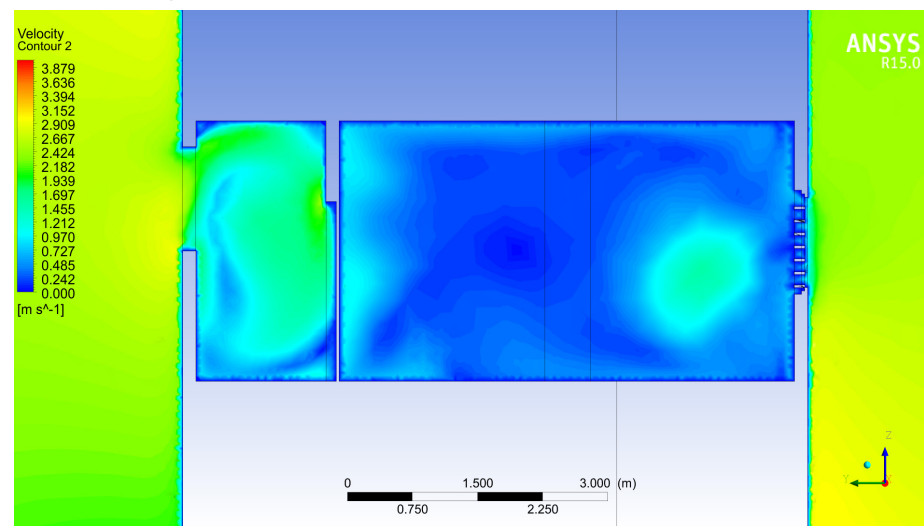
Fonte: Autor

Figura 126: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 127: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

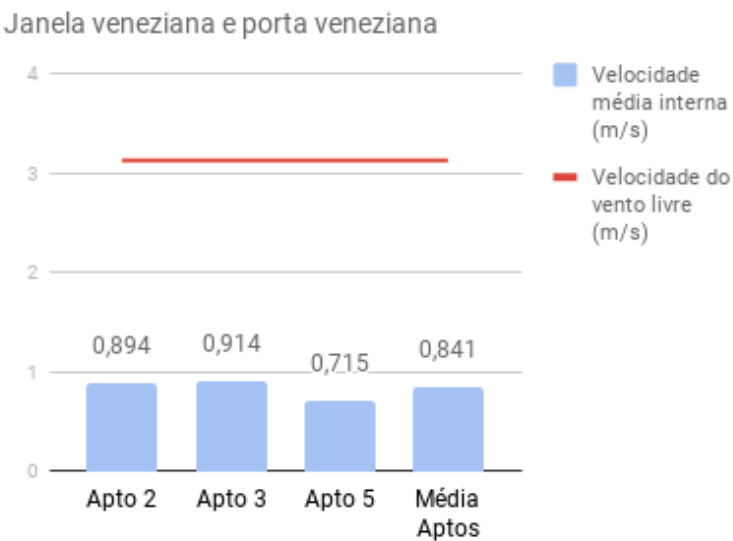
### 4.18 Janela veneziana e porta veneziana

Neste cenário a composição é feita por duas janelas venezianas e uma porta com veneziana. O gráfico demonstra uma constância nos valores de velocidade média no ambiente interno, seguindo a tendência dos cenários com porta veneziana apresentarem valores mais próximos entre os diferentes apartamentos.

Os valores apresentados neste cenário não são os mais altos se comparados com os outros casos de porta veneziana, no entanto, ainda são valores bem satisfatórios para uma ventilação confortável. Isto provavelmente se deve ao fato de que a abertura veneziana, mesmo apresentando um bom grau de abertura em relação à área da esquadria, ainda apresenta elementos que podem alterar o fluxo do vento.

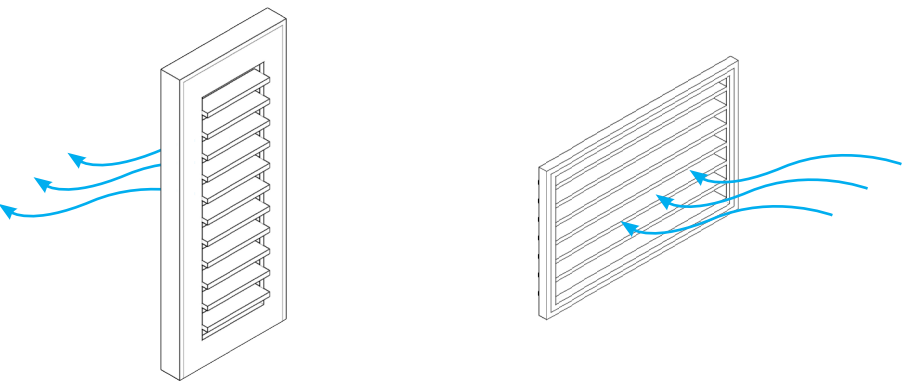
Dito isto, vale ressaltar que esse tipo de esquadria pode ser utilizado em conjunto com os outros tipos, criando janelas compostas de dois ou mais mecanismos de abertura e oferecendo o controle ao usuário de escolher o melhor para cada situação.

Figura 128: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



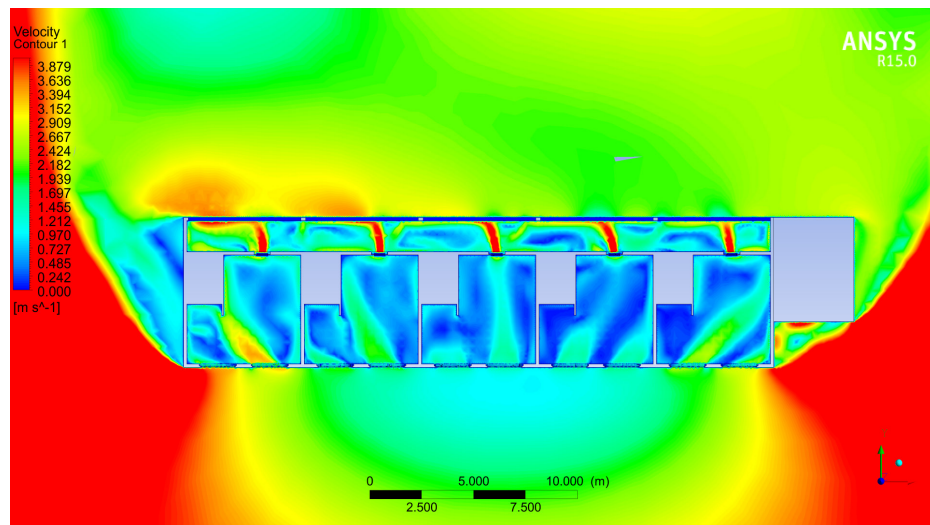
Fonte: Autor

Figura 129: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



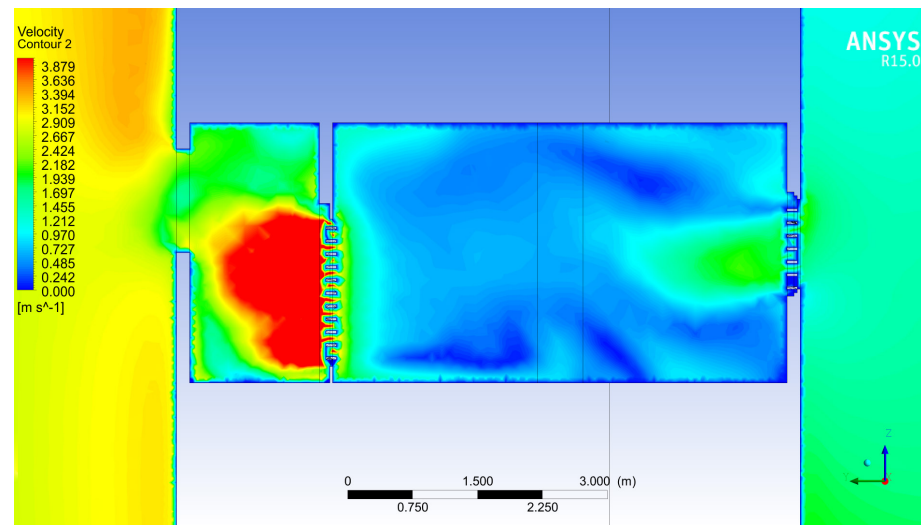
Fonte: Autor

Figura 130: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



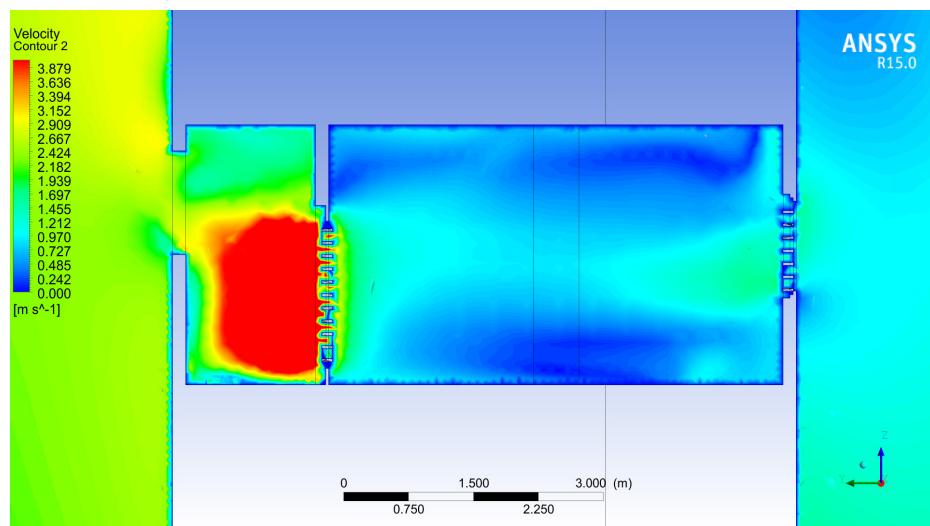
Fonte: Autor

Figura 131: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



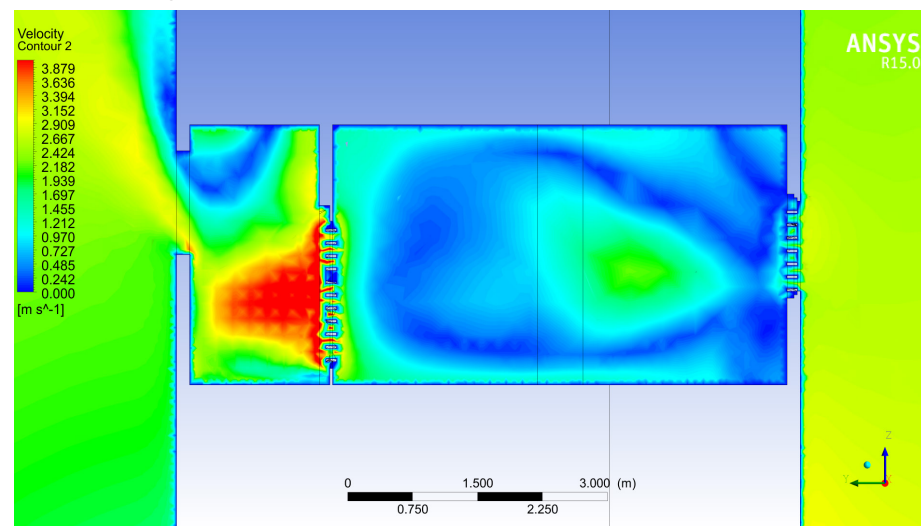
Fonte: Autor

Figura 132: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 133: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

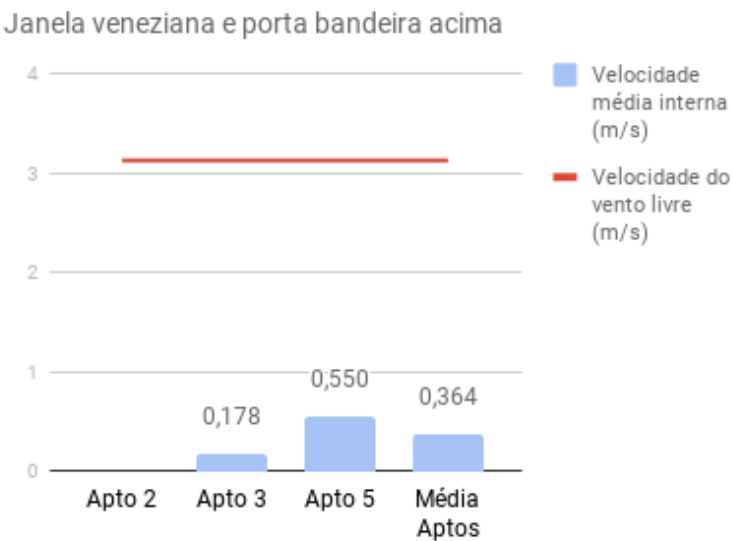
### 4.19 Janela veneziana e porta com bandeira acima

Este cenário é composto por duas janelas veneziana e uma porta com bandeira acima. Neste caso em particular, ocorreram alguns problemas na simulação, visto que as portas do Flat 02 e do Flat 04 não foram reconhecidas pelo programa, gerando uma abertura livre como se não houvesse nenhum tipo de esquadria no local. Dito isto, os resultados destes dois apartamentos foram desconsiderados e apenas os dados obtidos nos outros Flats foram levados em conta para esta análise.

Sendo assim, os valores são bem próximos aos obtidos nos outros cenários com porta simples com bandeira acima. Destaca-se, mais uma vez, a maior influência da abertura de saída em relação ao modelo de esquadria usada na entrada de vento.

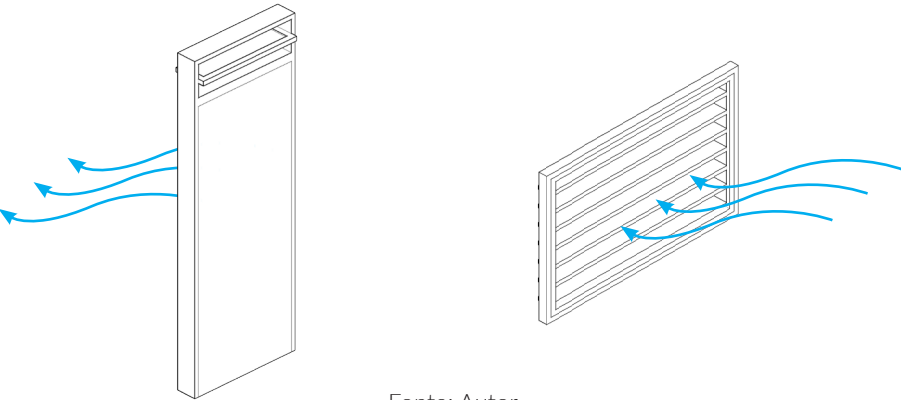
Nota-se grandes áreas de estagnação do ar no recinto, criando uma ventilação muito precária e pouco confortável com esta combinação de esquadrias.

Figura 134: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



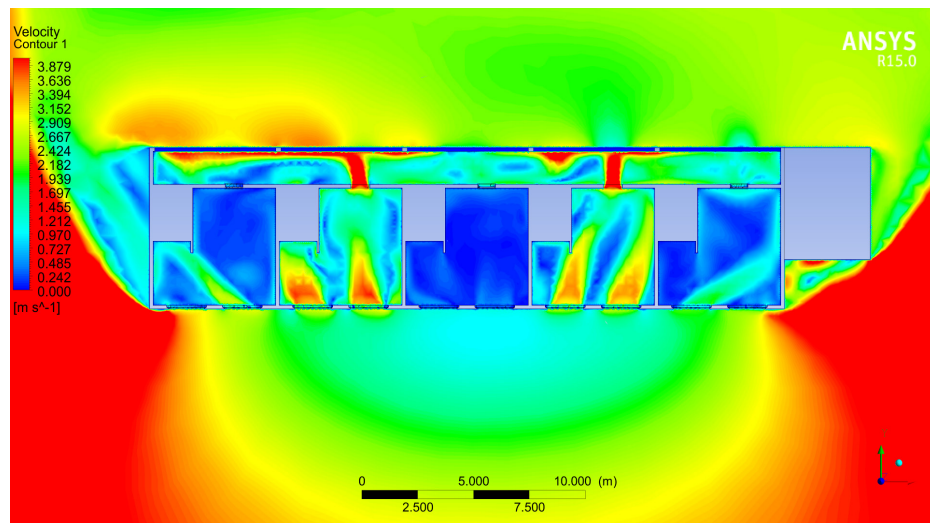
Fonte: Autor

Figura 135: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



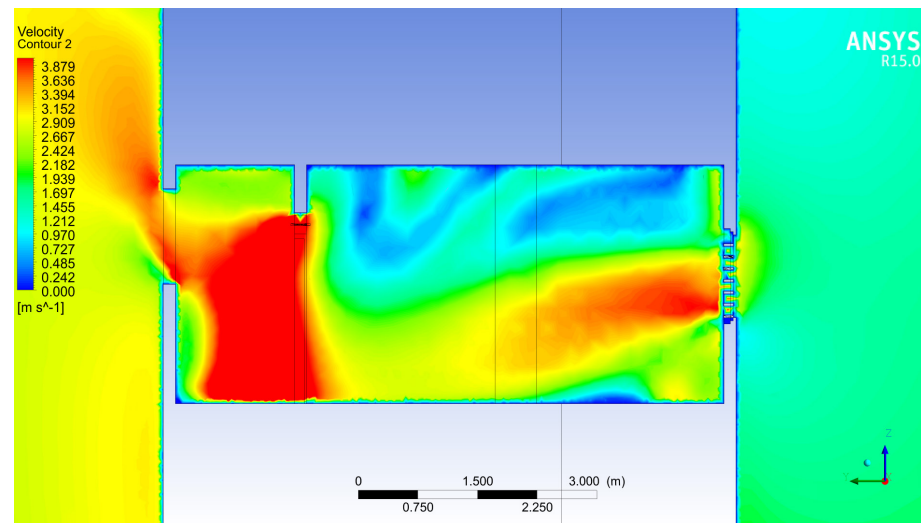
Fonte: Autor

Figura 136: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



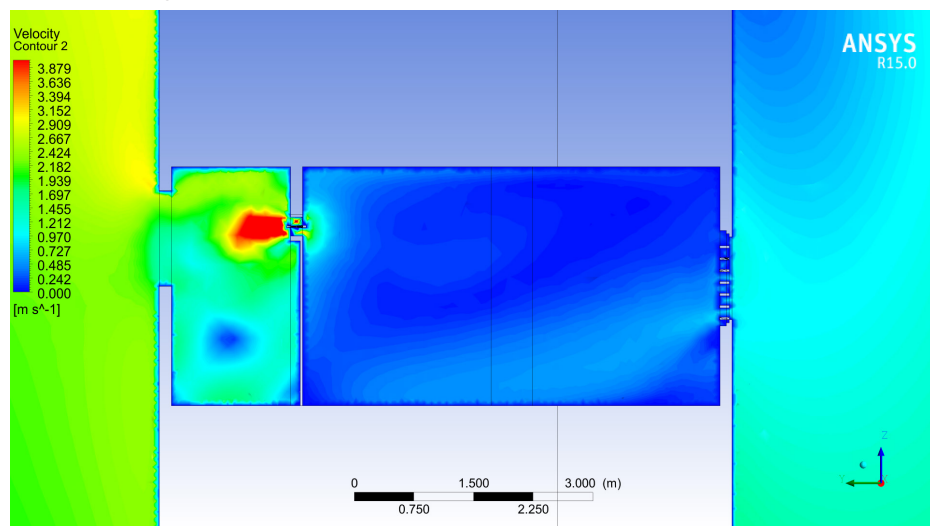
Fonte: Autor

Figura 137: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



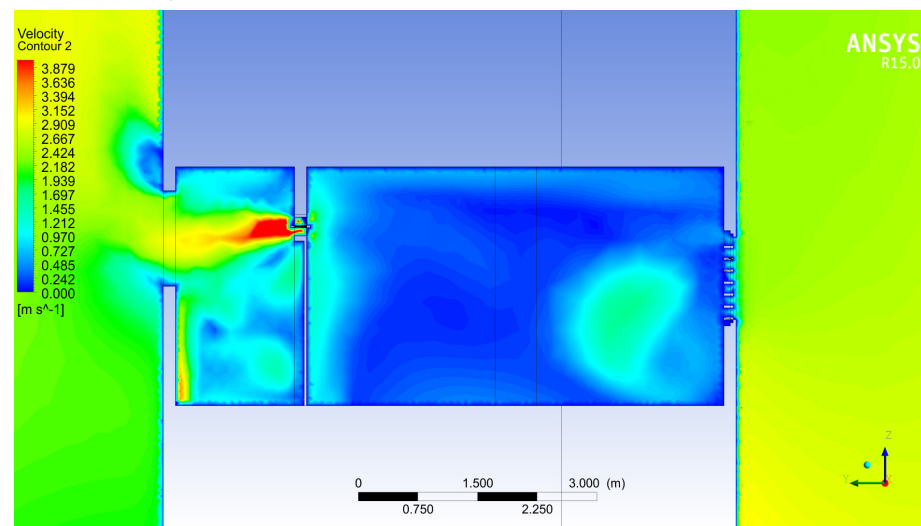
Fonte: Autor

Figura 138: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 139: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor



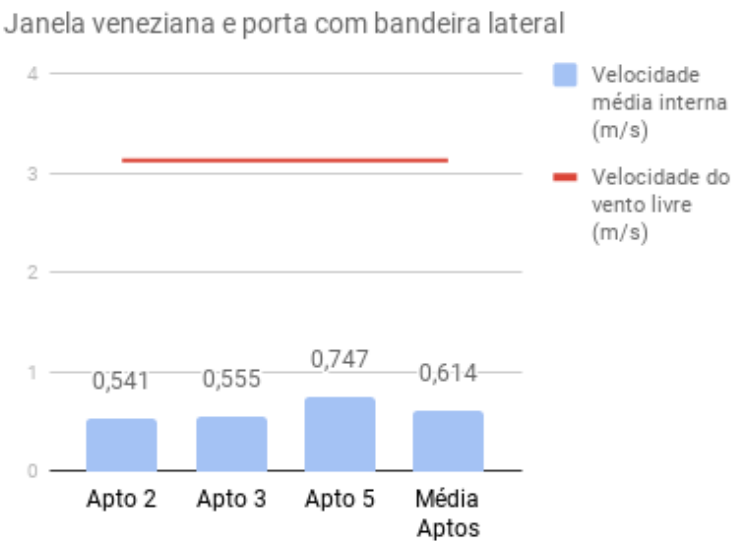
4. RESULTADOS

4.20 Janela veneziana e porta com bandeira lateral

Este cenário é composto por duas janelas em veneziana e uma porta com bandeira lateral. Em questão de valores de velocidade média do ambiente interno, este caso é particular, visto que o menor valor foi obtido no Flat 02, onde nos outros resultados esse valor se dava no Flat 03. O mesmo ainda apresenta um valor de velocidade média um pouco mais elevado que nos outros casos em que se utilizou a porta com bandeira lateral, talvez por influência das palhetas da veneziana no fluxo de vento.

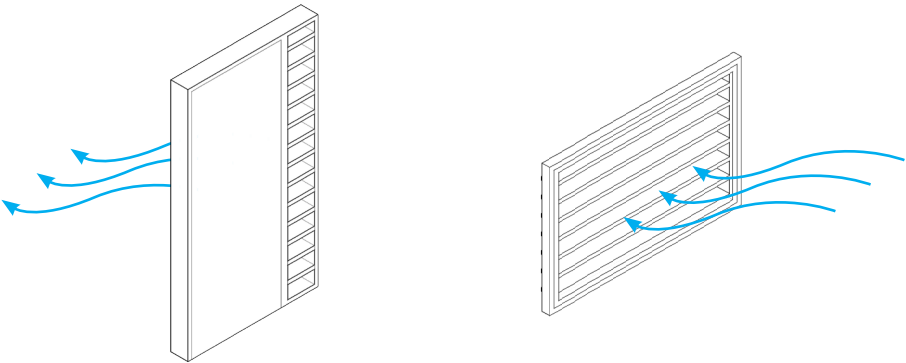
Nota-se a presença do efeito venturi nãs regiões próximas às aberturas, em destaque junto às venezianas. Além disso, é perceptível um fluxo mais direto entre as janelas e a bandeira lateral, demonstrando que o vento tende a ser retificado pelas venezianas, seguindo um fluxo mais retilíneo. Isso pode gerar áreas de alta velocidade de vento enquanto em outros pontos são gerados bolsões de ar estagnado.

Figura 140: Gráfico demonstrando a velocidade média do vento no ambiente interno de cada apartamento em relação à velocidade do vento livre no plano horizontal (15m)



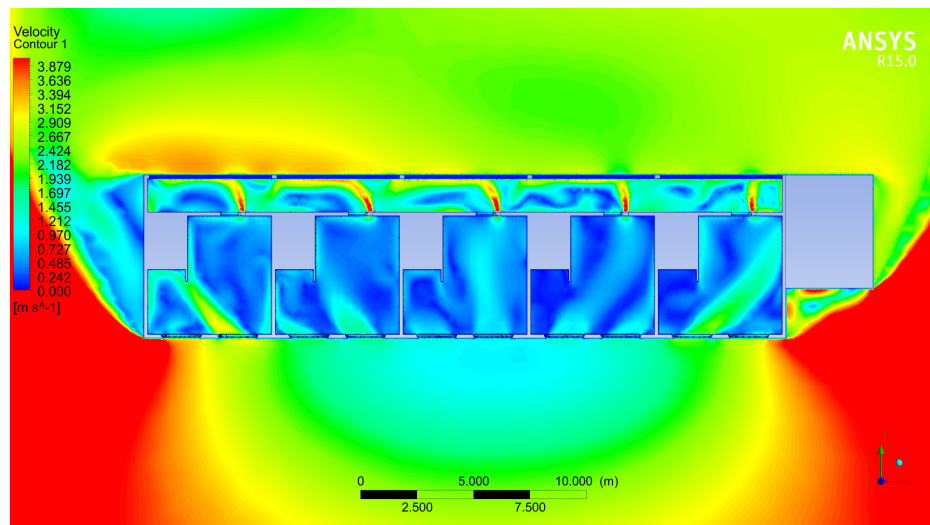
Fonte: Autor

Figura 141: Diagrama demonstrando as esquadrias utilizadas no cenário e suas respectivas funções como entrada e saída de vento



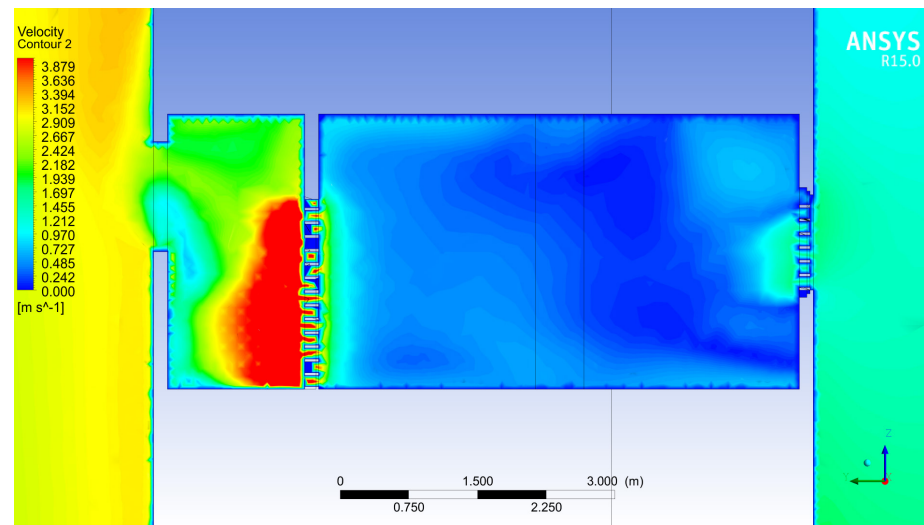
Fonte: Autor

Figura 142: Contornos cromáticos do vento em planta baixa



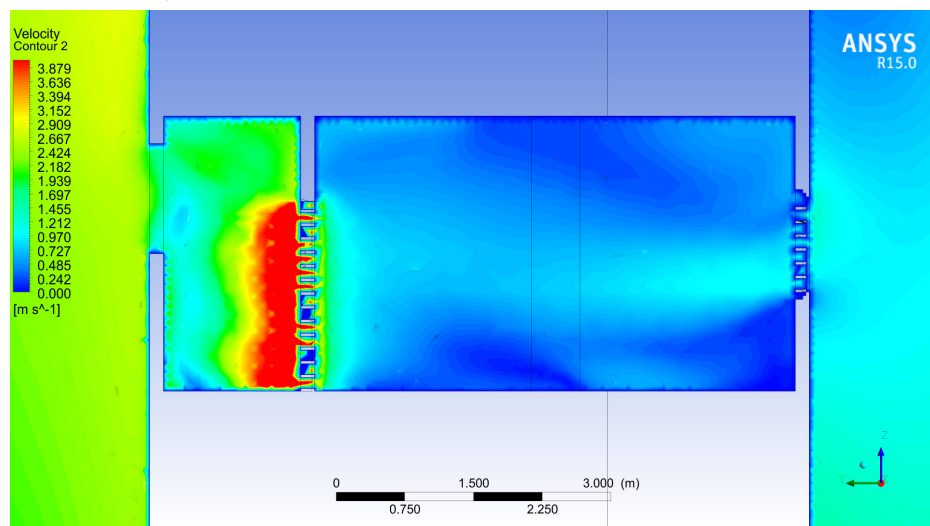
Fonte: Autor

Figura 143: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 02



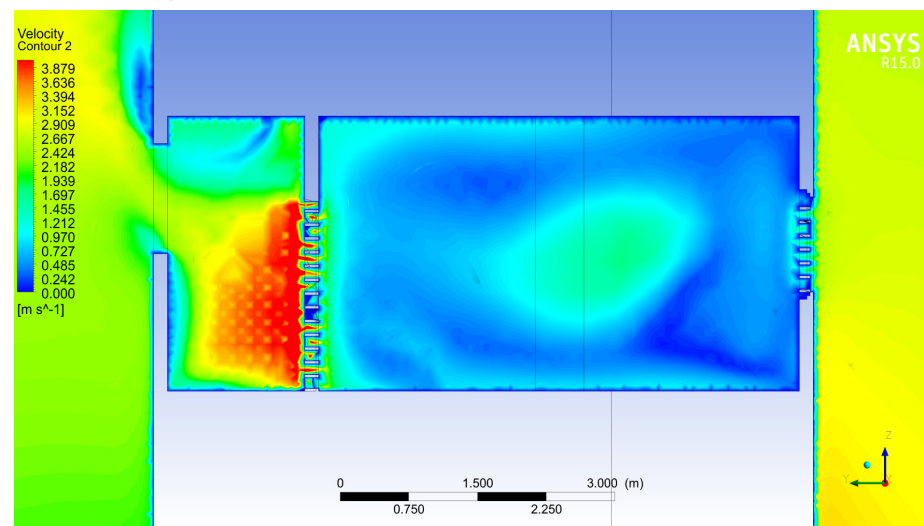
Fonte: Autor

Figura 144: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 03



Fonte: Autor

Figura 145: Contornos cromáticos do vento em corte no Flat 05



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS

### 4.21 Comparativo dos cenários

Conforme as análises dos cenários foram sendo executadas, percebeu-se um certo padrão em algumas das composições utilizadas. Sendo assim, buscou-se trazer um agrupamento comparativo a partir de um fator comum que permita relacionar os resultados entre si. Dito isto, notou-se uma maior influência das aberturas de saída em relação às aberturas de entrada.

Com isso em mente, foram agrupados os resultados fixando o tipo de esquadria de porta, gerando gráficos comparativos entre as esquadrias de janela e posteriormente uma comparação geral entre os resultados. Como dados, foram utilizados os valores de velocidade média no ambiente interno, trazendo a média dos ambientes e a maior velocidade média obtida naquele cenário. Ao final, foi elaborado um gráfico comparativo entre todos os cenários de modo que permita uma fácil visualização da diferença de ventilação entre as composições.

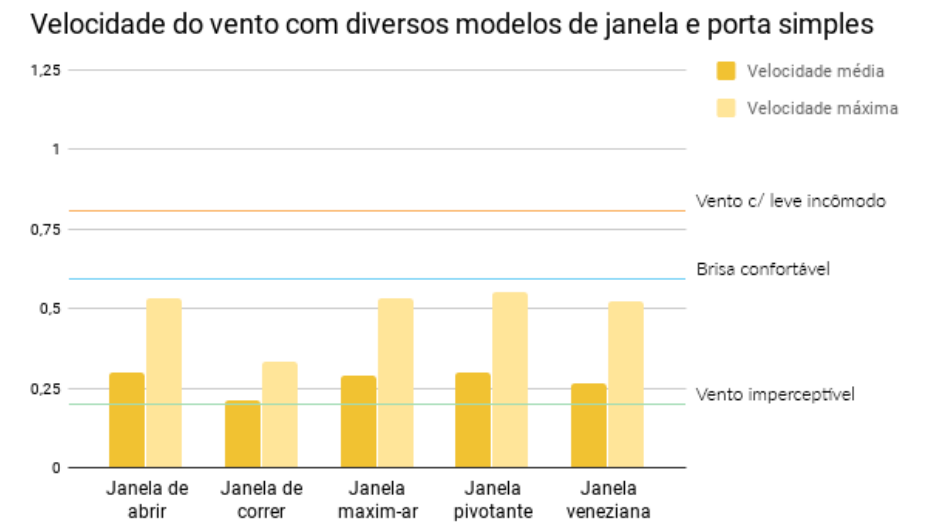
#### 4.21.1 Cenários com porta simples

Como podemos perceber pelo gráfico, a porta simples apresenta uma velocidade média relativamente constante, e uma velocidade máxima constante também, com exceção da janela de correr, que apresenta uma velocidade máxima bem menor do que as outras.

Apesar disso, as velocidades são muito baixas para se obter uma ventilação confortável no ambiente.

Percebe-se também a grande divergência entre a velocidade máxima e a velocidade média dos apartamentos. Isto significa que enquanto um dos Flats possui uma velocidade média de vento mais elevada, os outros apresentam velocidades muito baixas, quase nulas, demonstrando que esse tipo de combinação é bem prejudicial para a ventilação interna por não apresentar um cenário que permita a ventilação cruzada.

Figura 146: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janela e a porta simples



Fonte: Autor



#### 4.21.2 Cenários com porta veneziana

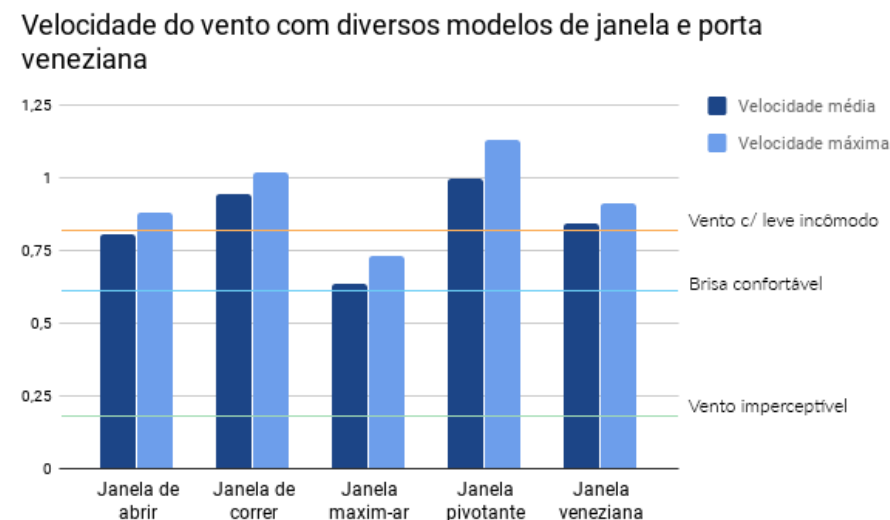
Neste caso são apresentados os maiores valores de velocidade média da ventilação interna obtidos neste estudo. Percebe-se que a implantação de uma porta com veneziana é altamente favorável à ventilação cruzada, gerando grandes aberturas de saída e proporcionando um diferencial de pressão que permite maiores velocidades do vento.

Nota-se que a velocidade média varia bastante entre as diversas combinações entre janelas e porta veneziana. Isso se deve ao fato de que a grande abertura de saída gerada pela porta veneziana permite que as esquadrias das janelas possuam uma maior influência no fluxo de ventilação interna.

Dito isto, a velocidade média dos apartamentos e a velocidade máxima obtida são bem próximas, demonstrando que não há grandes variações entre os diferentes tipos de incidência do vento, perpendicular e angulada.

Percebe-se que a esquadria maxim-ar é a que atinge os menores valores, enquanto a janela pivotante e a janela de correr atingem as maiores velocidades média, devido ao efeito venturi gerado nas esquadrias de correr e o efeito de captação do vento obtido nas esquadrias pivotantes.

Figura 147: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janela e a porta veneziana



Fonte: Autor

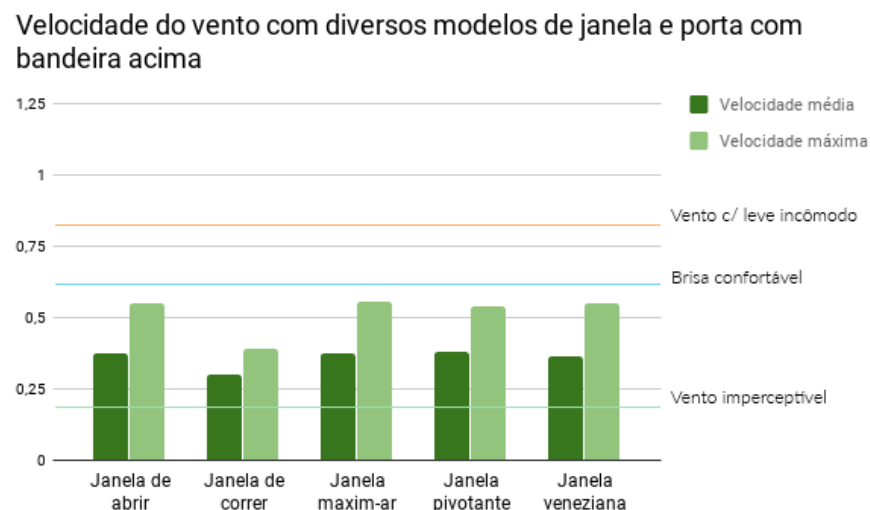
#### 4.21.3 Cenários com porta simples e bandeira acima

Percebe-se que este cenário apresenta resultados muito próximos aos das composições com a porta simples fechada. Isso se deve ao fato de que a abertura proporcionada pela bandeira acima é subdimensionada em relação às aberturas de entrada e a área do apartamento. Sendo assim, nota-se que a influência das esquadrias de janela neste cenário é muito baixa. Em relação à valores, os níveis de velocidade média interna ao ambiente são apenas levemente

## 4. RESULTADOS

maiores que os valores obtidos com a porta completamente fechada. Nota-se que neste caso os menores valores obtidos são os da janela de correr, enquanto os outros apresentam valores muito próximos entre si. Percebe-se também que o valor máximo é bem maior que o valor médio, ou seja, enquanto alguns apartamentos apresentam uma maior velocidade do vento médio, outros apresentam uma quase estagnação do ar no ambiente.

Figura 148: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janelas e porta com bandeira acima



Fonte: Autor

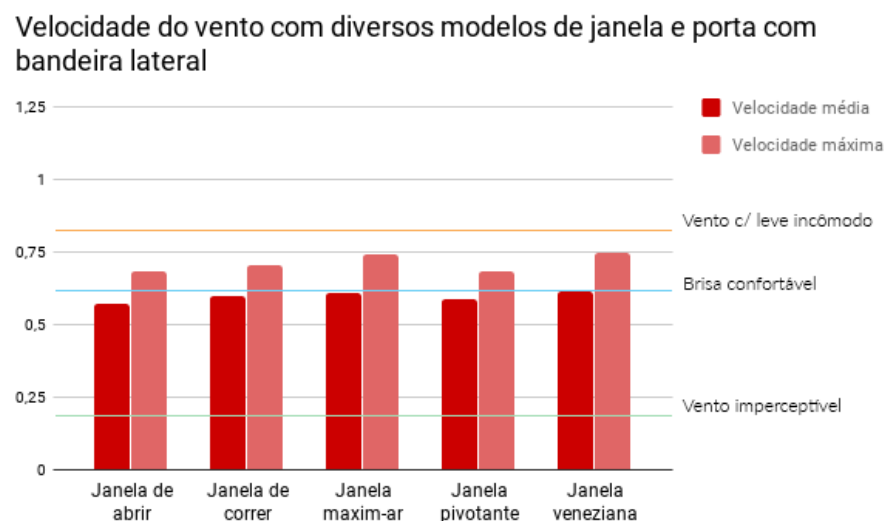
### 4.21.4 Cenários com porta simples com bandeira lateral

Esta é a combinação que apresenta as segundas maiores velocidades médias do vento, ficando atrás apenas dos cenários com porta veneziana. No entanto, esta é a combinação que apresenta os resultados com maiores valores e maior constância, possuindo uma média muito próximo entre os tipos de esquadrias de janelas. Pode se dar ao fato de que apesar de a bandeira lateral ter uma área bem mais considerável do que a bandeira acima, o seu dimensionamento seja levemente menor do que o necessário para aproveitar a velocidade provida pelas esquadrias de janelas.

Dito isto, nota-se que as velocidades máximas são também muito próximas às velocidades médias, demonstrando uma eficiência das combinações independentemente da posição do apartamento no edifício.

Vale ressaltar que a bandeira lateral se torna uma opção favorável à tipologia empregada, o Flat, visto que ela proporciona um modelo de esquadria que gera um bom fluxo de ventilação juntamente com a possibilidade de manter a privacidade do ambiente, através do fechamento da porta em si e a angulação das palhetas da veneziana, impedindo a visão de fora para dentro do apartamento.

Figura 149: Gráfico com a velocidade do vento relacionando os modelos de janelas e porta com bandeira lateral



Fonte: Autor

#### 4.21.5 Comparativo geral dos cenários

Este gráfico funciona como uma compilação dos dados obtidos, gerando um modelo gráfico simplificado de comparação entre os cenários estudados neste trabalho.

Com isto, pode-se notar claramente que a porta simples fechada é de fato a que providencia o menor grau de ventilação, com detalhe especial para a janela de correr, que gerou o menor valor do estudo. Mais uma vez, esse fato é fortemente atribuído à falta de uma

abertura de saída para o fluxo de ar, impossibilitando a ventilação cruzada no ambiente.

Logo em seguida, estão os cenários com a bandeira acima da porta. Percebe-se que os valores são proporcionais aos obtidos nos cenários com a porta simples fechada, sendo estes levemente acrescidos. Pode-se considerar que a insuficiência de área da abertura acima da porta é altamente prejudicial à ventilação cruzada do ambiente, gerando áreas de estagnação e um ganho muito baixo de velocidade em relação à porta completamente fechada, tornando-se uma opção pouco aconselhável para este modelo de ventilação interna do ambiente.

Adentra-se então aos resultados obtidos com a utilização da bandeira lateral, sendo estes os segundo maiores valores do trabalho, demonstrando a eficiência deste tipo de esquadria como abertura de saída. Percebe-se também a grande homogeneidade dos resultados independentemente a janela utilizada, fazendo com que esta esquadria possa ser aplicada sem muitas preocupações com a angulação do vento incidente, ou seja, ela se adapta bem ao posicionamento do ambiente e permite que o fluxo de vento seja influenciado em sua maior parte pelas esquadrias das janelas. Além disso, ela possui características importantes relacionando permeabilidade do vento e privacidade, como explicado anteriormente.

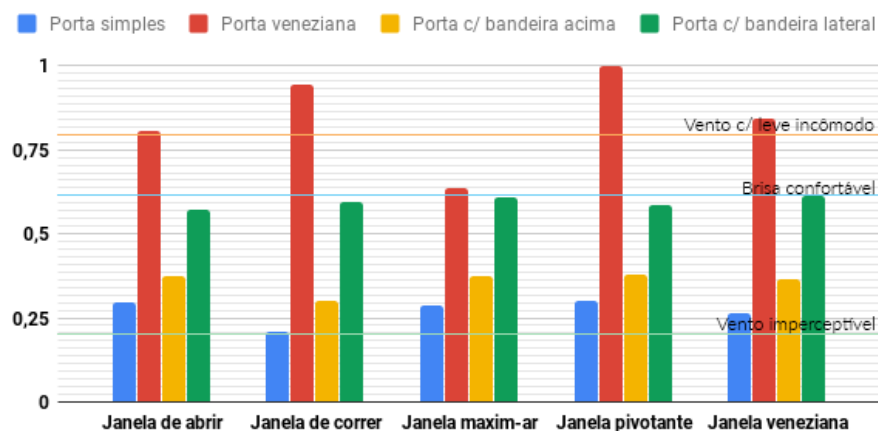
O último caso é o de cenários com porta veneziana, onde foram obtidos os melhores resultados em relação à velocidade do vento.

## 4. RESULTADOS

A porta veneziana é, sem dúvidas, a melhor opção em relação à ventilação cruzada. Ela gera uma grande área de permeabilidade ao vento em um espaço que na maioria das vezes segue utilizado, a folha da porta, sem a necessidade de acréscimos de espaço laterais ou acima da mesma. Nota-se que com este tipo de esquadria ocorre uma grande variação nas velocidades obtidas de acordo com cada esquadria de janela utilizadas. Isto deve-se ao fato de que as dimensões da abertura de saída são suficientes para aproveitar ao máximo o potencial destas esquadrias, obtendo ótimos valores de velocidade média do vento, inclusive com a esquadria maxim-ar, que apresenta a menor área livre de abertura deste estudo.

Figura 150: Gráfico comparativo entre as médias da velocidade do vento interno nos diferentes cenários estudados

### Comparativo entre as velocidades médias do vento interno do ambiente, separadas por tipo de porta e janelas utilizadas



Fonte: Autor



# 5. CONCLUSÕES

Sínteses, considerações e fechamento

O trabalho trouxe como objetivo geral a compreensão da eficácia de cada tipo de esquadria escolhido em relação à sua permeabilidade ao vento, demonstrando o modo em que as mesmas influenciam no fluxo de ar e os efeitos que as mesmas podem causar na ventilação do ambiente interno. Este objetivo foi proposto com o intuito de prover um maior embasamento para a escolha dos modelos de esquadrias utilizados no projeto arquitetônico, buscando trazer dados concretos que possibilitem isto.

Utilizando o método da Fluidodinâmica Computacional, mais especificamente, a ferramenta ANSYS CFX, foram realizadas simulações dos diferentes cenários propostos, combinando entre si os cinco modelos de janelas e quatro modelos de portas escolhidos para o estudo.

Sendo assim, considera-se que o estudo atingiu o objetivo esperado gerando dados importantes a respeito da temática proposta. Pôde-se compreender os principais efeitos causados pelos diferentes tipos de esquadrias utilizados, assim como as melhores combinações dentre os modelos escolhidos. Outro fator importante que foi determinado neste estudo faz referência ao potencial de ventilação provido por cada esquadria, diretamente ligado às dimensões e posicionamento das aberturas, principalmente as aberturas de saída, como percebido nos resultados. Dito isto, podemos elaborar algumas conclusões mais detalhadas.

### **Efeitos dos tipos de esquadria no fluxo de vento**

Nota-se que alguns modelos de esquadria utilizados apresentaram alguns efeitos característicos no fluxo de vento interno do ambiente. Para a percepção destes efeitos, considerou-se os casos em que as aberturas de saída eram suficientemente grandes para gerar um fluxo de ar perceptível.

Devido à sua abertura completa, a janela de abrir permitiu uma ventilação mais homogênea do espaço, obtendo-se poucos pontos de estagnação do vento e uma velocidade não tão alta mas constante. Com uma abertura de 50% em apenas um dos lados, a janela de correr criou um fluxo de ar focado na trajetória entre as janelas e as portas, apresentando uma velocidade alta neste ponto, mas também, apresenta algumas áreas mais estagnadas fora deste fluxo de ar.

A janela maxim-ar é o modelo com a ventilação mais característica deste estudo. Devido ao posicionamento da sua abertura e a angulação da folha, a maxim-ar projeta o vento para o forro do apartamento, fazendo com que neste ponto as velocidades do vento sejam elevadas, no entanto, ao nível do plano de respiração (1,5m) as velocidades são baixas, sem muito efeito como ventilação de conforto. Aparecendo como o modelo com os maiores valores de velocidade, a janela pivotante demonstrou um comportamento interessante no estudo, visto que a projeção de suas folhas para fora do edifício funcionaram como um elemento de captação do vento, ajudando a

## 5. CONCLUSÕES

---

direcioná-lo para dentro do ambiente, gerando altas velocidades do fluxo de vento. No entanto, deve-se lembrar que esta característica pode causar alguns pontos de estagnação devido à este direcionamento do vento.

O último modelo de janelas é a veneziana, que demonstrou uma característica de aceleração do vento próximo à esquadria através do efeito venturi. Além disso, por apresentar um conjunto de aberturas, a veneziana acabou por ordenar e direcionar esse vento, criando um fluxo direto para as aberturas de saída.

Enquanto isso, as esquadrias das portas simples e porta com bandeira acima se mostraram bastante ineficazes na ventilação do ambiente, visto que a porta simples não gera nenhum tipo de abertura e a porta com bandeira acima criou uma abertura subdimensionada, alterando piamente o fluxo em relação à porta simples.

Já com a porta veneziana e a porta com bandeira lateral, as aberturas geradas são consideravelmente maiores e proporcionam o diferencial de pressão necessário para uma boa ventilação cruzada. A maior diferença entre as duas é em questão de comprimento, onde a bandeira lateral por ser mais esguia apresenta uma certa canalização do vento para a mesma, gerando um fluxo mais definido e alguns pontos maiores de estagnação em comparação com a porta com veneziana.

### **Dimensionamento das aberturas**

Um dos principais aspectos que o estudo demonstrou foi a influência do tamanho das aberturas proporcionadas pelos diferentes tipos de esquadria. Como explicado no tópico sobre esquadrias do Capítulo 2, os códigos de obras geralmente levam em conta apenas a área da abertura, no entanto, cada esquadria possui uma área efetiva de abertura, gerando diferentes potenciais de ventilação.

No caso deste estudo, notou-se que essa problemática é ainda mais importante nas aberturas de saída, que muitas vezes são ignoradas ou subdimensionadas. Isto faz com que o tipo de esquadria utilizado nas janelas tenha pouca importância na ventilação do ambiente, ou seja, é fundamental que se combine a escolha das esquadrias que estarão localizadas nas aberturas de entrada com as esquadrias das aberturas de saída, aproveitando o potencial das mesmas.

Por fim, destaca-se que dentre os modelos estudados, os melhores resultados foram obtidos com a utilização das duas esquadrias de portas que apresentam veneziana, a porta com veneziana na folha e a porta com bandeira lateral. Isto comprova a sua eficácia como um elemento a ser incorporado na tipologia de Flat escolhida neste estudo, demonstrando a viabilidade de se ter elementos que permitam a ventilação natural do ambiente e ao mesmo tempo a privacidade dos usuários do apartamento.





## 6. REFERÊNCIAS

Fontes, origem e bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico em edificações. Rio de Janeiro, 2003.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. Introdução à ventilação natural. Maceió: EDUFAL, 2005.

CÂNDIDO, C. Ventilação natural e códigos de obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió/AL. Dissertação (Mestrado - Dinâmicas do espaço habitado), UFAL, Maceió, 2006.

CUNHA, E. G.; PINHEIRO, A. B.; NEGRI, L.; TURELLA, T.; MARCHIORI, T. Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência nas edificações. Porto Alegre: Masquatro, 2006.

FERNANDES, Victor Souza; MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa. Estudo comparativo entre duas ferramentas de simulação computacional de ventilação natural. III Congresso Latino Americano de Engenharia do Vento, São Paulo: IPT - USP, 2018).

Flat 35m2 / Studio Bazi. ArchDaily Brasil. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/869120/flat-35m2-studio-bazi>> Acessado 13 Set 2019.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. 6 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

LEITE, Carolina Gaspar. Alterações da ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da avenida litorânea em São Luis /MA. Dissertação (Mestrado) Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), FAUUSP. São Paulo, 2008.

LEITE, Renan Cid Varela. Cidade, vento, energia: limites da aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), FAUUSP. São Paulo, 2015

LEITE, Renan Cid Varela. Fortaleza: terra do vento. A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de

Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2010.

MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa. Ventilação natural em edifícios multifamiliares do programa “Minha Casa Minha Vida”. Tese (doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2013.

OLIVEIRA, Andréia C. ; LEDER, Solange M. . Traçando o Perfil Climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos. Cadernos do PROARQ (UFRJ), v. 20, p. 137-165, 2013.

PRATA, A. R. Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

RIBEIRO, Nair Nayara Enéas. Simulação computacional da ventilação natural em meio urbano: uma aplicação em conjunto vertical do PMCMV. Monografia (Graduação), Universidade Federal de Campina Grande, Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Campina Grande, 2017.

SALES, Gustavo de Luna. Diagrama de ventilação natural: ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto. Tese (doutorado – Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília, Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2016.

SANTAMOURIS, M; WOUTERS, P. Building ventilation: the state of the art. James and James, 2006.

TOLEDO, Alexandre Márcio. Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió/AL. Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

TOLEDO, Alexandre Márcio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttakay. O potencial da mesa d'água para visualização analógica da ventilação natural em edifícios. Curitiba: ENTAC, 2003.