



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

LUCAS RIBEIRO ROZZOLINE MUNIZ

TORRES DE VENTO COMO ESTRATÉGIA DE DESEMPENHO TÉRMICO NA
VENTILAÇÃO NATURAL DE HABITAÇÕES EM LOTES MÍNIMOS DO PLANALTO
PICI, EM FORTALEZA

FORTALEZA

2019

LUCAS RIBEIRO ROZZOLINE MUNIZ

TORRES DE VENTO COMO ESTRATÉGIA DE DESEMPENHO TÉRMICO NA
VENTILAÇÃO NATURAL DE HABITAÇÕES EM LOTES MÍNIMOS DO PLANALTO
PICI, EM FORTALEZA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e meio ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Maia Sobral.
Co-Orientador: Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R796t Rozzoline Muniz, Lucas Ribeiro.

Torres de vento como estratégia de desempenho térmico na ventilação natural de habitações em lotes mínimos do Planalto Pici, em Fortaleza / Lucas Ribeiro Rozzoline Muniz. – 2019.

91 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Fábio Maia Sobral.

Coorientação: Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite.

1. Torres de vento. 2. Ventilação natural. 3. Desempenho térmico. 4. Simulação computacional. I. Título.

LUCAS RIBEIRO ROZZOLINE MUNIZ

TORRES DE VENTO COMO ESTRATÉGIA DE DESEMPENHO TÉRMICO NA
VENTILAÇÃO NATURAL DE HABITAÇÕES EM LOTES MÍNIMOS DO PLANALTO
PICI, EM FORTALEZA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e meio ambiente.

Aprovada em: 29 / 11 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Maia Sobral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr. Maria Elisa Zanella
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva
Instituto federal do Ceará (IFCE)

Ao povo do meu país, Zona Bioclimática
08, que sua beleza e saber viver possam
se perpetuar no tempo e espaço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de realização do mestrado, e à Funcap e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador, Fábio Sobral, pelo universo que me mostrou da economia ecológica, variáveis não-econômicas, o bem viver e o entendimento do sul global.

Ao meu co-orientador, Renan Cid, pelas reuniões sucintas e esclarecedoras e suas intervenções cirúrgicas e cortes precisos, sempre transbordando de simpatia e curiosidade.

Aos meus pais, Gilberto e Dinorá, que me incentivaram e apoiaram durante todo esse período.

À Mayra Mororó, por me ter ajudado e fornecido os dados de sua pesquisa relativos às unidades habitacionais do Planalto Pici.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem fazer parte dela e pelas contribuições para melhorar a qualidade deste trabalho.

A mim, por toda a dedicação e aprendizado obtido na elaboração do presente trabalho, por toda a evolução e crescimento acadêmico, pessoal e profissional durante o curso de mestrado.

A todos os amigos e companheira que me apoiaram e contribuíram de alguma forma e compartilhando momentos: Lana Cordeiro, Bruno Raviolo, Camila Oliveira, Carlos Piffero, Cecília Barreto, Janaína Lopes, Kamilla Rangel, Lucy Donegan, Luiza Teixeira, Marcelo Capasso e Mayara de Paula.

RESUMO

Esta pesquisa objetiva identificar e classificar estratégias arquitetônicas que favoreçam a ventilação natural a partir da análise comparativa de habitações estreitas no Planalto Pici, em Fortaleza. Projetos arquitetônicos que busquem a ventilação natural são particularmente importantes em habitações populares, especialmente em áreas urbanas adensadas. Em Fortaleza é comum que as construções populares não apresentem estratégias bioclimáticas eficazes pois existem fatores sociais básicos de maior peso na definição das necessidades espaciais: tamanho da família, recursos econômicos limitados e pouco conhecimento sobre as opções técnicas adequadas à realidade socioambiental. As normas técnicas sobre o desempenho térmico das edificações, como a NBR 15.220-3 e a NBR 15.575, reafirmam a urgência desse assunto. Este trabalho analisa a solução arquitetônica da torre de vento avaliando, por meio de simulações de computador, a influência da ventilação natural (fenômeno convectivo das massas de ar) no desempenho térmico das edificações. O resultado das simulações permite, após comparações quali-quantitativas, identificar alternativas para um melhor desempenho energético, de conforto e de salubridade para habitações da população de baixa renda que não recebe acompanhamento técnico da Prefeitura de Fortaleza. Este trabalho aproxima os processos sociais, econômicos e a lógica ecológica.

Palavras-chave: torre de vento; ventilação natural; desempenho térmico; simulação computacional.

ABSTRACT

This research aims to identify and classify architectural strategies that favor natural ventilation based on a comparative analysis of narrow dwellings on the Pici Plateau, in Fortaleza. Architectural projects that seek natural ventilation are particularly important in popular housing, especially in dense urban areas. In Fortaleza, it is common for popular buildings to not present effective bioclimatic strategies as there are basic social factors that are more important in defining spatial needs: family size, limited economic resources and little knowledge about the technical options appropriate to the socio-environmental reality. Technical standards on the thermal performance of buildings, such as NBR 15.220-3 and NBR 15.575, reaffirm the urgency of this issue. This work analyzes the architectural solution of the wind tower by evaluating, through computer simulations, the influence of natural ventilation (convective phenomenon of air masses) on the thermal performance of buildings. The result of the simulations allows, after qualitative and quantitative comparisons, to identify alternatives for better energy, comfort and health performance for homes for the low-income population that do not receive technical support from the City of Fortaleza. This work brings together social, economic processes and ecological logic.

Keywords: wind tower; natural ventilation; thermal performance; computational simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de volume edificado	17
Figura 2 - Índice esquemático do bioclima	25
Figura 3 - Zoneamento bioclimático do Brasil	27
Figura 4 - Gráfico da variação da temperatura de Fortaleza	28
Figura 5 - Temperatura média anual (1966 - 2015)	29
Figura 6 - Umidade Relativa anual (1966 - 2015)	29
Figura 7 - Indicações para aberturas conforme a NBR 15220-3	32
Figura 8 - Indicações para as vedações externas conforme a NBR 15220-3	33
Figura 9 - Esquemas de ventilação natural e mecânica destacados	34
Figura 10 - Simulação de ventilação	35
Figura 11 - Simulação de ventilação	36
Figura 12 - Imagens da casa em Olho d'Água do Casado, AL	36
Figura 13 - Corte de casa com pátio para iluminação e ventilação	37
Figura 14 - Escola primária em Gando	38
Figura 15 - Ventilação por ação dos ventos e por efeito chaminé	40
Figura 16 - Esquemas tridimensionais de torres de vento	41
Figura 17 - Área de estudo e local de estudo	45
Figura 18 - Casas de porta e janela em Fortaleza, Ceará	47
Figura 19 - Planta residencial da segunda metade do século XX	47
Figura 20 - Exemplos de plantas baixas das unidades	49
Figura 21 - Torre de vento padrão	50
Figura 22 - Modelo de domínio para simulação CFD de perímetro urbano	52
Figura 23 - Modelo de habitação com torre de vento aplicada	53
Figura 24 - Resultados das simulações da velocidade do vento dentro dos quartos das unidades habitacionais	57
Figura 25 - Unidade Habitacional 01 - planta sem torre	58
Figura 26 - Unidade Habitacional 01 - planta com torre	59

Figura 27 - Unidade Habitacional 01 - corte sem torre	60
Figura 28 - Unidade Habitacional 01 - corte com torre	60
Figura 29 - Unidade Habitacional 02 - planta sem torre	61
Figura 30 - Unidade Habitacional 02 - planta com torre	62
Figura 31 - Unidade Habitacional 02 - corte sem torre	63
Figura 32 - Unidade Habitacional 02 - corte com torre	63
Figura 33 - Unidade Habitacional 03 - planta sem torre	64
Figura 34 - Unidade Habitacional 03 - planta com torre	65
Figura 35 - Unidade Habitacional 03 - corte sem torre	65
Figura 36 - Unidade Habitacional 03 - corte com torre	66
Figura 37 - Unidade Habitacional 04 - planta sem torre	67
Figura 38 - Unidade Habitacional 04 - planta com torre	67
Figura 39 - Unidade Habitacional 04 - corte sem torre	68
Figura 40 - Unidade Habitacional 04 - corte com torre.	68
Figura 41 - Unidade Habitacional 05 - planta sem torre	69
Figura 42 - Unidade Habitacional 05 - planta com torre	70
Figura 43 - Unidade Habitacional 05 - corte sem torre	70
Figura 44 - Unidade Habitacional 05 - corte com torre	71
Figura 45 - Unidade Habitacional 06 - planta sem torre	72
Figura 46 - Unidade Habitacional 06 - planta com torre	72
Figura 47 - Unidade Habitacional 06 - corte sem torre	73
Figura 48 - Unidade Habitacional 06 - corte com torre	73
Figura 49 - Unidade Habitacional 07 - planta sem torre	74
Figura 50 - Unidade Habitacional 07 - planta com torre	74
Figura 51 - Unidade Habitacional 07 - corte sem torre	75
Figura 52 - Unidade Habitacional 07 - planta sem torre	75
Figura 53 - Unidade Habitacional 08 - planta sem torre	76
Figura 54 - Unidade Habitacional 08 - planta com torre	77
Figura 55 - Unidade Habitacional 08 - corte sem torre	77

Figura 56 - Unidade Habitacional 08 - corte sem torre	78
Figura 57 - Unidade Habitacional 09 - planta sem torre	79
Figura 58 - Unidade Habitacional 09 - planta com torre	80
Figura 59 - Unidade Habitacional 09 - corte sem torre	80
Figura 60 - Unidade Habitacional 09 - corte com torre	81
Figura 61 - Unidade Habitacional 10 - planta sem torre	82
Figura 62 - Unidade Habitacional 10 - planta com torre	83
Figura 63 - Unidade Habitacional 10 - corte sem torre	83
Figura 64 - Unidade Habitacional 10 - corte com torre	84

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Emulação do gradiente de vento a partir da rugosidade da cidade	51
Equação 2 - Trocas de ar por hora	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de seleção	48
Tabela 2 - Características dimensionais dos exemplares arquitetônicos	50
Tabela 3 - Coeficientes de rugosidade segundo as características do terreno	53
Tabela 4 - Resultados das simulações da velocidade do vento dentro dos quartos das unidades habitacionais	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
CFD	Computacional Fluid Dynamics
INMET	Instituto de Meteorologia
km ²	Quilômetros quadrados
LABEEE	Laboratório de Edificações Energeticamente Eficientes
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MMA	Ministério do Meio Ambiente
m	Metros
m ²	Metros quadrados
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetros
NBR	Norma Brasileira
OIT	Organização Internacional do Trabalho
Pa	Pascal
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROJETEEE	Projeto de Edificações Energeticamente Eficientes
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
%	Por cento, percentual
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Pergunta de pesquisa	18
1.4	Objetivos	18
2	TEORIA DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	19
2.1	Desenvolvimento sustentável	19
2.2	Os impactos ambientais do ambiente construído.....	21
2.3	Bioclimatismo	22
2.4	Zoneamento Climático	26
2.5	Diretrizes para o trópico quente e úmido	30
2.6	Alguns exemplos arquitetônicos	34
2.7	Ventilação Natural	39
2.8	Os limites da climatização natural	42
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E CONTEXTUALIZAÇÃO	44
3.1	Caracterização da área de estudo e do contexto urbano	45
3.2	Caracterização do local de estudo e unidades habitacionais	46
3.3	Simulações computacionais	51
4	RESULTADOS	55
4.1	Unidade Habitacional 01	57
4.2	Unidade Habitacional 02	61
4.3	Unidade Habitacional 03	64
4.4	Unidade Habitacional 04	66
4.5	Unidade Habitacional 05	69
4.6	Unidade Habitacional 06	71
4.7	Unidade Habitacional 07	74
4.8	Unidade Habitacional 08	76
4.9	Unidade Habitacional 09	78
4.10	Unidade Habitacional 10	81
5	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

Faz cem anos, uma geração de avanços conceituais e tecnologias complementares desencadearam um big bang arquitetônico. Ao fazer aleatória a circulação, ao encurtar as distâncias, ao fazer artificiais os espaços interiores, ao reduzir a massa, ampliar as dimensões e acelerar as construções, o elevador, a eletricidade, o ar condicionado, o aço e, por último, as novas infraestruturas formaram um conjunto de mutações que provocou uma arquitetura de outra espécie. (KOOLHAAS, 2014, p. 23)¹.

A epígrafe acima descreve avanços tecnológicos dos últimos cem anos. Na interpretação de Koolhaas (2014), a arquitetura perdeu um pouco de sua autonomia, seja social, econômica ou ambiental, visto que as construções passaram a depender de processos tecnológicos e produtivos cada vez mais complexos e heterônomos, fazendo parte até de cadeias produtivas de complexidade internacional. O saber construir hegemônico atual prioriza processos danosos e de alto custo ambiental.

A primeira fase do capitalismo industrial foi marcada pelas máquinas a vapor movidas a lenha e logo depois o carvão coque, que passou a ser o combustível mais importante da siderurgia. Em sua segunda fase, no final do século XIX, inicia-se a demanda da eletricidade e petróleo devido a uma grande quantidade de novas demandas para os transportes, comunicações, instalações domésticas e industriais (como aquecimento e iluminação). A exploração do meio ambiente aumentou cada vez mais graças às novas possibilidades permitidas pela mecanização da produção em escala.

A história social e ambiental do capitalismo, da qual fazemos parte, tem sido uma história da intensificação da produção e do uso da energia (...) Eletricidade e combustíveis deixam de ser apenas novas formas de energia, e são cada vez mais mercadorias energéticas valiosas, estratégicas, elementos relevantes dos ciclos econômicos, da realização de lucros e da acumulação de capital. (SEVÁ FILHO et al, 1995, p. 349).

Até a Segunda Revolução Industrial eram produzidas arquiteturas que permitiam uma melhor convivência ecológica. Essas construções representam uma

¹ Do original em espanhol: "Hace cien años, una generación de adelantos conceptuales y tecnologías de apoyo desencadenaron un big bang arquitectónico. Al hacer aleatoria la circulación, al cortocircuitar las distancias, al hacer artificiales los interiores, al reducir la masa, ampliar las dimensiones y acelerar la construcción, el ascensor, la electricidad, el aire condicionado, el acero y, por último, las nuevas infraestructuras formaron un conjunto de mutaciones que provocó una arquitectura de otra especie."

arquitetura mais adequada ao meio pois sua materialização implica um baixo impacto ambiental: seus espaços são termicamente mais confortáveis, suas paredes, cobertas e esquadrias eram produzidas por mão de obra local. A complexidade construtiva era mínima: utilizava-se mão de obra e saberes locais, o que possibilitava a independência de processos tecnológicos de alta complexidade industrial, o que conseqüentemente reduzia seus custos econômicos e ambientais ao reduzir as distâncias entre matéria prima, produtores e usuários (SEVÁ FILHO et al, 1995).

A decisão sobre onde e quando aplicar melhorias urbanas não surge exclusivamente das demandas sociais ou ambientais mas principalmente de questões políticas e econômicas. A função e a prioridade desses equipamentos são definidos em grande parte pelos agentes envolvidos no mercado imobiliário, que são vozes ativas nas discussões sobre as legislações e regulações urbanísticas, como a Lei de Uso e Ocupação do Solo e o Plano Diretor. Esses “em geral conseguem impor a lógica econômica e de mercado sobre o desenvolvimento do planejamento urbano” (OLIVEIRA, 2018, p. 114; ROLNIK, 2015). Logo, a lógica do consumo impera sobre o justo funcionamento social e ambiental da cidade.

A cidade é, em essência, um empreendimento econômico que propicia aos indivíduos os bens materiais e o anonimato necessários à realização de seus planos pessoais. (BESS, 2008, p. 407).

A valorização pode ser real, mas essa não é a maior preocupação do mercado imobiliário. Seus anúncios publicitários buscam carregar a propriedade de valores simbólicos representativos de prestígio e status social: comodidade, sofisticação, luxo, elegância, conforto, modernidade, inovação, exclusividade, entre outros, ditando assim modismos e padrões culturais que seguem a lógica do lucro (JORGE, 2013).

Ameaçada pela uniformização em larga escala e pelos clichês de felicidade explorados pela indústria do consumo, a moradia é reduzida em mercadoria, produto imobiliário, símbolo de status social e de uma cultura internacional unificada. Apesar da influência inevitável da lógica mercadológica capitalista, modelo de dominação econômica, o indivíduo almeja através da habitação um diferencial que confira sentido e significado ao cotidiano, ou mesmo a condição distinta de personalidade entre os cidadãos comuns. (JORGE, 2013).

É momento de abordar as questões ambientais que vem sendo tão ignoradas na produção imobiliária. Não como mais uma qualificação como produto

que permite maior rentabilidade a certos empreendimentos, mas sim como suprimento de demandas reais que são ignoradas pela cultura hegemônica da mercantilização da vida. O conforto, a salubridade, a relação com a natureza, os pequenos prazeres permitidos pelos serviços ambientais são demandas físicas que são facilmente perceptíveis pelas nossas capacidades sensoriais psicofisiológicas, embora sejam difíceis de serem econometrizadas. Mas isso não prova que tais demandas não tenham real valor, mas demonstra a incapacidade humana de compreender questões qualitativas: “A única forma de discutir-se e controlar-se a busca de equilíbrios qualitativos é a partir de critérios qualitativos” (STAHEL, 1995, p. 111).

Logo, levando em consideração o significativo impacto ambiental da indústria da construção civil, é necessário que sejam desenvolvidas arquiteturas de menor impacto ambiental como a arquitetura bioclimática.

Para Olgay (1998) o bioclimatismo é um processo lógico que busca trabalhar em conjunto com as forças da natureza, e não contra elas. Aproveitar os recursos naturais, reduzir as tensões desnecessárias presentes no ambiente e permitir o conforto humano definem uma construção climaticamente equilibrada, embora a estabilidade perfeita seja bem difícil de ser alcançada.

Este trabalho se propõe a identificar processos de produção arquitetônica como possíveis modelos para o desenvolvimento humano e sustentável, apropriada às realidades técnicas e culturais da população de Fortaleza, e que busquem o respeito ao meio ambiente local e à economia de meios. Para isso, são identificadas e classificadas estratégias arquitetônicas que favoreçam a ventilação natural a partir da análise comparativa de construções residenciais em lotes estreitos do Planalto Pici, em Fortaleza.

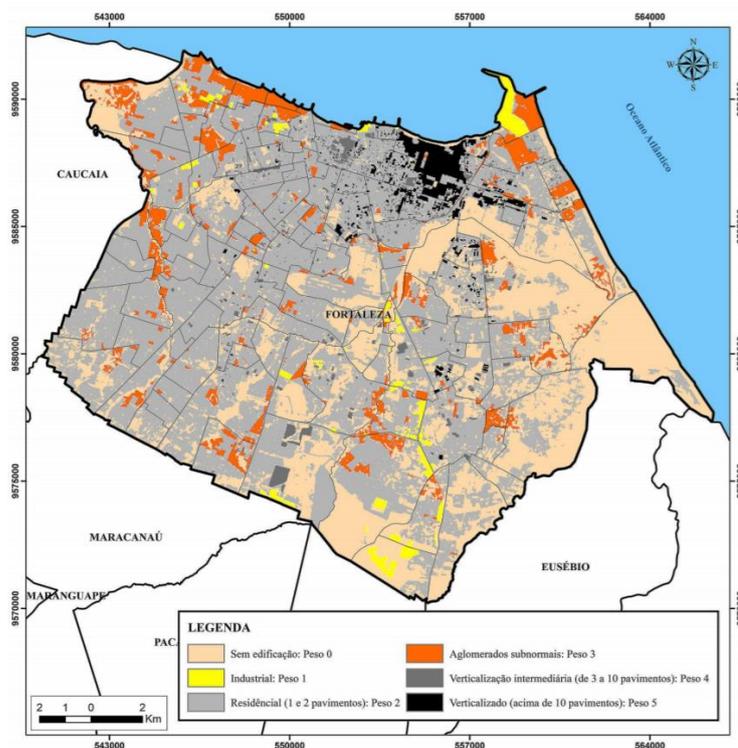
Esta pesquisa destina-se ao mestrado no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), na linha de pesquisa “Organização do Espaço e Desenvolvimento Sustentável”, área de estudo “Gestão Econômica de Recursos Naturais e Política Ambiental”.

1.2 Justificativa

A cidade é, em essência, um empreendimento econômico que propicia aos indivíduos os bens materiais e o anonimato necessários à realização de seus planos pessoais. A vida Moral é entendida, sobretudo, em termos de regras que devem ser seguidas quando convenientes, invocadas quando necessárias à proteção da pessoa e descartadas quando entram em conflito com a busca de realização dos projetos particulares dos indivíduos. (BESS, 2008, p. 407).

O saber construir hegemônico atual tem alto custo ambiental. Ele causa a exaustão dos meios e prejudica os serviços ambientais existentes, o que conseqüentemente aumenta as temperaturas médias anuais, piora o desempenho energético das cidades e encarece a manutenção dos espaços urbanos, sejam eles espaços abertos ou edifícios construídos, sejam eles públicos ou privados. Todas essas são conseqüências do sistema de produção global, que corre em paralelo aos processos de urbanização permitidos pelas municipalidades brasileiras. Em Fortaleza, o uso do território predominante é residencial, com edificações de um e dois pavimentos (Figura 1). Assim, essa pesquisa pode ter um grande impacto quanto às medidas de mitigação para habitações em lotes estreitos.

Figura 1 - Mapa de volume edificado



Fonte: (LIMA JÚNIOR, 2018, p. 122).

É necessária a popularização da adequabilidade construtiva, economicamente viável, de execução simples e energeticamente eficiente (MCDONOUGH, 2008). É raro encontrar um processo de pensamento crítico que relacione os saberes arquitetônicos tradicionais à indústria da construção contemporânea. Sente-se uma lacuna e uma possibilidade de aprender mais com arquiteturas locais e ambientalmente adequadas (bioclimáticas), que se aproveitem das tecnologias sociais e construtivas populares e de baixa complexidade industrial.

1.3 Pergunta de pesquisa

Como a estratégia arquitetônica da torre de vento favorece a ventilação natural em habitações construídas em lotes estreitos em Fortaleza?

1.4 Objetivos

Partindo dessa contextualização, o objetivo principal dessa pesquisa é avaliar o desempenho da estratégia arquitetônica da torre de vento em edificações residenciais de pequeno porte do Planalto Pici, em Fortaleza.

Especificamente, o trabalho objetiva:

1. Definir quais são as tipologias arquitetônicas mais recorrentes de modo a definir um universo plausível de estudos de caso;
2. Escolher os parâmetros que incidem sobre a qualidade da ventilação natural para avaliação dos resultados;
3. Avaliar a ventilação na escala urbana como forma de alimentar as simulações na escala dos edifícios singularmente;
4. Modelar virtualmente os objetos arquitetônicos das unidades habitacionais selecionadas e verificar o comportamento do ar em seus espaços interiores;
5. Quantificar o impacto da estratégia torre de vento no interior das edificações através de simulações computacionais fluido-dinâmicas, utilizando-se das variáveis analisadas nas simulações em escala urbana e arquitetônica.

2 TEORIA DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

2.1 Desenvolvimento sustentável

Odum e Barret (2007) definem como “tecnossistemas” - ecossistemas antrópicos - a relação da sociedade urbano-industrial dependente do meio ambiente como parasitária devido à sua incapacidade de integração nos ciclos materiais da natureza. Um modelo sustentável deve se basear em fluxos que sejam fechados dentro da sociedade ou ajustados aos ciclos naturais (CAVALCANTI, 1995). Do ponto de vista físico, o atual processo econômico é uma transformação de energia e de recursos naturais disponíveis (baixa entropia) em lixo e poluição (alta entropia) (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

A produção de gás carbônico proveniente das atividades humanas influencia o aquecimento global de maneira inquestionável: o aumento do derretimento das geleiras, os níveis de temperatura mais elevados em comparação aos últimos 100 anos, as inconstâncias climáticas e a intensificação dos fenômenos ambientais já existentes, como tempestades e secas mais danosas que nos anos anteriores, são alguns desses sintomas.

Brüseke (1995), apresenta pontos importantes sobre as discussões que deram início ao reconhecimento internacional e à importância do desenvolvimento sustentável. Destaca o ano de 1972, que foi particularmente marcante pois, no mesmo ano, houveram a conferência de Estocolmo sobre ambiente humano e a apresentação do estudo Limites do crescimento, autoria do Clube de Roma, um grupo de pesquisadores liderados por Dennis L. Meadows. Nessa época, Meadows e sua equipe assumiram que “para alcançar a sustentabilidade econômica e ecológica” seria necessário “o congelamento do crescimento da população global e do capital industrial”. Conceitos esse revistos e enriquecidos pelas propostas de codesenvolvimento do economista Ignacy Sachs, em 1973, pela Declaração de Cocoyok (1974) e Relatório de Dag Hammarskjöld (1975), que atribuíam grande importância ao desenvolvimento baseado no self-reliance, estratégia essa defendida anteriormente por Mahatma Gandhi e Julius Nyerere. Logo, discorre também sobre o

Relatório Brundtland² e a UNCED no Rio em junho de 1992. Conclui o capítulo afirmando a necessidade de uma “perspectiva multidimensional, que envolva economia, ecologia e política ao mesmo tempo” como “ponto de partida da teoria do desenvolvimento sustentável”.

Para que esses novos modelos de desenvolvimento sejam possíveis é necessário o entendimento dos princípios da economia da sustentabilidade como o próprio conceito de desenvolvimento sustentável, os limites do crescimento, a urgência da mudança de paradigma, as influências humanas sobre a natureza, os vários sentidos do ambientalismo e a “índole insustentável do moderno desenvolvimento econômico”. Entre os desafios enfrentados pela economia da sustentabilidade temos a economia política da sustentabilidade, as forças e fraquezas da economia do meio ambiente, suas externalidades³, e a dificuldade de interpretação quanto às dimensões não-mercantis. Entendendo tais questões políticas e econômicas hegemônicas passa-se ao entendimento do que é a economia ecológica, o desenvolvimento equitativo, as opções tecnológicas, o conceito de “terceiro mundo” e “subdesenvolvimento”.

Os modelos de produção hegemônicos que seguem os princípios da economia clássica e neoclássica não são mais suportados pelo meio ambiente finito de nosso planeta. A moderna sociedade industrial é caracterizada por fluxos unidirecionais, em lugar de considerar a urgente necessidade do fechamento dos ciclos produtivos - lógica essa essencial para a própria manutenção de toda a vida do planeta.

A Economia Ecológica parte do reconhecimento da interdependência entre economia e meio ambiente com auxílio de conceitos tomados das ciências da

² O Relatório Brundtland também fez sugestões absurdas. De acordo com Cavalcanti (1995, p. 166), o relatório defendia uma “elevação de cinco a dez vezes no nível da atividade econômica global num esforço de eliminar a pobreza”

³ Acselrad (1995, p. 131) define que as externalidades são danos causados a terceiros (custos sociais) devido ao desenvolvimento de uma certa atividade (custos privados) que deve ser incorporado aos custos e à precificação do produto. Logo deve-se haver um compromisso para que tais custos recebam o peso apropriado e sejam “internalizados” pelas atividades privadas. Porém, de acordo com Acselrad, a internalização de custos ambientais tem dois tipos de dificuldades: as aparentemente “técnicas” de valorar processos ecológicos incertos e heterogêneos; e a dificuldade de identificar as fontes de legitimidade para fundamentar os valores econômicos de tais processos e fazê-los valer nos mecanismos decisórios ou no mercado.

natureza como a ecologia e a termodinâmica. O Segundo Princípio da Termodinâmica é a Lei da Entropia.

A aceleração do tempo - logo, da entropia - que acompanha o desenvolvimento do capitalismo é outro fator que merece atenção. “Maior produtividade e maior produção representam uma maior eficiência na geração de alta entropia e na transformação de baixa entropia em lixo e poluição” (STAHEL, 1995).

Logo, a crise ambiental e a busca do desenvolvimento sustentável passa a entender a lei da entropia como a mais econômica das leis físicas uma vez que “o que ameaça a sustentabilidade do processo econômico é justamente a base material que lhe serve de suporte”, como explica Georgescu-Roegen (1971) em seu livro "*The entropy law and the economic process*". O entendimento de que o processo econômico é transformação de energia e recursos em lixo e poluição apresenta um conceito novo e fundamental ao problema da sustentabilidade.

A busca de expansão constante é inerente ao capitalismo e a ciência que foi criada sob essa ideologia tem como característica atribuir maior importância aos aspectos quantitativos e desprezar os elementos qualitativos. Devido a isso surge o conceito de “internalização das externalidades” fatores esses ainda reducionistas pois buscam unidimensionalizar os fatores qualitativos em valor monetário.

Logo, enquanto a lei da entropia aponta um caminho que considera limites materiais e energéticos junto à ideia de vida em busca de um equilíbrio qualitativo, o capital aponta uma direção completamente diferente e incoerente de expansão infinita orientada pelas regras quantitativas de mercado e reducionismo econométrico.

A crise ecológica é só uma parte de uma crise mais geral social, político-ideológica e moral. Uma clara “exaustão histórica desse modelo de desenvolvimento”.

2.2 Os impactos ambientais do ambiente construído

A indústria da construção civil atual é responsável por consumir ao redor de 75% das matérias primas do mundo e emitir um terço dos gases de Efeito Estufa (GASQUES, 2014), gerando impactos ambientais, sociais e econômicos consideráveis, entre eles o aquecimento global. São necessários processos construtivos que causem menor impacto ambiental.

De acordo com o relatório “Trabalhar em um planeta mais quente: O impacto do estresse térmico na produtividade laboral e no trabalho decente”, de autoria da Organização Internacional do Trabalho (OIT), devido às mudanças climáticas, até 2030, o aumento do estresse térmico⁴ na agricultura e em setores industriais levará a uma perda na produtividade mundial equivalente a 80 milhões de empregos, (EXAME, 2019). Ou seja, 2,2% do total das horas trabalhadas no mundo se perderão devido ao aumento das temperaturas. Os dois setores que apresentarão as maiores perdas serão a agricultura, que emprega 940 milhões de pessoas no mundo e deve representar 60% das horas de trabalho perdidas para 2030, e a construção, cuja produtividade cairia 19%. Os países do Sul da Ásia e da África Ocidental são os que sofrerão maior impacto, ao redor de 5% de perda de produtividade, mas a Europa não escapará das ondas de calor.

No Ceará, Souza Júnior (2015, p. 35) faz uma previsão do possível impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de eletricidade no Estado do Ceará. Até 2040, o autor prevê um aumento de até 29% no consumo energético residencial devido ao aumento de temperaturas no estado. Caso houvesse políticas públicas atentas a esses fenômenos poderiam ser organizadas iniciativas que promovessem construções mais adequadas e preparadas para o meio existente, diminuindo assim a demanda energética e melhorando o desempenho térmico das edificações.

2.3 Bioclimatismo

Se você acha que a economia é mais importante do que o meio ambiente, tente segurar a respiração enquanto conta seu dinheiro. (MCPHERSON, 2009)⁵.

Para explorar as potencialidades dos sistemas construtivos tradicionais como referência em sustentabilidade na arquitetura faz-se necessário o

⁴ O estresse térmico representa um calor superior ao que o corpo pode tolerar sem sofrer danos psicológicos, que costuma se produzir quando as temperaturas superam os 35°C com uma forte umidade (EXAME 2019).

⁵ Do original em inglês: “*If you think the economy is more important than the environment, try holding your breath while counting your money*”.

desenvolvimento de ferramentas metodológicas específicas para a construção de um quadro analítico apropriado.

Muitos dos quadros analíticos, porém, surgem a partir de processos epistemológicos que são econométricos em sua maior parte. Por exemplo, as certificações ambientais usadas na construção civil brasileira como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e o Processo Alta Qualidade Ambiental (AQUA).

Cada cultura, a depender de seus processos históricos, sociais, materiais disponíveis, técnicas e processos construtivos, recursos humanos, entre outros, desenvolveu seu próprio saber fazer arquitetônico que respondesse de maneira boa e adequada ao contexto natural e urbano.

Corbella e Yannas afirmam que:

O objetivo do projeto de Arquitetura Bioclimática é prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição. (CORBELLA E YANNAS, 2009, p. 37).

Olgay (1998) defende a importância do projeto e a obrigatoriedade da arquitetura compreender e se aproveitar dos recursos naturais:

Muitas dessas medidas podem ser alcançadas por meios naturais, ou seja, adaptando o desenho arquitetônico aos elementos climáticos existentes. Outros problemas, cuja resolução se encontra fora das possibilidades naturais, deverão ser remediados mecanicamente, por exemplo, com o ar condicionado. É tarefa do arquiteto a utilização máxima de todos os meios naturais para produzir uma moradia mais saudável e agradável possível, ao mesmo tempo, deverá buscar a economia dos recursos reduzindo ao mínimo a necessidade de ajudas mecânicas para o controle climático. (OLGAY, 1998, p. 23)⁶

Olgay (1998), escreve sobre a importância da justa relação da construção com o lugar, com o fim de se obter menor consumo de meios através da utilização de

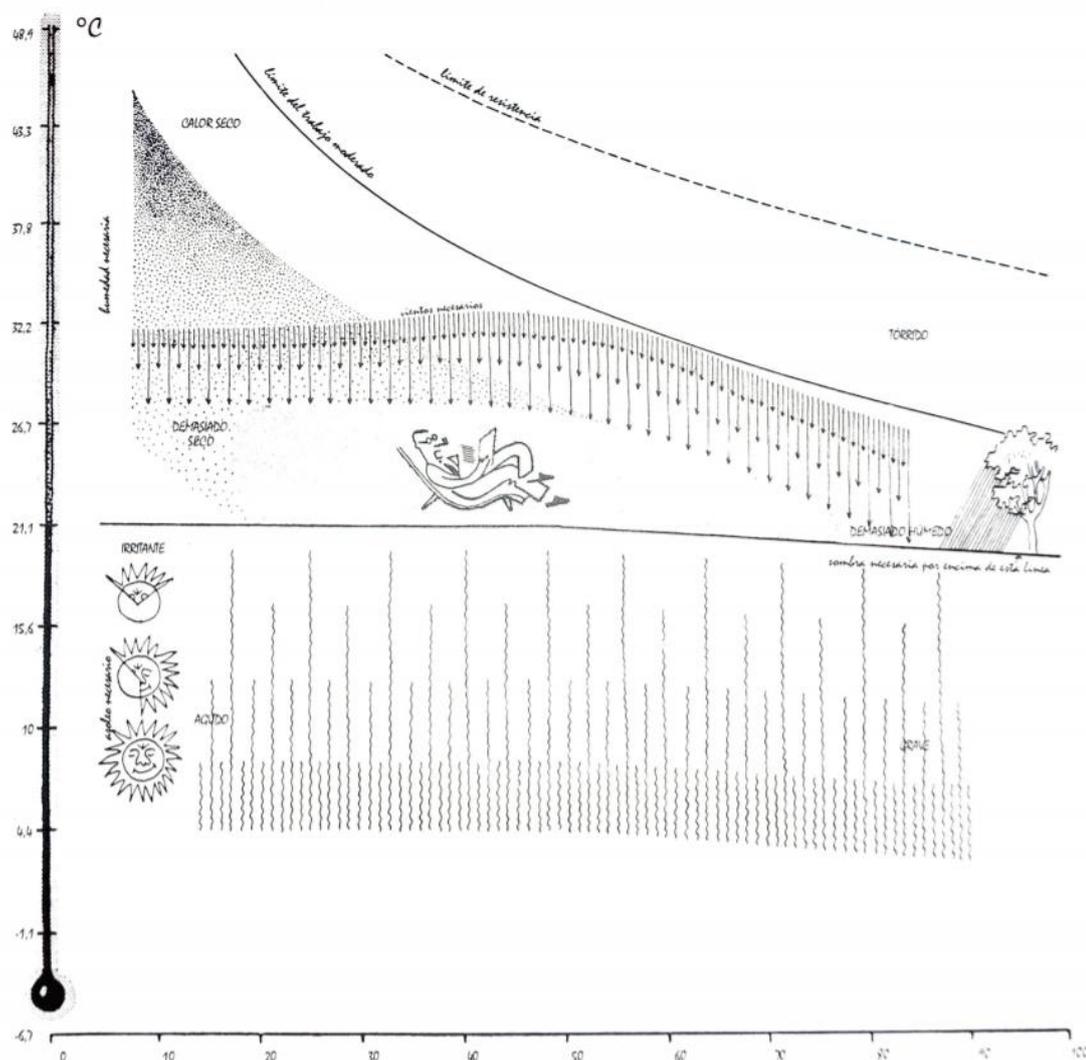
⁶ Do original em espanhol: "*Muchas de esas medidas pueden conseguirse por medios naturales, es decir, adaptando el diseño arquitectónico a los elementos climáticos existentes. Otros problemas, cuya resolución se encuentra fuera de las posibilidades naturales, deberán ser remediados mecánicamente, por ejemplo, con aire acondicionado. Es tarea del arquitecto la utilización máxima de todos los medios naturales para producir una vivienda lo más sana y agradable posible, al mismo tiempo deberá buscar el ahorro en los costes, reduciendo al mínimo la necesidad de ayudas mecánicas para el control climático*".

saberes e materiais localmente disponíveis, melhor desempenho térmico, entre outros. Define-se então um método. De modo mais detalhado, suas fases consistem em:

1. Os dados climáticos devem ser analisados como características anuais: temperatura, umidade relativa, radiação solar e efeitos do vento;
2. Os dados biológicos: devem se basear nas sensações humanas. Assim são definidas quais medidas tomar a depender do período anual e suas condições climáticas respectivas;
3. As soluções tecnológicas: devem superar as adversidades e utilizar as vantagens existentes. Deve-se adotar métodos de cálculo: escolha do lugar e orientação, cálculos de sombra, forma da habitação, movimentos do ar e equilíbrio da temperatura interior;
4. A produção arquitetônica: deve levar em consideração as três fases anteriores e definir sua interrelação é melhor aproveitamento de acordo com as condições socioeconômicas existentes.

Em seu segundo capítulo, chamado "*Interpretación Bioclimática*", comenta os efeitos do clima sobre a pessoa, a relação entre refúgio e entorno, e entre os elementos climáticos e o conforto. Apresenta também a Carta Bioclimática e mostra as situações de conforto e desconforto a depender da temperatura e da umidade relativa do ar.

Figura 2 - Índice esquemático do bioclima



Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2005, p. 3).

A Carta Bioclimática (OLGYAY 1998, p. 22; FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 27) (Figura 2) é um índice biofísico que foi desenvolvido em função de relações entre condições de clima e conforto. Na região central da carta está a zona de conforto, que leva em consideração a relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar. Estando as condições do ambiente fora da zona de conforto é necessário que sejam tomadas medidas corretivas. Se a umidade e a temperatura forem elevadas e estiverem acima do recomendado para a zona de conforto - caso das regiões de clima quente e úmido - deve-se recorrer aos efeitos do movimento do ar. **Se a umidade for baixa, e a temperatura do ar for alta, a ventilação traz poucos benefícios.**

Pesquisas da Paraíba e do Rio Grande do Norte, mencionadas a seguir respectivamente, destacam arquiteturas mais antigas e tradicionais no Nordeste

brasileiro como modelos de maior resiliência, conforto ambiental e sustentabilidade social e econômica. Diversas técnicas e processos populares tradicionais - como as paredes espessas, sombreamento das fachadas e favorecimento da ventilação natural - alinham-se às diretrizes do bioclimatismo, sendo uma das principais delas a redução do consumo energético (DA FONSECA; GOULART, 2012). Da Costa e Scocuglia (2008) em sua pesquisa sobre as construções natalenses, constatam que arquitetos locais pouco conhecem sobre a elaboração de projetos com características sustentáveis. Isso se deve em parte à própria hegemonia cultural da obsolescência programada assim como a recusa das grandes corporações de permitir, ainda que minimamente, uma maior autonomia às pessoas (KOOLHAAS, 2014). É necessária uma mudança de paradigma que possibilite um desenvolvimento mais justo. A análise do conforto bioclimático do ambiente construído permite a justa apropriação dos espaços pelas pessoas.

2.4 Zoneamento Climático

Os valores das variáveis climáticas de um lugar são definidos a partir da síntese de uma grande quantidade de fatores como a radiação solar, longitude, latitude, relação entre continente e oceano e brisas terra-mar, topografia, revestimento do solo, umidade atmosférica, nebulosidade e ventos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Na escala da arquitetura, os dados climáticos de maior impacto são as variações diárias e anuais da temperatura do ar e dos índices médios de umidade relativa (OLGYAY 1998, p. 22; FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 65)

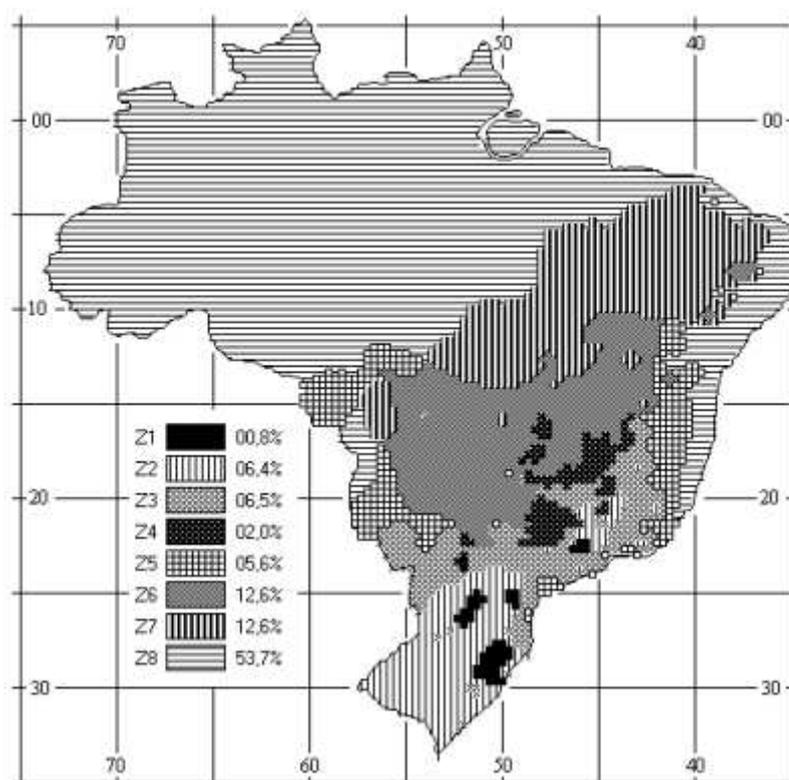
Cabe à arquitetura amenizar a sensação de desconforto causada pelo ambiente, como o calor causado pela insolação intensa, e não trabalhar contra as boas condições de ocupação, como as edificações que não possuem aberturas suficientes que permitam a ventilação e iluminação natural.

A NBR 15220, em sua “Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social” apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e divide o país em oito zonas, com diretrizes construtivas diferentes para cada uma delas. Por exemplo, na Zona Bioclimática 07, correspondente à 12,6% do território nacional e à grande parte do sertão do Nordeste do Brasil, as estratégias de condicionamento passivo indicadas são resfriamento

evaporativo (devido à baixa umidade e altas temperaturas) e massa térmica para resfriamento (o que retarda a transferência do calor até os ambientes internos) junto à ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa). A Zona 08, onde Fortaleza se localiza, apresenta recomendações bastante diferentes.

De acordo com a Norma, Fortaleza encontra-se na Zona Bioclimática 08, que corresponde a 53,7% do território brasileiro (Figura 3). Esta zona é caracterizada por alta umidade e altas temperaturas, sendo assim caracterizada também como uma região de trópico úmido.

Figura 3 - Zoneamento bioclimático do Brasil



Fonte: (ABNT, 2005, p. 3).

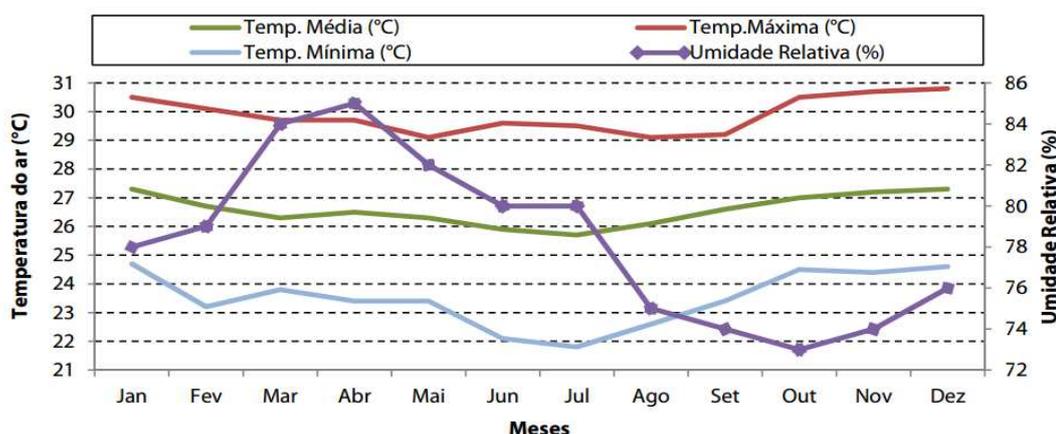
Fortaleza localiza-se, à porção norte do território cearense, coordenadas de latitude sul: 3° 43' 2" e longitude oeste: 38° 32' 35". Apresenta clima tropical com estação seca no inverno e primavera, com regime pluviométrico marcado por um fim de verão e outono mais chuvosos, de fevereiro a maio. Temperaturas médias máximas entre 29°C e 31°C, umidade relativa superior a 70% (Figura 4). Em relação a

temperatura média de Fortaleza, de acordo com o Posto do Campus no Pici é de 27°C, de acordo com medições de 1983-2012. A cidade apresenta elevada incidência de radiação solar e um alto índice de umidade relativa devido à influência marítima e elevada taxa de evaporação (LEITE, 2015).

A umidade tem grande influência na amplitude da temperatura diária, mantendo-a relativamente estável. Climas secos apresentam temperaturas mínimas e máximas mais extremas.

Por localizar-se na Zona Bioclimática 08, as estratégias de condicionamento passivo indicadas, de acordo com a NBR 15220-3 (BRASIL, 2005) são somente uma: a ventilação cruzada permanente, que será detalhada a seguir.

Figura 4 - Gráfico da variação da temperatura de Fortaleza



Fonte: (LEITE, 2015, p. 103).

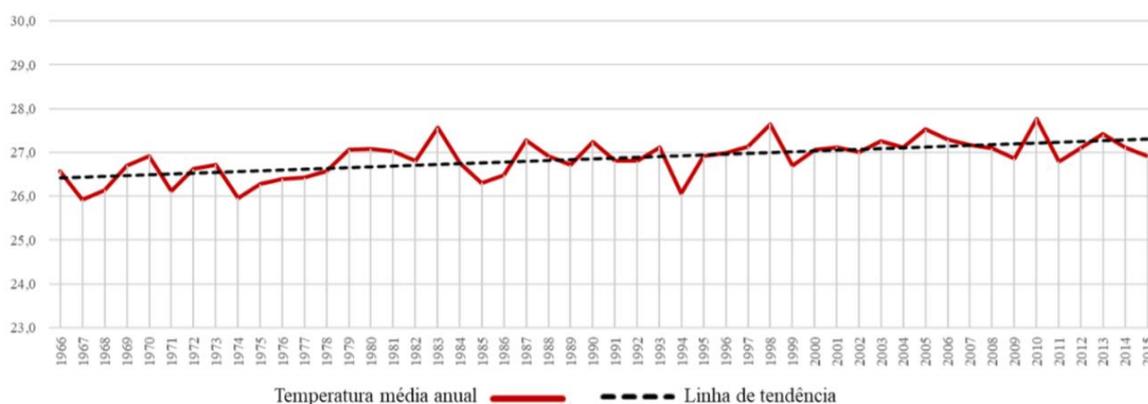
Porém, na área urbana de Fortaleza, é notável a contribuição da expansão urbana na alteração dos elementos do clima, particularmente as temperaturas médias, que vem aumentando, e a umidade relativa do ar, que vem baixando (LIMA JUNIOR, 2018).

Sobre o clima urbano de Fortaleza, Lima Junior (2018), em pesquisa sobre a análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima da cidade, analisou os dados das seguintes variáveis climáticas: temperatura média; temperatura máxima média; temperatura mínima média; umidade relativa; e precipitação. com o objetivo de analisar as tendências estatísticas desses dois elementos climáticos, traçou uma linha de tendência, tendo como base dados

meteorológicos de uma série histórica da Estação Meteorológica do Campus do Pici, que começa em 1966 e termina no ano de 2015 (50 anos).

A temperatura média apresenta, estatisticamente, uma tendência a um aumento significativo (Figura 5), mas sempre mantendo-se entre as temperaturas de 26°C e 28°C⁷. Entre as médias mensais, os meses de junho, julho e agosto apresentam os maiores aumentos, enquanto setembro, outubro, janeiro e fevereiro apresentam os menores.

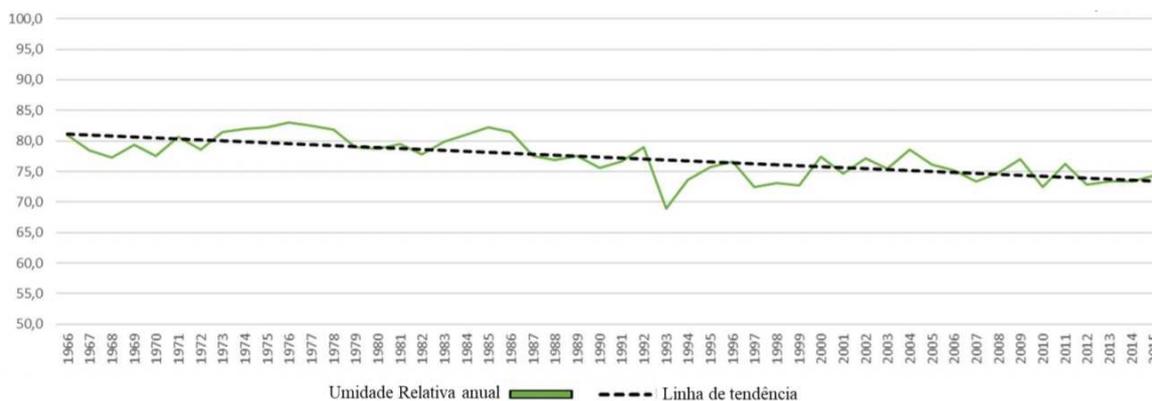
Figura 5 - Temperatura média anual (1966 - 2015)



Fonte: (LIMA JÚNIOR, 2018, p. 77).

⁷ Lembremos que de acordo com Frota e Schiffer (2001), nas localidades onde a temperatura supere os 28°C - que é considerado o limite do conforto humano - não é possível garantir o adequado desempenho térmico que garanta o conforto dentro dos espaços internos das construções apenas utilizando os recursos naturais, porém, ainda assim, através de um bom projeto, deve-se evitar o ganho solar da edificação com o fim de se reduzir a demanda de equipamentos de ventilação ou refrigeração mecânicos.

Figura 6 - Umidade Relativa anual (1966 - 2015)



Fonte: (LIMA JÚNIOR, 2018, p. 82).

Os valores da umidade relativa na cidade são elevados, mantendo-se sempre acima de 70%, mas apresenta uma tendência de diminuição. Porém, ao contrário das temperaturas médias que estão em aumento com o passar dos anos, a umidade relativa média apresenta uma tendência à diminuição (Figura 6). A queda da umidade era esperada visto que a relação entre temperatura e umidade relativa é inversamente proporcional. As maiores diminuições mensais estão entre os meses de março e maio, meses correspondentes à quadra chuvosa⁸ no município de Fortaleza. (LIMA JUNIOR, 2018, p.82).

2.5 Diretrizes para o trópico quente e úmido

Uma parte significativa do uso de energia em edificações está associada ao condicionamento de ar e à iluminação artificial. Devido ao clima ameno existente em grande parte do território nacional, a construção de edificações adequadas ao clima local pode resultar num consumo de energia substancialmente menor. (LÔBO; BITTENCOURT, 2003, p. 58).

Frente às condições climáticas de Fortaleza, de acordo com a plataforma Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (ProjetEEE, 2018a), 98% das horas do ano na cidade estão em desconforto por calor. Com o fim de mitigar o desconforto no interior das edificações, as estratégias bioclimáticas mais adequadas

⁸ A quadra chuvosa em Fortaleza é o período que vai de fevereiro à maio. As chuvas nesse período são influenciadas pela presença da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, considerada o principal sistema ocasionador da pluviosidade no norte do Nordeste (FUNCEME, 2018).

são as estratégias relacionadas à ventilação natural, que responde à alta umidade relativa do ar, e o sombreamento, que responde ao desconforto causado pela insolação. Para um melhor conforto térmico em Fortaleza é importante que o morador invista conscientemente em elementos arquitetônicos que colaborem com um bom condicionamento ambiental como sombreamento de fachadas⁹, grandes aberturas para ventilação e arborização que contribua com o microclima local (PAIVA, 2014).

O conforto térmico é fundamental para a saúde e bem estar das pessoas. As temperaturas fora do limite de conforto ocasionam fadiga térmica, o que provoca mal estar e queda de rendimento no trabalho. Temperaturas extremas podem ocasionar perda total de capacidade para realização de trabalho, problemas de saúde e até morte (LAMBERTS et al, 1997; FROTA; SCHIFFER, 2001). Assim, o conforto térmico é definido como a sensação do organismo quando perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo, sem recorrer a nenhum mecanismo termorregulador.

As estratégias bioclimáticas para o trópico úmido estão presentes em uma vasta bibliografia (BRASIL, 1978; BRASIL, 2005; CORBELLA; YANNAS, 2009; FROTA; SCHIFFER, 2001; JOURDA, 2012; MAY, 2010; REID, 2010; SANTOLI, 2008; VAN LENGEN, 2004).

Corbella e Yannas (2009) apresentam estratégias de projeto para obtenção de um melhor conforto nos espaços localizados no trópico úmido: o controle dos ganhos de calor; dissipar a energia térmica do interior do edifício; remover a umidade em excesso e promover o movimento de ar; promover o uso de iluminação natural; controlar o ruído, entre outros.

A Norma Regulamentadora N° 17 (BRASIL, 1978), criada pelo Ministério do Trabalho e publicada pela primeira vez em 1978, estabelece parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho para proporcionar um máximo de conforto, segurança e eficiência no desempenho dos trabalhadores. A NR-17 é conhecida como a responsável pelas condições adequadas de ergonomia¹⁰ mas também trata das

⁹ Quanto aos materiais construtivos das vedações verticais e horizontais - paredes e coberturas - estes não serão considerados na pesquisa em questão. A consideração da composição físico-química dos materiais é necessária quando há necessidade do cálculo de transmissão térmica dos materiais. Isso torna-se necessário quando as pesquisas envolvem insolação e transferência de calor entre os ambientes devido a condutibilidade térmica dos sistemas de envoltórias.

¹⁰ Ergonomia é a ciência que estuda a relação entre a pessoa e o trabalho que executa. Busca aumentar a eficiência organizacional, a segurança, a saúde e o conforto do trabalhador. Cuida das

questões de conforto a fim de evitar o estresse térmico. Entre as recomendações relativas ao conforto térmico está a indicação de que a temperatura efetiva dos ambientes esteja entre 20°C e 23°C e que sejam implementados projetos de climatização que garantam a distribuição homogênea das temperaturas e fluxos de ar.

A NBR 15220-3 (BRASIL, 2005) considerou para a formulação das diretrizes construtivas os seguintes parâmetros e condições de contorno: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (paredes externas e coberturas); e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Figura 7 - Indicações para aberturas conforme a NBR 15220-3

Tabela 22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Fonte: (ABNT, 2005, p. 8).

Determina então, para a Zona Bioclimática 08, onde Fortaleza se encontra, que as aberturas para a ventilação sejam grandes e que sejam sombreadas (Figura 7), a fim de evitar a entrada de radiação solar dentro dos ambientes. Adota a “ventilação cruzada permanente” como principal estratégia de condicionamento térmico passivo para a Zona 08: as aberturas devem ser grandes para permitir a ventilação nos horários em que a temperatura interna seja mais alta que a externa, resfriando assim a construção. Caso o ambiente tenha janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. A ventilação noturna também é desejada visto que a variação de temperatura noturna não é tão significativa (BRASIL, 2005; FROTA; SCHIFFER, 2001).

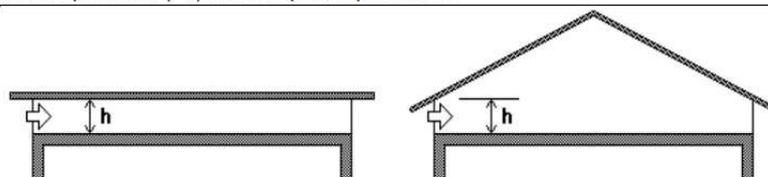
Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e seu contexto, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos. Em climas úmidos a ventilação não deve ser impedida pelas copas da vegetação, mas ao mesmo tempo a vegetação deve possuir uma altura mínima que permita o sombreamento das vias e fachadas.

posturas adotadas pelos trabalhadores e movimentos corporais, dos fatores físicos ambientais que enquadram o trabalho e dos equipamentos utilizados.

Na seção sobre os tipos de vedações externas para a Zona 08 (Figura 8), sugere que tanto as paredes como as coberturas sejam leves e com superfície refletora, o que respectivamente diminui sua inércia térmica¹¹ e seu albedo. As construções não devem ter uma grande inércia pois isto dificulta a retirada de calor armazenado durante o dia, mas ao mesmo tempo deve-se evitar a passagem do calor para os ambientes internos - o que seria facilitado por vedações com inércias térmicas maiores. Assim, é importante que as paredes e outras vedações tenham inércia entre leve e média mas apresentem também algum tipo de isolamento em sua envoltória (BRASIL, 2005; FROTA; SCHIFFER, 2001). O mesmo se aplica à cobertura, que deve ter inércia leve ou média com elementos isolantes ou espaços com câmara de ar - como a possibilidade da cobertura ventilada.

Figura 8 - Indicações para as vedações externas conforme a NBR 15220-3

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
Notas: 1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas. 2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências: a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1.



Fonte: (ABNT, 2005, p. 9).

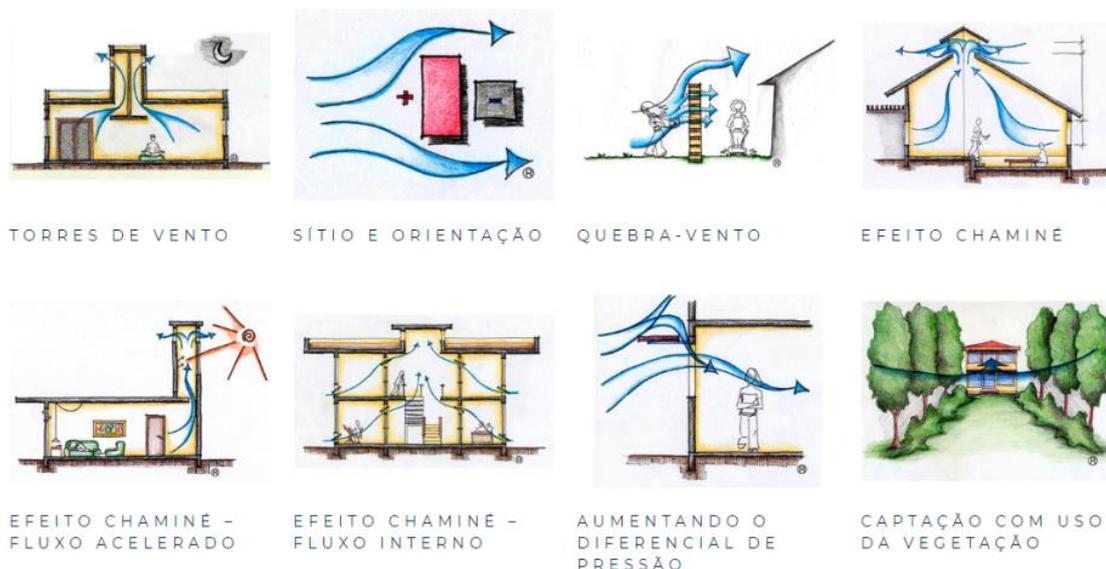
O ProjetEEE (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes) é uma plataforma nacional que apresenta soluções bioclimáticas para projetos arquitetônicos. Um projeto desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina

¹¹ Uma edificação de elevada inércia térmica proporcionará uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao externo. Essa característica é particularmente benéfica em regiões de clima mais seco onde há uma grande diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas externas.

(UFSC), executado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Através dos estudos do Instituto de Meteorologia (INMET), dos dados dos arquivos climáticos INMET 2016 (SCHELLER et al., 2015) e da definição das zonas de conforto adaptativo (GIVONI, 1992) o grupo ProjetEEE definiu quais as estratégias bioclimáticas adequadas em relação à quantidade de horas do ano, distribuídas nas quatro estações do ano e nos quatro períodos do dia - manhã, tarde, noite e madrugada, dados do Laboratório de Edificações Energeticamente Eficientes (LABEEE, 2018a).

Segundo o site ProjetEEE, dentre as diversas estratégias bioclimáticas relacionadas à ventilação natural (Figura 9) as mais apropriadas para o recorte climático quente e úmido são: ventilação em pátios internos; ventilação cruzada através de janelas e plantas abertas; torres de vento; sítio e orientação; efeito chaminé de fluxo acelerado e fluxo interno; aumento do diferencial de pressão; captação com uso da vegetação; cobertura e parede ventilada (LABEEE, 2018b).

Figura 9 - Esquemas de ventilação natural e mecânica destacados



Fonte: (LABEEE, 2018b).

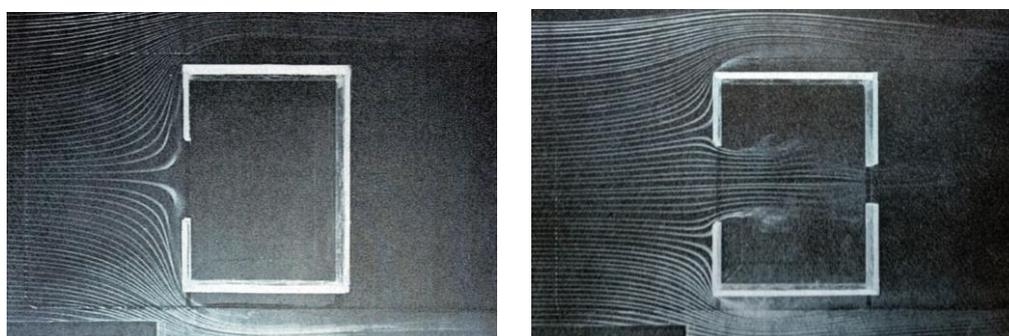
2.6 Alguns exemplos arquitetônicos

Durante o projeto de arquitetura, com o fim de favorecer o desenvolvimento da ventilação natural no interior das construções, deve-se interpretar principalmente a

direção do fluxo de ar, através das indicações do gráfico rosa dos ventos¹², e posicionar as aberturas da melhor maneira que se evitem obstáculos. Deve-se entender também o funcionamento das pressões e relações dimensionais entre aberturas nas faces externas da construção que deve ser internamente ventilada.

Para ser ventilado, o ambiente deve possuir uma entrada e uma saída, onde respectivamente atuam as pressões positivas e negativas. A Figura 10 compara dois espaços: um com somente uma abertura, que não permite o movimento do ar em seu interior, e outro com duas aberturas que possibilitam a entrada e a saída de ar.

Figura 10 - Simulação de ventilação

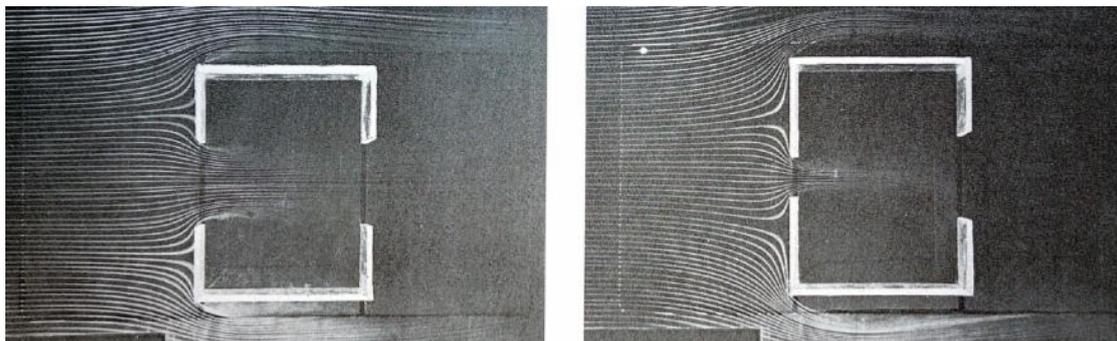


Fonte: (OLGYAY, 1998).

O maior fluxo de quantidade de ar é produzido quanto maiores forem as aberturas da edificação. Porém, caso se deseje aumentar a velocidade dentro dos ambientes deve-se aumentar a pressão utilizando-se da relação entre as aberturas de entrada e saída. Assim, o ar adquire grande velocidade quando se combina uma entrada de ar pequena com uma saída maior do que essa, aumentando assim significativamente a velocidade do ar assim que este adentra o recinto ao passar pela entrada (Figura 11).

¹² O gráfico da rosa dos ventos mostra as estatísticas sobre o vento, reunidas ao longo do tempo. Essas medições incluem velocidade do vento, direção e frequência. Estas informações são importantes medidores para estudar e prever as condições do vento em sua área.

Figura 11 - Simulação de ventilação



Fonte: (OLGYAY, 1998).

Outra estratégia que permite a exaustão do ar quente e movimentação do ar em geral é a distribuição de pátios internos descobertos, que permite a saída do ar quente pelos pontos mais altos da construção (Figura 12).

Figura 12 - Imagens da casa em Olho d'Água do Casado, AL



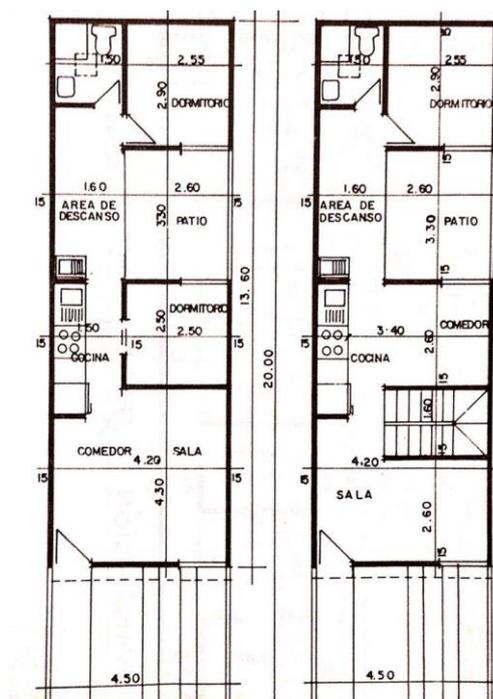
Fonte: (ARCHDAILY, 2017).

López (2006), em seu “*Manual del Constructor Popular*”, nos dá alguns exemplos de fácil compreensão, onde apresenta alguns pré-dimensionamentos espaciais (Figura 13). Seus pátios internos permitem a exaustão do ar e iluminação de espaços da casa que localizam-se na área intermediária do lote.

Figura 13 - Corte de casa com pátio para iluminação e ventilação



LOS PATIOS CERRADOS PARA DAR VENTILACIÓN Y LUZ A UNA CASA DE UN PISO NO PUEDE MEDIR MENOS DE 3.60 METROS DE LARGO POR 2.50 METROS DE ANCHO. - (9.00 M²).
LOS PATIOS CERRADOS PARA DAR VENTILACIÓN Y LUZ A UNA CASA DE DOS PISOS NO PUEDEN MEDIR MENOS DE 3.75 METROS DE LARGO POR 3.00 METROS DE ANCHO. -



Fonte: (LÓPEZ, 2006, p. 15 e 60).

A construção do arquiteto Francis Kéré (Figura 14) mostra o resultado arquitetônico de uma edificação com cobertura ventilada. Na tabela 23 da Norma 15220-3 (Figura 9) há mais detalhes dessa estratégia de grande eficiência térmica, porém ainda bem pouco utilizada. É sugerido que a ventilação cruzada passe pelo

interior das cobertas, caso estas apresentem valores de transmitância térmica acima dos valores tabelados - como as que são feitas de chapas metálicas, com alto índice de condutividade. Assim, cria-se um colchão de ar que é constantemente renovado graças à ventilação natural, o que aumenta a resistência térmica da câmara de ar.

Figura 14 - Escola primária em Gando



Fonte: (NAIDOO, 2010).

Seria possível também utilizar como estratégia arquitetônica uma câmara de ar isolada do exterior, porém, tendo a ventilação natural disponível constantemente, evita-se que o colchão de ar ganhe calor térmica, proveniente da radiação solar, por condução através dos planos de cobertura, caso fosse imobilizado. Logo, ao mesmo tempo que se cria uma cobertura ventilada, cria-se também uma outra superfície na envoltória¹³ da edificação, abaixo do telhado, que está sujeita ao resfriamento por ventilação, retirando o calor acumulado pelo edifício.

¹³ O termo “envoltória” é comumente usado nas publicações sobre construção civil. Faz referência aos elementos construtivos verticais e horizontais que separam os espaços internos dos espaços externos suscetíveis às intempéries.

2.7 Ventilação Natural

“Sendo as cidades fortificadas, o próximo passo é a distribuição dos lotes das casas dentro dos muros e o desenho de ruas e vielas que leve em consideração as condições climáticas. Estas serão dispostas com propriedade se houver a precaução de se excluírem os ventos das vielas. Os ventos frios são desagradáveis, os ventos quentes irritantes, os ventos úmidos insalubres. Devemos, por conseguinte, evitar erros nesse assunto e tomar consciência das experiências comuns de muitas cidades. Por exemplo, Militene, na ilha de Lesbos, é uma cidade construída com magnificência e bom gosto, mas sua posição demonstra falta de visão. (...) Se as ruas correm na direção dos ventos, suas constantes rajadas vindas do campo, e então canalizadas pelas vielas estreitas, irão atingi-las com grande violência. As fileiras de casas precisam, portanto, ser direcionadas em oposição aos quadrantes de onde o vento sopra, para que, quando entrarem, possam bater nos ângulos dos blocos, de modo que sua força seja diminuída e dispersada.” (VITRÚVIO)

As pesquisas sobre o papel da ventilação natural no desempenho térmico dos edifícios são de grande importância para um melhor uso não só dos recursos econômicos e energéticos, mas também para um melhor aproveitamento dos serviços ambientais prestados por nossos ecossistemas urbanos.

Em Fortaleza, 98.24% de todas as horas do ano estão em desconforto por calor mas para sanar esse desconforto temos que basicamente preparar as edificações para somente uma estratégia bioclimática: a ventilação natural, que se aplica a 91.63% das horas do ano na cidade.

Devido a esse protagonismo do vento como solução para o condicionamento térmico passivo em Fortaleza, neste trabalho vamos explorar como as construções podem ser melhor planejadas a fim de se aproveitar a ventilação natural em sua eficiência máxima na redução das temperaturas internas das moradias durante as horas mais quentes do dia, de acordo com as diretrizes para se construir no trópico úmido. Assim se poderá entender quais são as condições construtivo-morfológicas necessárias para **reduzir ao mínimo a necessidade de ajudas mecânicas** para a arquitetura de Fortaleza (CANDIDO, 2012; LEITE, 2015; LABEEE, 2018a), a depender, claramente, das condições socioeconômicas e culturais dos ocupantes.

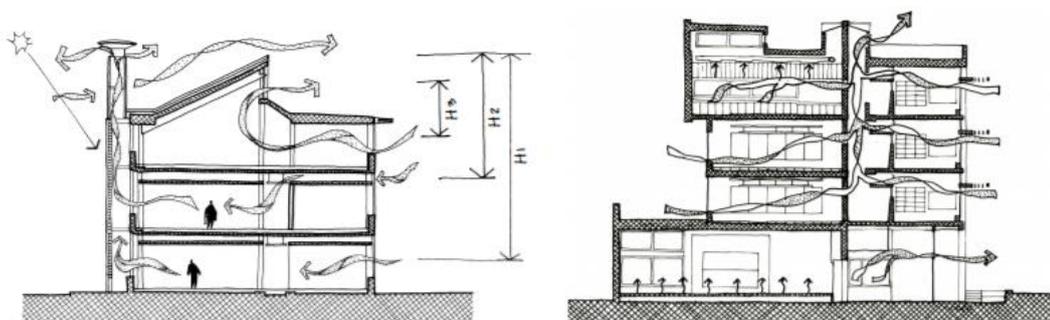
O potencial de conservação de energia demonstrado pelo histórico climatológico de Fortaleza é enorme. O uso de técnicas passivas para o controle ambiental, aproveitando-se dos recursos climáticos, permitiria **“economizar energia e aumentar o bem estar da população através do incremento do conforto térmico”** (LÔBO E BITTENCOURT, 2003). Também possibilitaria a diminuição do

desperdício energético, dos gastos com a manutenção do edifício e com seus equipamentos adaptativos (condicionadores de ar e ventiladores), o que também reduziria os investimentos públicos para a geração de energia elétrica. Ou seja, “a diminuição exógena da temperatura reduz a demanda por resfriamento e libera recursos que seriam destinados ao resfriamento de ambientes para serem direcionados ao consumo dos demais bens e serviços” (SOUZA JÚNIOR, 2015, p. 22).

A exploração da ventilação natural beneficia não só o conforto térmico mas também a higienização dos ambientes pois os micro-organismos, que são prejudiciais à saúde e se produzem em ambientes com ar saturado, são evitados graças à aeração e troca de ar no interior dos ambientes. A NR 17 (BRASIL, 1978) dá recomendações para que se evite a “síndrome do edifício doente”.

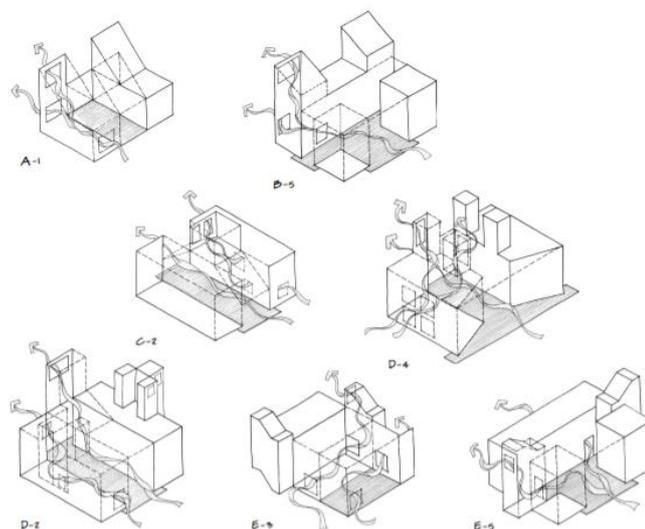
Quanto às explicações físicas que correspondem à ventilação: a movimentação das massas de ar é causada pela diferença de pressão em dois pontos, e essa diferença de pressão pode ser causada pela ação da velocidade do vento ou por diferença de temperatura entre os pontos. É desse fenômeno térmico natural do qual se aproveitam os dois tipos principais de ventilação passiva abordados nessa pesquisa: a ventilação cruzada e a ventilação por efeito chaminé (LABEEE, 2018a; FROTA; SCHIFFER, 2001, p.138). Devido a isso, para um melhor planejamento do aproveitamento de tal fenômeno, os projetistas devem dar mais importância ao desenvolvimento espacial em altura durante a produção dos projetos arquitetônicos (HEYWOOD, 2017) (Figura 15, e Figura 16).

Figura 15 - Ventilação por ação dos ventos e por efeito chaminé



Fonte: (DEKAY, 2001, p. 225).

Figura 16 - Esquemas tridimensionais de torres de vento



Fonte: (DEKAY, 2001, p. 229).

Existem três princípios que governam o movimento do ar:

1. A velocidade do vento é maior em maiores altitudes e menor próximo à superfície da terra, isso devido à irregularidade do solo e maior quantidade de construções que servem como obstáculos;
2. O ar tende a continuar movendo-se na mesma direção quando encontra um objeto, fluindo ao redor do mesmo, assim como a água flui ao redor das pedras de uma corredeira;
3. O ar flui de áreas de alta pressão para baixa pressão, questão diretamente ligada à sua temperatura e volume (DEKAY, 2001, p. 40). Logo, a ventilação apresenta três tipos de ação na relação com o ambiente construído: ela renova o ar, causa o resfriamento psicofisiológico e o resfriamento convectivo¹⁴.

O desempenho da ventilação natural em diversos tipos de edifícios foi estudado em cidades no Nordeste, como Leite (2015) em Fortaleza e Cândido (2010) e Lôbo (2003) em Maceió. Estudos anteriores mostram como o proveito desse recurso

¹⁴ O ar mais frio e mais denso exerce pressão positiva e o ar mais quente, menos denso, exerce baixa pressão. Este tende a subir e a partir daí criam-se as correntes de convecção.

nesse clima pode prover o conforto com baixo custo, se considerarmos desenhos e orientações de projeto.

2.8 Os limites da climatização natural

Mas existem limites para a climatização natural. A NBR 15220 esclarece em sua tabela 24 que “o condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes”. Complementarmente a essa afirmação, de acordo com Frota e Schiffer (2001), nas localidades **onde a temperatura supere os 28°C - que é considerado o limite do conforto humano - não é possível garantir o adequado desempenho térmico que garanta o conforto dentro dos espaços internos das construções apenas utilizando os recursos naturais**, porém, ainda assim, através de um bom projeto, deve-se evitar o ganho solar da edificação com o fim de se reduzir a demanda de equipamentos de ventilação ou refrigeração mecânicos.

Candido et al (2010) reafirma a preferência pela adoção de ventiladores em ambientes com temperaturas superiores a 28°C. “O uso de ventiladores pode ser bastante útil para incrementar a velocidade mínima necessária para o conforto dos usuários, principalmente em períodos de calmaria”.

Logo, como afirmado por Fontenelle (2016), a ventilação natural não deve ser a única estratégia responsável por garantir o conforto térmico. Ventilação e refrigeração mecânica também devem ser aproveitadas quando necessárias, sempre em busca da conciliação entre eficiência energética e bem-estar dos usuários.

Em artigo chamado “Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos”, Candido et al (2010) busca rever os limites de ventilação sugeridos pela norma de conforto ASHRAE 55, que especifica o limite máximo de 0,80 m/s para a velocidade do ar. Porém, em entrevistas com usuários sobre a preferência e aceitabilidade do movimento do ar, realizadas em Maceió, capital de Alagoas - outra cidade localizada na Zona Bioclimática 08 em situação costeira - foi obtido o resultado de que as velocidades máximas do ar indicadas pela ASHRAE 55 são inferiores às desejadas pelos usuários. “Os resultados da preferência do movimento do ar indicam que significativa percentagem dos usuários demanda ‘maior movimento do ar” (CANDIDO et al., 2010, p. 1). Logo, Candido et al (2010), em suas conclusões, recomenda que sejam adotadas então

valores mínimos de velocidade, e não máximos, o que parece ser necessário para o contexto climático do trópico úmido, visto que necessita-se de uma ventilação suficiente para renovação do ar interno dos ambientes. Recomenda também que **valores acima de 0,80m/s, e até 1,60m/s, sejam considerados como passíveis de aceitação pelos usuários** e, por sua vez, deveriam ser adotados em climas quentes e úmidos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta pesquisa produziu simulações, por meio de ferramentas *Computational Fluid Dynamics* (CFD)¹⁵, para avaliar quali-quantitativamente a influência da ventilação natural (fenômeno convectivo das massas de ar) no desempenho térmico das edificações. Logo, a composição da matéria dos planos de vedação não importa, mas sim apenas sua inter-relação espacial, tanto na escala urbana quanto na escala do edifício (LEITE, 2015). É essa distribuição e relação entre planos abertos e fechados que define, internamente à construção, a direção e intensidade dos fluxos das correntes de ar.

O objeto de estudo se encontra no bairro Planalto Pici, na região oeste da cidade de Fortaleza, Ceará. A escolha dos objetos arquitetônicos analisados foi feita a partir da pesquisa de Mororó (2012), que trata das habitações autoconstruídas em lotes estreitos e seus processos progressivos de produção espontânea. Em sua pesquisa, diversas vezes, inclusive entre suas considerações finais, nos chama a atenção sobre a indiscutível necessidade de estudos complementares quanto às condições de conforto e salubridade na organização dessas moradias.

As simulações aqui descritas foram realizadas de forma desassociada, com base em metodologia empreendida por Leite (2015). A diferenciação entre os termos “área de estudo” e “local de estudo” referem-se, respectivamente, às simulações feitas no espaço urbano e nos espaços internos dos edifícios. Tal denominação é necessária para que não se confundam as duas fases da simulação.

Primeiramente, foi simulada a ventilação natural na escala urbana, levando em consideração o entorno imediato ao lote escolhido (local de estudo) para implantação de cada uma das dez habitações autoconstruídas escolhidas. As dez diferentes unidades habitacionais foram inseridas em um mesmo local de estudo, de maneira que todos os exemplares fossem expostos às mesmas condições urbanísticas, para que assim o desempenho dos espaços internos, e suas diferentes

¹⁵ A sigla CFD significa em inglês *Computational Fluid Dynamics*, ou Dinâmica de Fluidos Computacional, permite estudar o escoamento de fluidos, com transmissão de calor ou transporte de massa, mudança de fase, reações químicas, movimentos mecânicos e tensões entre outros. Os programas são baseados na modelação matemática para simulação do comportamento térmico e do escoamento dos fluidos (LEITE, 2010, p. 91).

configurações, sejam comparados dentro de uma mesma situação de exposição à ventilação natural. Assim, escolheu-se um lote de aproximadamente 5 metros de frente por 20 metros de fundo, o qual serviu como terreno para alocar as tipologias escolhidas.

Na segunda fase dos estudos, as simulações consideraram o objeto arquitetônico selado e apresentaram-se de duas formas: com e sem a torre de vento. Nesta etapa das simulações foram aferidas as pressões no centro das esquadrias externas, bem como no centro das aberturas dos captadores de vento. “A metodologia empreendida representa alternativa viável e, almeja-se, mais prática e acessível a projetistas para avaliar os impactos da forma urbana sobre o potencial de ventilação natural de edifícios” (LEITE, 2017).

3.1 Caracterização da área de estudo e do contexto urbano

O bairro Planalto Pici é caracterizado principalmente por ser residencial de baixa renda, cuja gradativa ocupação se deu a partir da década de 1950, prolongando-se até a década de 1990. A área localiza-se dentro da Zona Especial de Interesse Social (ZEIS). Atualmente o plano diretor do município classifica esta região como zona de requalificação urbana e destina-se à requalificação urbana e ambiental. As residências localizadas nessa região possuem baixo gabarito e não apresentam recuos laterais de uma maneira geral.

Foi escolhida uma área de 77.366 m², em região de topografia plana, sem construções de grande porte (Figura 17) como sendo um entorno imediato para esta análise.

Figura 17 - Área de estudo e local de estudo



Fonte: (GOOGLE EARTH, 2019). Elaborado pelo autor.

3.2 Caracterização do local de estudo e unidades habitacionais

Com o fim de alcançar o primeiro objetivo específico desta pesquisa - definir quais são as tipologias arquitetônicas mais recorrentes de modo a definir um universo plausível de estudos de caso - passamos a definição dos parâmetros que definem a tipologia da habitação construída em lote estreito.

O estudo de caso consiste no estudo de alguns objetos, e é uma das técnicas mais adequadas para entender um “fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real” (GIL, 2010). Após a seleção dos exemplares arquitetônicos será feita a coleta de dados das simulações informáticas da ventilação nos espaços internos dos projetos habitacionais.

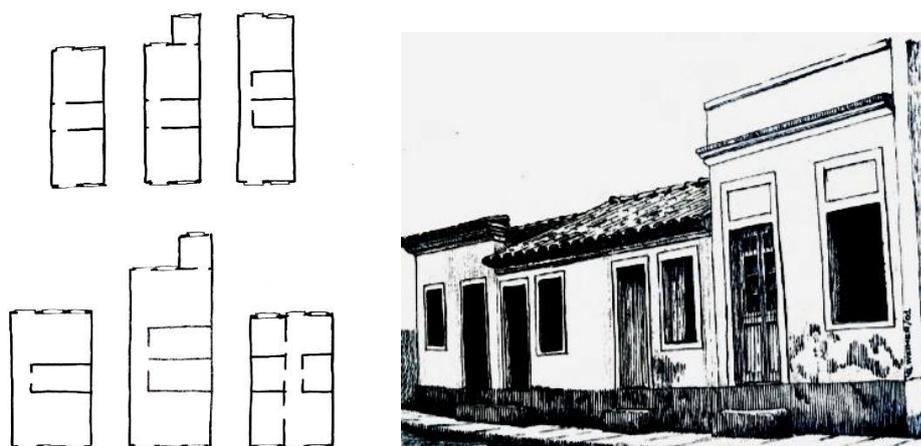
O presente estudo define um pequeno universo de 10 exemplares selecionados a partir de estatísticas dimensionais obtidas graças à pesquisa de Mororó (2012).

Os objetos de estudo podem ser caracterizadas como habitações em lotes estreitos. Estreito é o que tem pouca largura ou apertado demais (BARSA, 2012). A presente pesquisa adotará o conceito de estreito a partir da Lei 6.766/79 (BRASIL, 1979), Lei Federal que dispõe sobre o parcelamento do solo, onde se determina que nenhum lote terá frente inferior a 5 metros, a não ser em situações específicas ou destinada para conjuntos de interesse social que for projetado para comportar situações de habitações de interesse social. A justificativa para isso é a que quanto

menor a área do lote, mais difíceis de superar serão os condicionantes climáticos para que a habitação tenha um desempenho térmico e energético adequado.

Terrenos de dimensões tão estreitas praticamente obrigam que a distribuição dos ambientes se faça a partir do acesso às vias públicas em direção aos fundos do lote. Essa é uma tradição arquitetônica que vem desde os tempos do Brasil Colonial (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 - Casas de porta e janela em Fortaleza, Ceará



Fonte: (WEIMER, 2012, p. 196 e 197).

Figura 19 - Planta residencial da segunda metade do século XX



Fonte: (REIS FILHO, 2006, p. 49).

Quanto ao recorte da categoria tipológica de edifício, serão analisadas construções habitacionais unifamiliares que apresentem somente o pavimento térreo.

A altura máxima e a profundidade máxima não serão exigidas, desde que sejam respeitadas as exigências de uso unifamiliar e número de pavimentos.

Durante a pesquisa de Mororó (2012) foram produzidos levantamentos físicos¹⁶ de 94 plantas baixas de unidades habitacionais do bairro do Planalto Pici. Nesses levantamentos foram consideradas as dimensões das paredes internas, suas aberturas de portas e janelas, e suas relações com os corredores e paredes externas.

Essas unidades caracterizam, de maneira geral, a forma precária que estas construções se encontram em relação à aplicação de métodos passivos de ventilação e iluminação natural, principalmente em relação às zonas de dormir, que predominantemente localizam-se na zona intermediária do lote, sem aberturas para o exterior que permitiriam aeração e iluminação natural, o que gera problemas relacionados à insalubridade e ao conforto térmico.

Fato é que o conjunto de políticas habitacionais não tem conseguido atender às demandas sociais em termos quantitativos e qualitativos, o que tem conduzido considerável percentual da população a alternativas informais de acesso a terra, sob a forma de ocupação de espaços inadequados, com precárias condições de salubridade e sem acesso a infraestruturas. (MORORÓ, 2012).

De modo a abranger um maior número de unidades, do total de unidades pesquisadas por Mororó (2012), foram escolhidas habitações que estejam dentro de uma maioria estatística. Foram usadas as características dimensionais da testada, da relação entre lateral e frente do objeto arquitetônico e da área construída da habitação (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros de seleção

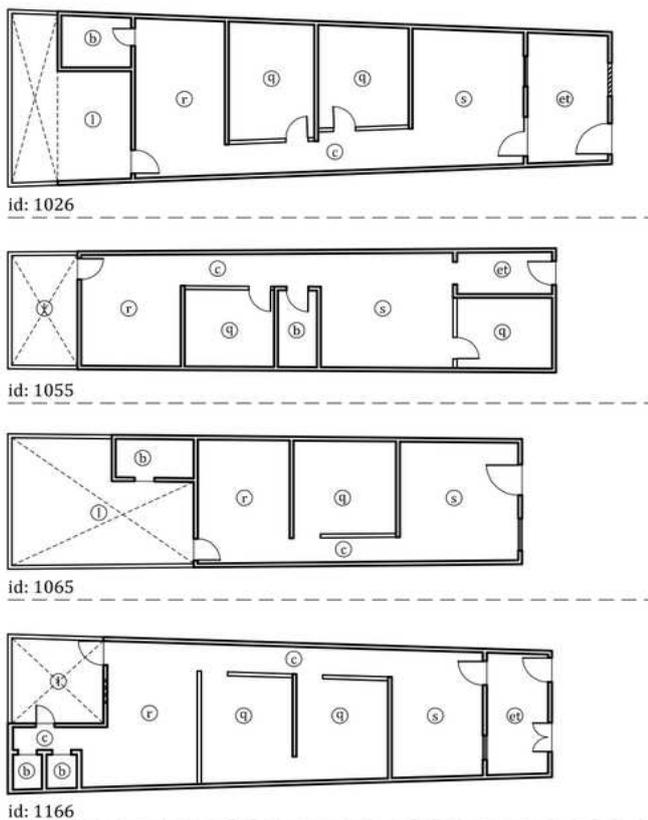
Parâmetro	Mínimo e máximo	Percentual de unidades
Testada do Lote	3,5m - 4,5m	76,6%
Relação entre lateral e frente	3,0 - 4,5	72,4%
Área do Lote	50m ² - 70m ²	68,0%

Fonte: (MORORÓ, 2012). Elaborado pelo autor.

¹⁶ Os levantamentos físicos de edificações, também chamados simplesmente de levantamentos arquitetônicos, são realizados a partir de medições no local da obra e representação gráfica de seus elementos arquitetônicos, através de desenhos técnicos como plantas, cortes, fachadas, perspectivas, memoriais e outros, conforme o caso (CAU/BR, 2014).

A implantação destas habitações (Figura 20), devido à falta de afastamentos laterais e frontais, acaba por não permitir a ventilação cruzada ou iluminação natural devida em seus ambientes internos, o que não permite um conforto térmico e ambiental adequado.

Figura 20 - Plantas baixas das unidades



Fonte: (MORORÓ, 2012, p. 163).

Usaremos a testada como ponto de partida inicial, pois, de acordo com Mororó (2012), 76,6% do total das 94 unidades apresentam testadas entre 3,5 metros e 4,5 metros. A testada é um fator determinante pois é a área que determina a possibilidade de aberturas para o ambiente externo que possibilitem o acesso da ventilação natural, visto que a construção não apresenta recuos laterais (Tabela 2).

Logo após, passaremos à análise da relação proporcional entre lateral e frente do lote. Essa relação entre largura e comprimento lateral da unidade habitacional tem grande influência no desenvolvimento, positivo ou negativo, da velocidade do vento. Do total das unidades, 72,4% apresentam relação entre 3 e 4,5.

Após essa segunda filtragem foram selecionadas unidades com área de lote entre 50 e 70 metros quadrados, pois 68% das 94 unidades estão dentro dessa variação. Em seguida à definição da maioria estatística, foram selecionadas unidades que estivessem dentro dos parâmetros de seleção.

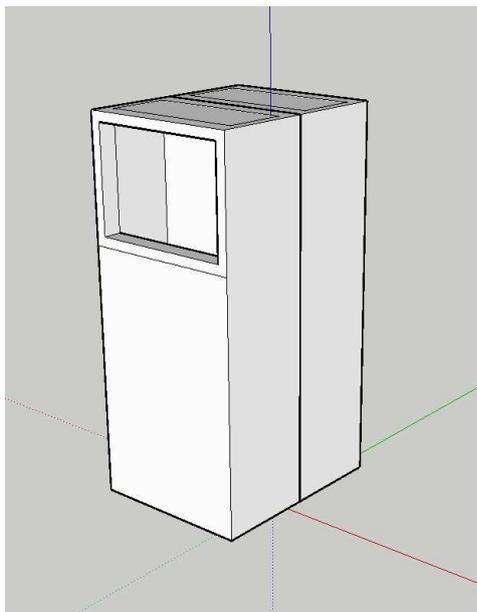
Tabela 2 - Características dimensionais dos exemplares arquitetônicos

Unidade	Código	Testada (m)	Lateral (m)	Área do Lote (m ²)	Relação Lateral/Frente
01	1055	4,04	17,27	67,78	4,27
02	1065	4,06	16,20	68,60	3,99
03	1172	4,44	12,76	56,65	3,99
04	1186	4,06	15,34	58,13	3,90
05	1641	4,14	15,13	60,40	3,65
06	1672	4,12	14,12	58,62	3,42
07	1690	3,10	13,42	41,60	4,33
08	2594	4,08	15,63	63,77	3,83
09	2596	3,75	17,56	65,85	4,68
10	2724	4,15	15,43	64,03	3,71

Fonte: (MORORÓ, 2012). Elaborado pelo autor.

A modelagem da torre de vento foi feita adotando-se esta com 3 metros de altura, 1 metro de abertura e um duto de 0,5 x 1,00 metros (Figura 21).

Figura 21 - Torre de vento padrão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os captadores de vento foram alocados nos dormitórios, que são os ambientes mais prejudicados em relação ao potencial de ventilação. Tratam-se daqueles cômodos localizados na zona intermediária das habitações, sem janelas e com a única esquadria sendo a porta de entrada para o ambiente.

3.3 Simulações computacionais

A simulação, segundo Pegden (1995), é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.

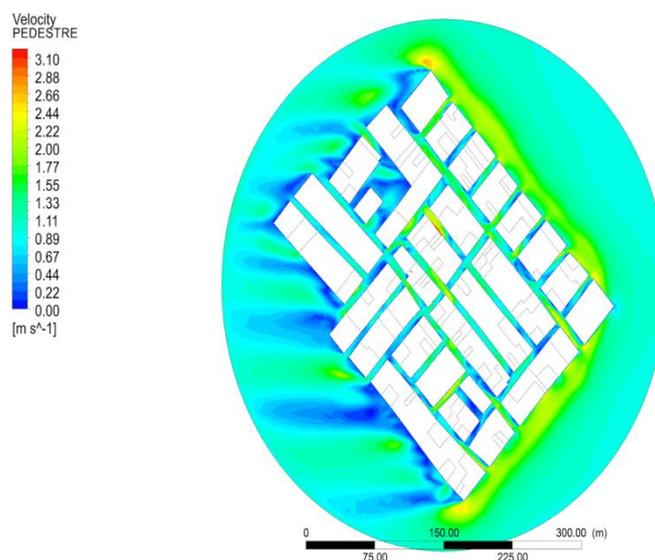
Com a evolução da informática, várias ferramentas de auxílio ao projetista foram produzidas. Quanto a simulações ambientais, houve um salto na capacidade de dimensionar a eficiência energética de edificações antes mesmo delas serem construídas, ou até mesmo, simulações para melhorias de habitações já construídas.

Para esta análise, utilizou-se o software ANSYS no seu módulo de análise CFX (um aplicativo CFD), para a simulação fluidodinâmica da área urbana e do interior da habitação.

Partiu-se da criação de um domínio, ou seja, um espaço físico para que o fluido possa perpassar e interagir com o modelo da cidade. Foi utilizado um modelo circular de domínio, onde a circunferência se dá 5 vezes a maior altura da edificação encontrado na área de estudo (Figura 22) (COSTA, 2004).

As simulações aqui descritas foram realizadas de forma desassociada, com base em metodologia empreendida por Leite (2015). Primeiramente, foi simulada a ventilação natural na escala urbana, levando em consideração o entorno imediato ao lote escolhido para implantação de cada uma das dez habitações autoconstruídas escolhidas.

Figura 22 - Modelo de domínio para simulação CFD de perímetro urbano



Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizou-se a Equação 1 (BRE, 1978) para emular o gradiente de vento a partir da rugosidade da cidade além do entorno imediato. Foram utilizados os coeficientes de área urbana para calcular o gradiente de ventos, haja vista que o sítio se localiza na porção oeste da cidade.

Equação 1 - Emulação do gradiente de vento a partir da rugosidade da cidade

$$V = V_M \times K \times Z^a$$

Onde:

V = velocidade média do vento à determinada altura [m/s];

V_m = velocidade inicial de referência do estudo [m/s];

z = altura determinada [m];

k, a = coeficientes de rugosidade do terreno.

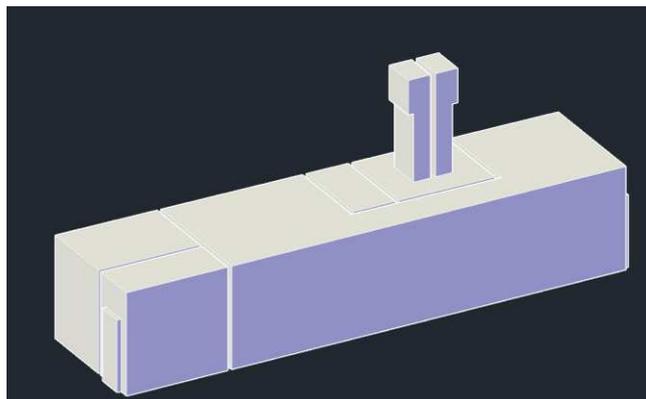
Tabela 3 - Coeficientes de rugosidade segundo as características do terreno

Coeficientes do terreno	k	A
Área aberta plana	0,68	0,17
Campo com obstáculos espaçados	0,52	0,20
Área urbana	0,35	0,25
Centro de cidade	0,21	0,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de pressão retirados dos diferentes modelos, utilizando o mesmo entorno e o mesmo domínio, alimentam uma segunda forma de simulação, utilizando a modelagem interna de cada uma das dez residências (Figura 23). Esta segunda análise foi separada em dois cenários, um primeiro onde se simula sem captadores de vento para entender como o espaço se comporta e qual o cômodo de maior estagnação de vento. Em um segundo momento, é inserido o captador de vento no meio do julgado pior ambiente. Assim, os dados retirados dessas análises são as trocas de ar por hora, que são calculadas a partir da Equação 2, além da velocidade do ar no meio de cada um desses cômodos. Tal informação é fundamental para análises de desempenho térmico de edifícios naturalmente ventilados nos trópicos (BITTENCOURT, 1997).

Figura 23 - Modelo de habitação com torre de vento aplicada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Equação 2 - Trocas de ar por hora

$$A_c = (M_{fs} \cdot 3600 \cdot 1,204) \div V_d$$

Onde:

A_c = Trocas de ar por hora [m^3/h];

M_{fs} = Fluxo de massa de saída [Kg/s];

3600 = Quantidade de segundos em uma hora [s];

1,204 = Densidade aproximada do ar a 20°C;

V_d = Volume do domínio [m^3].

Para a coleta de dados será utilizada a Dinâmica de Fluidos Computacional, conhecida pela sigla CFD (Computational Fluid Dynamics), que permite a análise de diversos processos associados ao vento, deslocamento de fluidos e transmissão de calor (LEITE, 2015).

No nordeste brasileiro, a velocidade do ar deve ser maior quanto maiores as temperaturas (LEITE, 2015, p. 90). Após a identificação da velocidade do ar ideal e das condições térmicas ideais, passaremos a uma valoração do desempenho bioclimático dos edifícios estudos de caso.

4 RESULTADOS

Seguindo as recomendações de Candido (2010), que aconselha que a velocidade do ar em climas quentes e úmidos esteja entre os valores de 0,80m/s até 1,60m/s, adotaremos como ventilação natural exitosa os espaços que demonstrarem uma velocidade do ar que esteja dentro da faixa de velocidade especificada acima.

Das dez edificações simuladas, somente uma delas, a tipologia 07, não alcançou a velocidade de 0,8 m/s como recomendado por Candido (2010). Essa também foi a unidade que apresentou o menor incremento na velocidade da ventilação. Houve uma alteração realmente insignificante para que fosse possível causar algum impacto na sensação de conforto.

É importante salientar, novamente, que a média das temperaturas de Fortaleza oscila entre 29°C a 31°C (LIMA JUNIOR, 2018), ou seja, visto que em alguns momentos do dia alcança-se temperaturas superiores a 28°C, será necessária a ajuda mecânica, sejam ventiladores ou ar condicionado, para o controle climático durante esses momentos mais quentes (CANDIDO et al, 2010; FROTA; SCHIFFER, 2001).

O desempenho da ventilação, como podemos verificar em todas as plantas, é muito abaixo do mínimo necessário para se evitar o desconforto térmico nos ambientes (CANDIDO et al., 2010). Devido a similaridade da distribuição das funções nos dez exemplares arquitetônicos, nota-se um padrão de ventilação natural por cada tipo de ambiente, seja ele social ou privado.

As salas e cozinhas apresentam ventilação bastante superior aos quartos. Os ambientes mais sociais das casas são atravessados pelas correntes de ar produzidas pela ventilação natural pois possuem aberturas para fora da construção. São também conectadas, de “ponta a ponta” da casa, por corredores retilíneos, que se desenvolvem em paralelo às dimensões laterais do lote, o que permite um fluxo contínuo de entrada e saída de ar que atravessa toda a extensão da unidade habitacional. Claramente, para um melhor desempenho, as aberturas das paredes lindeiras à frente e ao fundo do lote devem 1) apresentar a maior área de abertura possível e 2) devem as aberturas desbloqueadas, para permitir a passagem do fluxo de ar.

Os quartos localizam-se na zona intermediária do lote e não apresentam aberturas para os espaços externos da construção devido à ausência de recuos

laterais. Isso faz com que a velocidade do ar seja bastante próxima a zero visto que não apresenta grandes possibilidades de diferença de pressão que permitiriam o desenvolvimento do fenômeno convectivo.

Na Tabela 4 e na Figura 23, as siglas ST e CT significam respectivamente “sem torre” e “com torre”, indicando assim situação da ventilação antes da instalação da torre de vento e após a instalação da mesma.

Os modelos simulados estão representados por plantas e cortes, de maneira a facilitar a leitura gráfica dos movimentos do ar. Apesar das simulações terem sido executadas em modelos virtuais tridimensionais, a representação bidimensional simplifica e facilita a possibilidade de leitura gráfica do desempenho da ventilação.

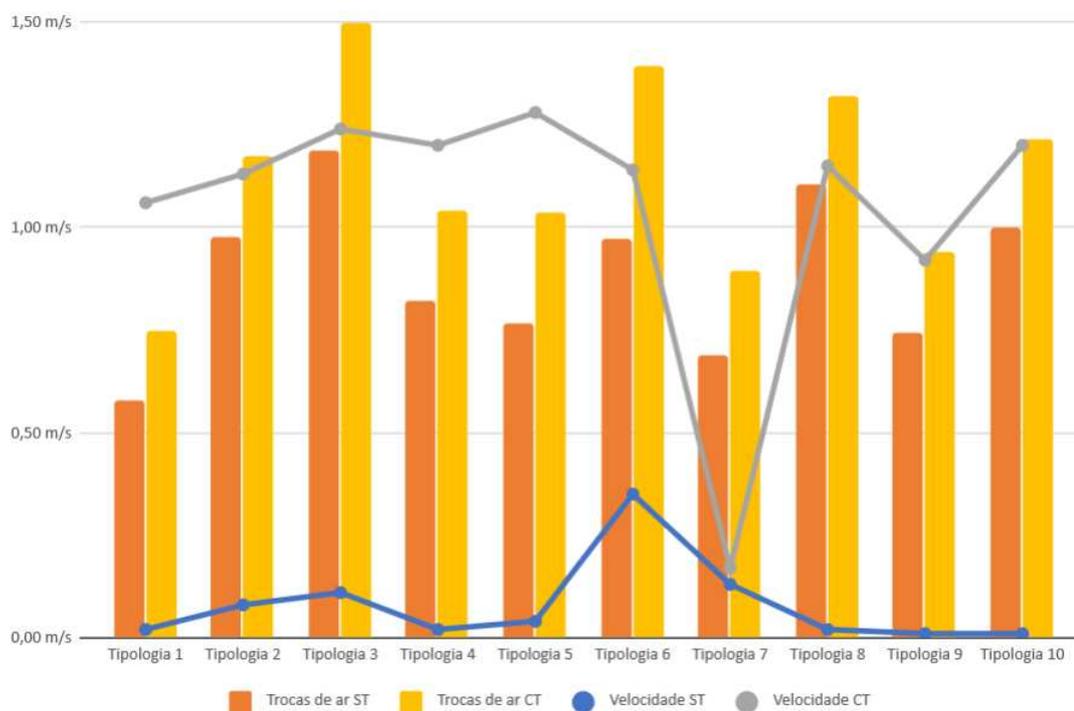
Os cortes horizontais representam o movimento do ar à altura de 1,50 metros. Os cortes verticais correspondem ao eixo central da torre de vento.

Tabela 4 - Resultados das simulações da velocidade do vento dentro dos quartos das unidades habitacionais

Tipologia	Velocidade ST	Trocas de ar ST	Velocidade CT	Trocas de ar CT
Tipologia 1	0,02 m/s	39,25 Ac/h	1,06 m/s	50,59 Ac/h
Tipologia 2	0,08 m/s	66,10 Ac/h	1,13 m/s	79,48 Ac/h
Tipologia 3	0,11 m/s	80,39 Ac/h	1,24 m/s	101,54 Ac/h
Tipologia 4	0,02 m/s	55,47 Ac/h	1,20 m/s	70,60 Ac/h
Tipologia 5	0,04 m/s	51,82 Ac/h	1,28 m/s	70,11 Ac/h
Tipologia 6	0,35 m/s	65,92 Ac/h	1,14 m/s	94,44 Ac/h
Tipologia 7	0,13 m/s	46,46 Ac/h	0,17 m/s	60,44 Ac/h
Tipologia 8	0,02 m/s	74,80 Ac/h	1,15 m/s	89,45 Ac/h
Tipologia 9	0,01 m/s	50,19 Ac/h	0,92 m/s	63,60 Ac/h
Tipologia 10	0,01 m/s	67,75 Ac/h	1,20 m/s	82,35 Ac/h

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Resultados das simulações da velocidade do vento dentro dos quartos das unidades habitacionais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De maneira geral, foi constatado que a ventilação pré-existente nos quartos simulados apresentam velocidades que variam entre 0,01 m/s e 0,35 m/s. **Com a inserção das torres sobre os ambientes a velocidade aumentou para valores entre 0,7 m/s e 1,28 m/s**, com incrementos maiores em algumas unidades e bem menores em outras.

4.1 Unidade Habitacional 01

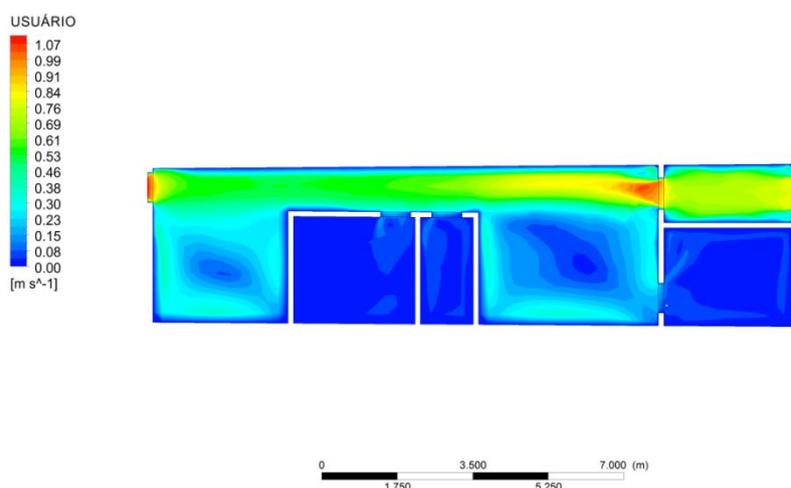
O desempenho da ventilação natural na residência 01 está representado nas Figuras 24 a 27. A implantação das torres de vento sobre os quartos desta moradia conseguiu aumentar a velocidade média do vento de 0,02 m/s para 1,06 m/s, um aumento total 53 vezes do que a velocidade inicial.

Essa unidade habitacional, junto às unidades 04, 05, 07, 08 e 09, antes da implantação da torre de vento, são as que apresentam as piores condições de ventilação, com valor inferior a 0,5 m/s.

Na Figura 24, que ilustra a planta da unidade habitacional 01, ainda sem torre, pode-se verificar que o vento vem do lado direito da imagem, passando pela porta de entrada onde, devido ao efeito funil, tem a pressão aumentada, o que conseqüentemente aumenta sua velocidade (mancha avermelhada da imagem). A partir daí inicia a redução da velocidade até a saída do corredor.

Os ambientes intermediários da habitação, correspondentes aos quartos, têm velocidade de ventilação próximo a zero, exatamente devido à falta de saídas que permitam a entrada e saída de ar, afinal, dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo (Figura 10).

Figura 25 - Unidade Habitacional 01 - planta sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

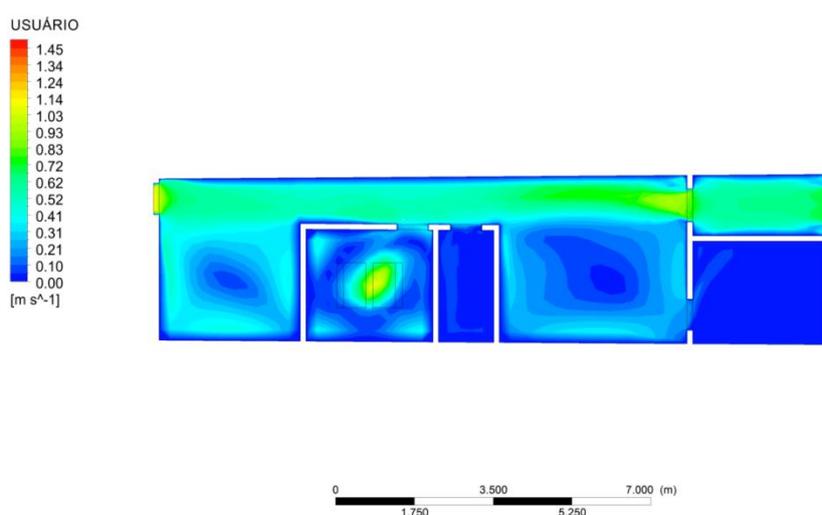
O corte vertical que representa a planta da habitação após a implantação da torre (Figura 28) foi feito a uma altura de 1,50 metros em relação ao nível do piso inferior, altura essa localizada ainda à altura dos ocupantes. Assim, de acordo com a interpretação das imagens e da leitura das cores representantes das respectivas velocidades, a velocidade do vento que entra em contato com os usuários varia, aproximadamente, entre 0,7 m/s e 1,0 m/s. Na Figura podemos notar a velocidade do vento que entra na torre de vento graças às cores vermelhas e amarelas - alcançando a velocidade de 1,45 m/s nos pontos de turbulência internos à torre - e sua redução

de velocidade à saída, visualizada através da cor amarela que vai transformando-se em verde.

Na Figura 26 pode-se ver a torre de vento em funcionamento. O quarto que anteriormente apresentava uma circulação de ar com velocidade próxima a zero (0,02 m/s), agora apresenta uma velocidade de 1,06 m/s - aumento de velocidade em 53 vezes - graças à entrada e exaustão zenital do ar, que resulta ser a única maneira de se abrir passagens para o exterior tendo em vista a impossibilidade de se abrir esquadrias para as laterais do lote.

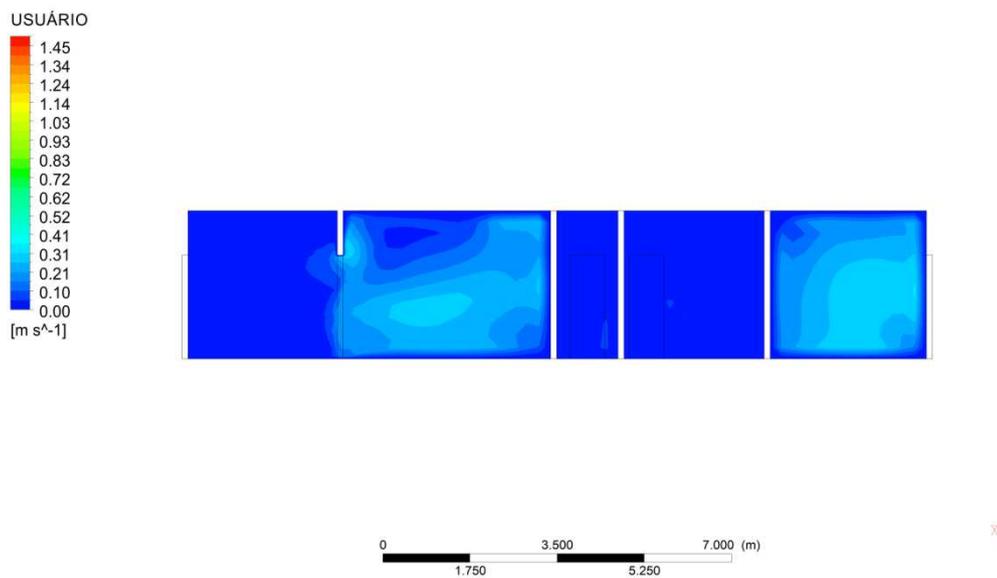
O corte vertical que representa a planta da habitação após a implantação da torre (Figura 28) foi feito a uma altura de 1,50 metros em relação ao nível do piso inferior, altura essa localizada ainda à altura dos ocupantes. Assim, de acordo com a interpretação das imagens e da leitura das cores representantes das respectivas velocidades, a velocidade do vento que entra em contato com os usuários varia, aproximadamente, entre 0,7 m/s e 1,0 m/s. Na Figura podemos notar a velocidade do vento que entra na torre de vento graças às cores vermelhas e amarelas - alcançando a velocidade de 1,45 m/s nos pontos de turbulência internos à torre - e sua redução de velocidade à saída, visualizada através da cor amarela que vai transformando-se em verde.

Figura 26 - Unidade Habitacional 01 - planta com torre



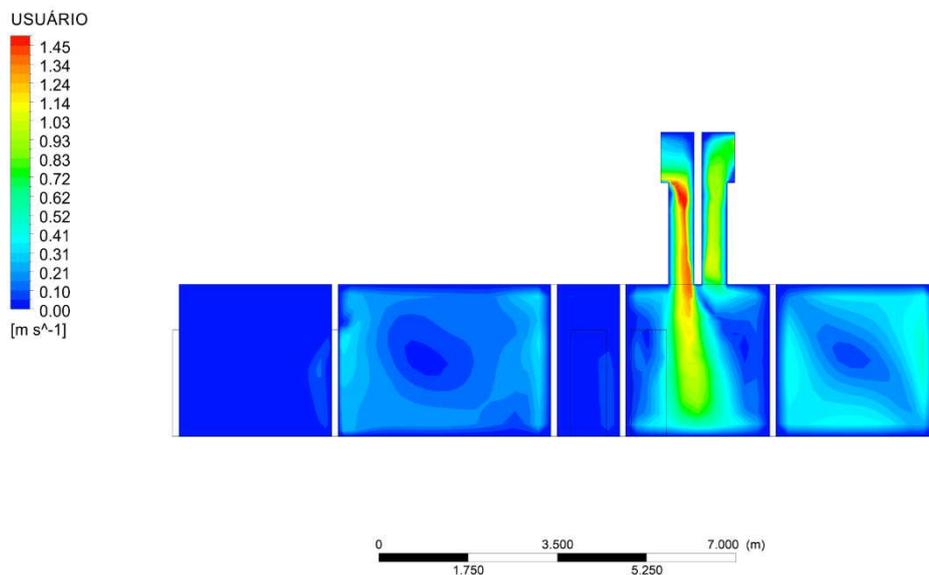
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Unidade Habitacional 01 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 - Unidade Habitacional 01 - corte com torre

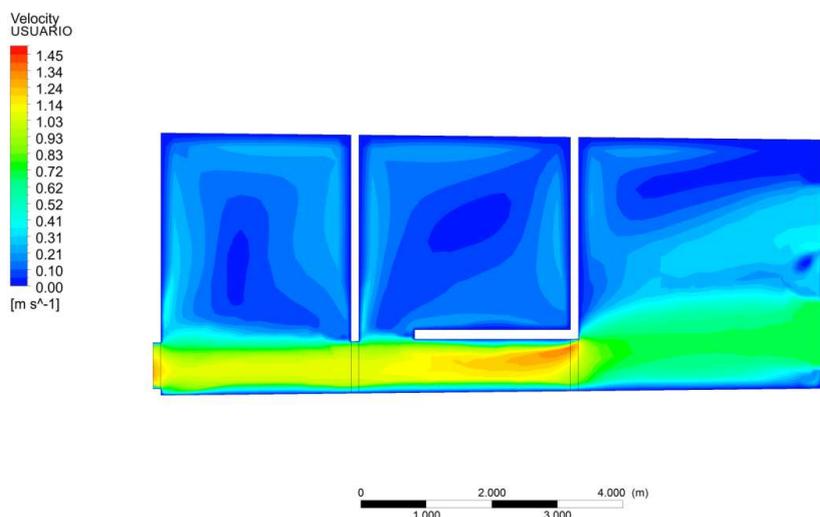


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Unidade Habitacional 02

A unidade habitacional 02 possui somente três ambientes. O ar apresenta baixa velocidade ao entrar pelas duas esquadrias frontais da residência, porém, devido à menor quantidade de barreiras, o que permite a continuidade do vento, a esquadria que está alinhada ao corredor de distribuição apresenta correntes de ar mais velozes de aproximadamente $0,8 \text{ m/s}^{17}$. Ao passar pela sala perde velocidade pois distribui-se pelo espaço. Ao encontrar o corredor, devido à diminuição da área de penetração, o vento recupera velocidade devido a pressão que surge, alcançando velocidade aproximada de $1,10 \text{ m/s}$, que volta a baixar ao encontrar a cozinha, que está aos fundos da casa, mas sem uma grande variação visto que a esquadria que dá acesso ao exterior da construção está praticamente alinhada ao eixo do corredor, o que permite que o vento não tenha que fazer grandes desvios, o que normalmente o faz perder velocidade.

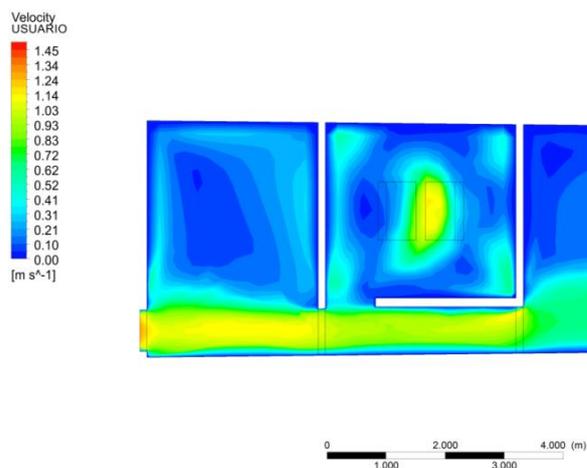
Figura 29 - Unidade Habitacional 02 - planta sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹⁷ Do ponto de vista da distribuição do mobiliário interno, essa seria uma posição da sala para boa colocação de mobiliários de maior tempo de permanência como sofás ou mesas de trabalho.

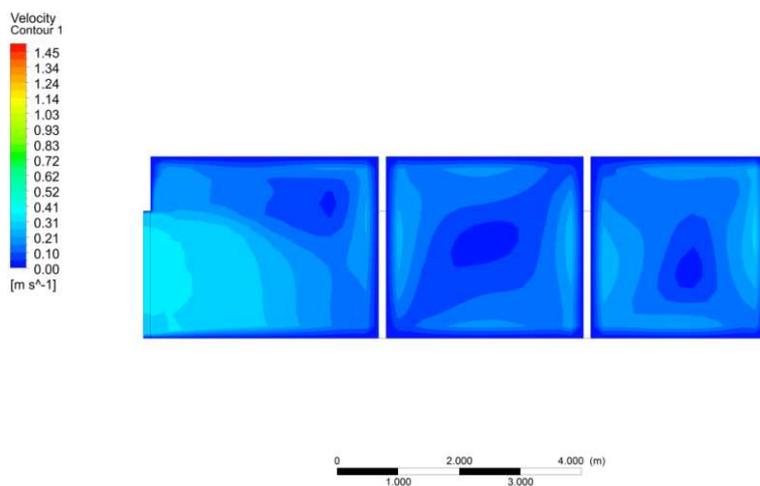
Figura 30 - Unidade Habitacional 02 - planta com torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

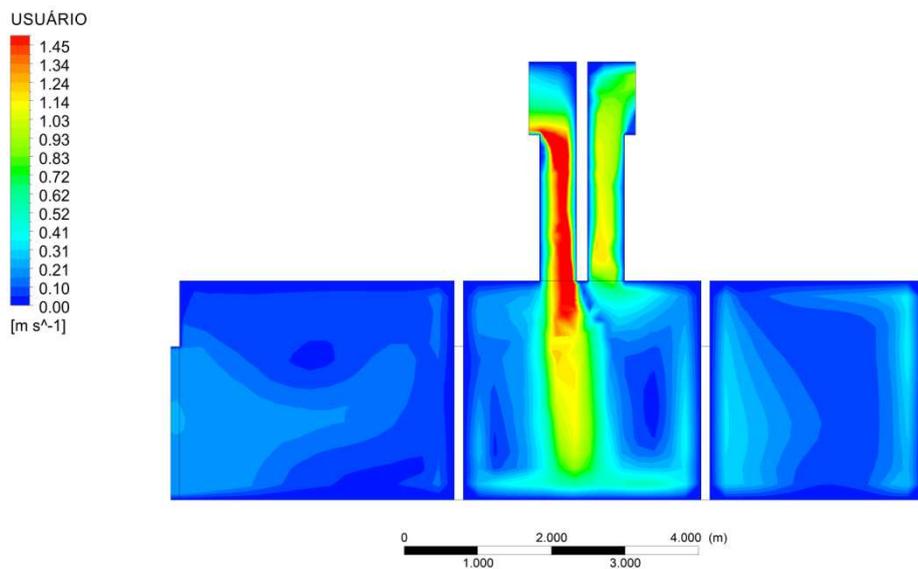
Ao comparar as plantas correspondentes à planta sem torre e com torre pode-se verificar a diminuição da velocidade do vento ao entrar no corredor. Isso se deve pois o volume total de ar que anteriormente entrava pelas duas esquadrias frontais agora passa a ser atraído para a parte superior da construção devido a existência da torre de vento. Assim, parte da quantidade de ar que antes se concentrava sobre a fachada passará agora por cima da moradia, reduzindo a quantidade de ar que entra pelas esquadrias frontais mas aumentando a pressão de exaustão sobre a saída da torre de vento (Figura 29, Figura 30 e Figura 32).

Figura 31 - Unidade Habitacional 02 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 - Unidade Habitacional 02 - corte com torre



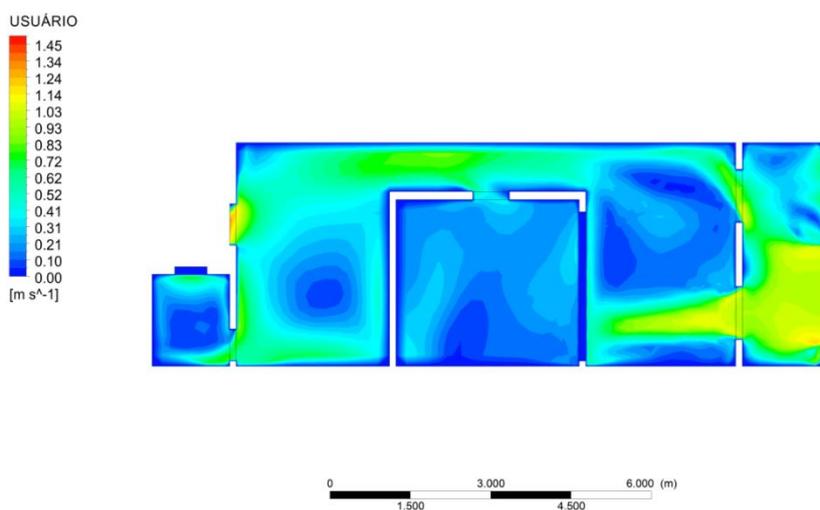
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Unidade Habitacional 03

A unidade habitacional 03 é a residência que apresenta menor distância entre a frente e o fundo da construção. Essa distância menor facilita o deslocamento da massa de ar visto que a perda de velocidade deve-se também ao cumprimento dos dutos e os obstáculos em seu interior, mas, devido à distribuição de aberturas não estarem em uma distribuição retilínea na construção, há a criação de obstáculos para o fluxo do vento, o que o obriga a “fazer curvas”, o que dificulta o desenvolvimento da velocidade do ar.

Na planta original da habitação (Figura 33) pode-se notar a velocidade do ar aproximada de 1,0 m/s, ao entrar na edificação, representada pela cor amarela, mas, ao defrontar-se com a parede do quarto, a velocidade do ar diminui aproximando-se a zero. Na parede do quarto há uma pequena janela em faixa que abre para a sala. Graças a essa abertura (apresentada no corte da construção) (Figura 36) a velocidade do ar, anterior à instalação à torre de vento, é de 0,11 m/s.

Figura 33 - Unidade Habitacional 03 - planta sem torre

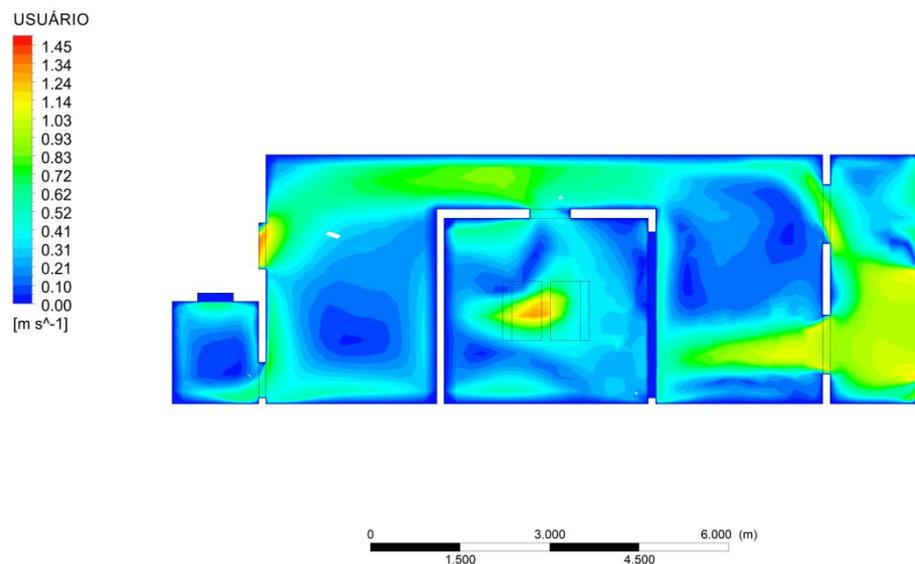


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na planta, após a instalação da torre, a velocidade do ar continua quase inalterada nos ambientes sociais da casa (Figura 34), porém há um aumento significativo no quarto, alcançando a velocidade de 1,24 m/s.

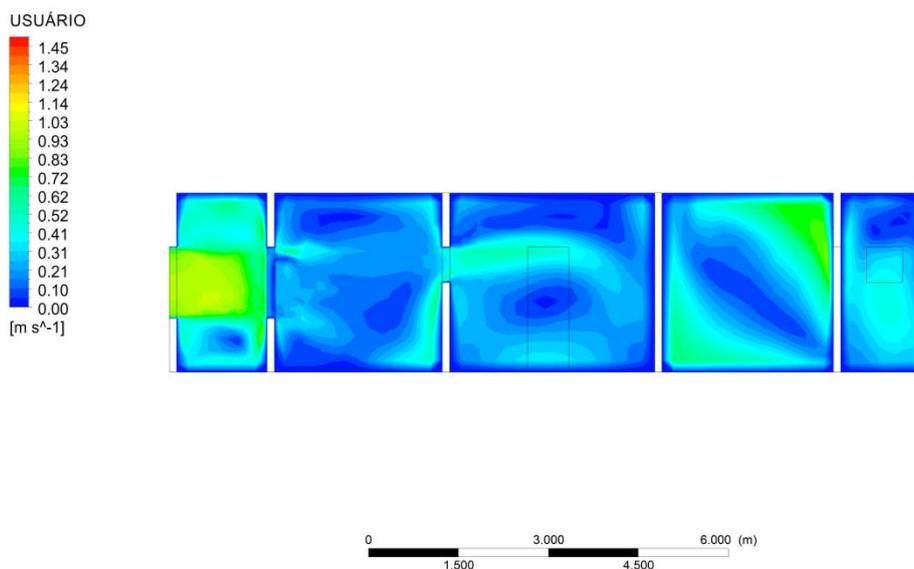
A habitação 03 alcança o segundo melhor desempenho entre as dez unidades simuladas (perdendo somente para a habitação 05, que alcançou a velocidade de 1,28 m/s).

Figura 34 - Unidade Habitacional 03 - planta com torre



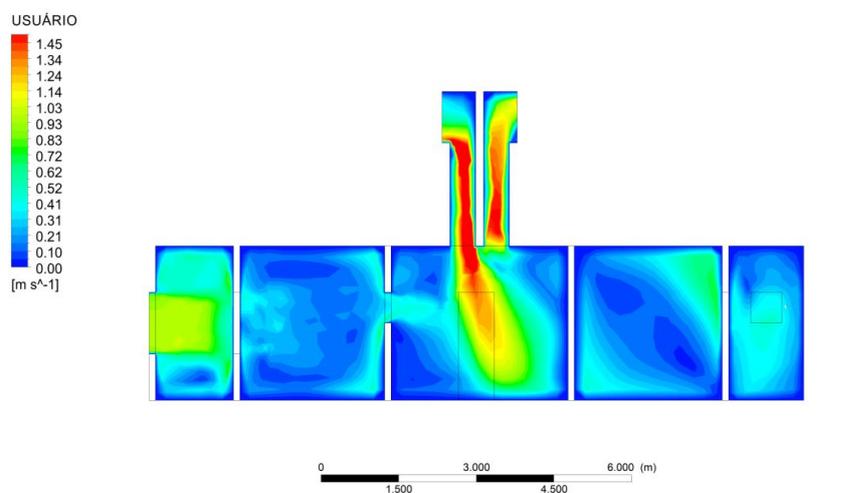
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 - Unidade Habitacional 03 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 - Unidade Habitacional 03 - corte com torre



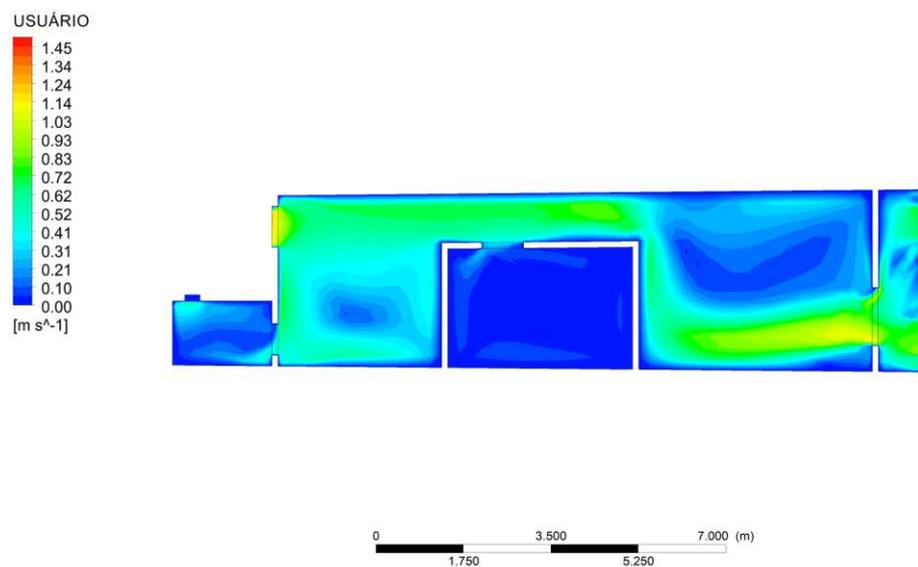
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Unidade Habitacional 04

A unidade 04 apresenta uma distribuição de ventilação similar à unidade 03, onde a corrente de ar principal de entrada se choca com uma parede, devendo desviar em direção ao corredor para continuar seu fluxo, perdendo assim velocidade. Porém, diferentemente da moradia 03, a sala da moradia 04 possui somente uma esquadria e, devido a má distribuição de aberturas na frente da construção, concentra toda sua ventilação em apenas um lado da sala, fazendo assim com que a parte próxima a abertura permita ventilação de aproximadamente 1,0 m/s, enquanto a outra metade do cômodo alcança velocidade aproximada que varia entre 0,1 m/s e 0,4 m/s, valores bem inferiores ao 0,8 m/s indicado por Candido (2010) (Figura 37).

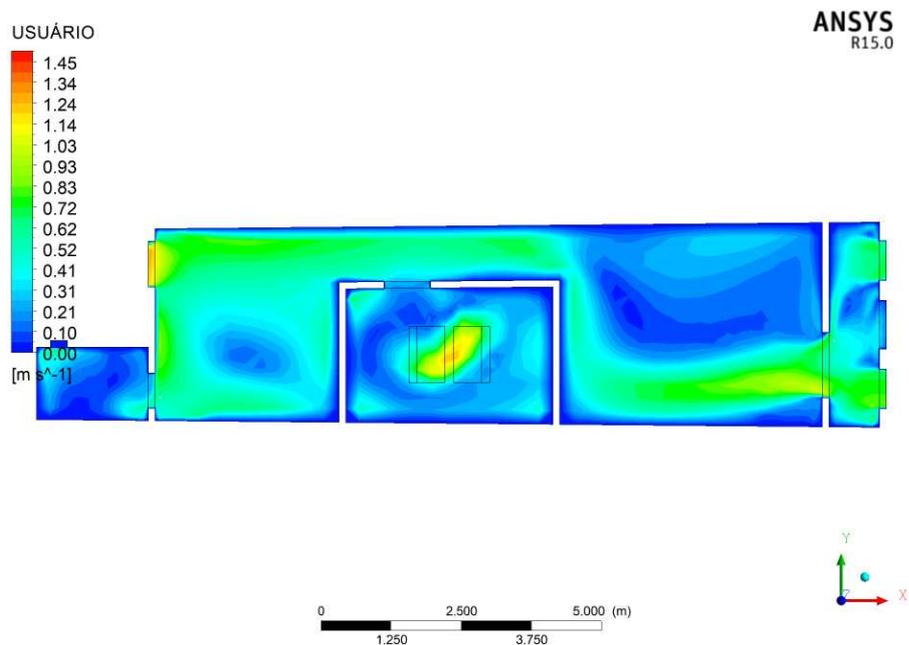
De maneira similar a habitação 03, após a implantação da torre de vento, devido ao compartilhamento da massa de ar entre as aberturas de entrada da sala e saída da torre de vento, a velocidade do vento no corredor diminui enquanto a velocidade do ar no quarto aumenta (Figura 38). Anteriormente, no quarto, à altura de 1,50 m, a ventilação era de 0,02 m/s. Após a construção da torre a ventilação alcançaria 1,20 m/s, um aumento de 60 vezes, ou 6000%.

Figura 37 - Unidade Habitacional 04 - planta sem torre



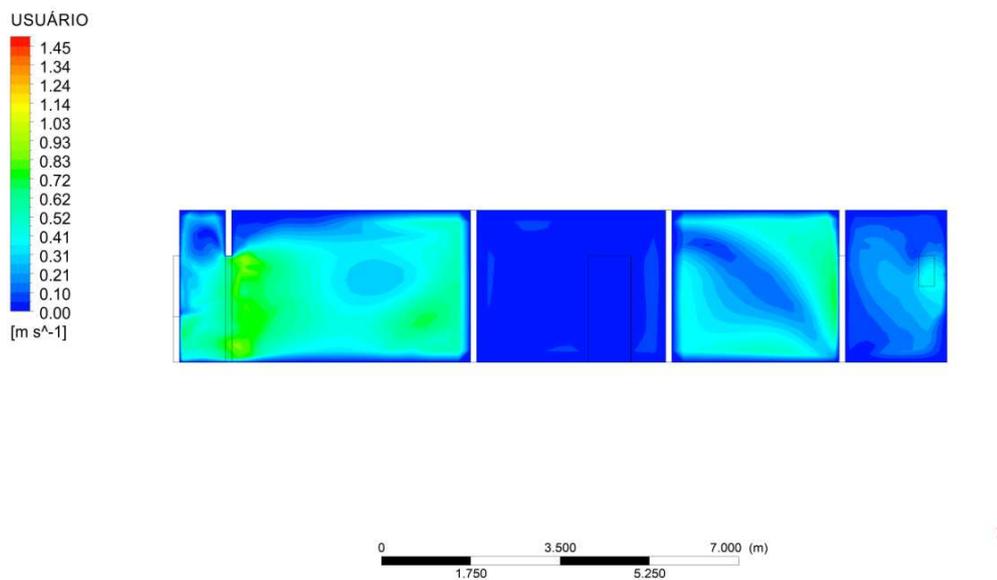
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Unidade Habitacional 04 - planta com torre



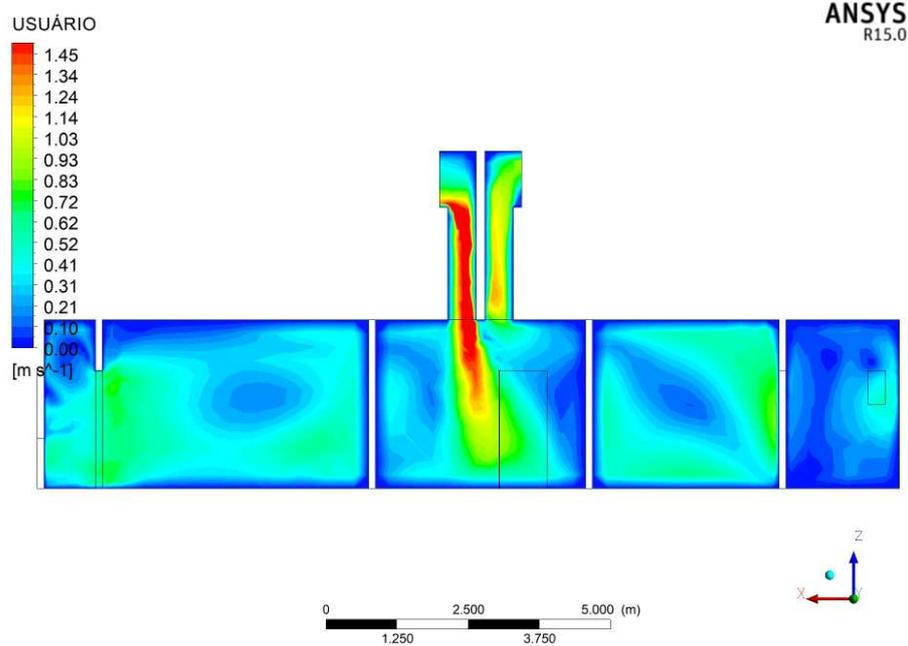
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 - Unidade Habitacional 04 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Unidade Habitacional 04 - corte com torre.

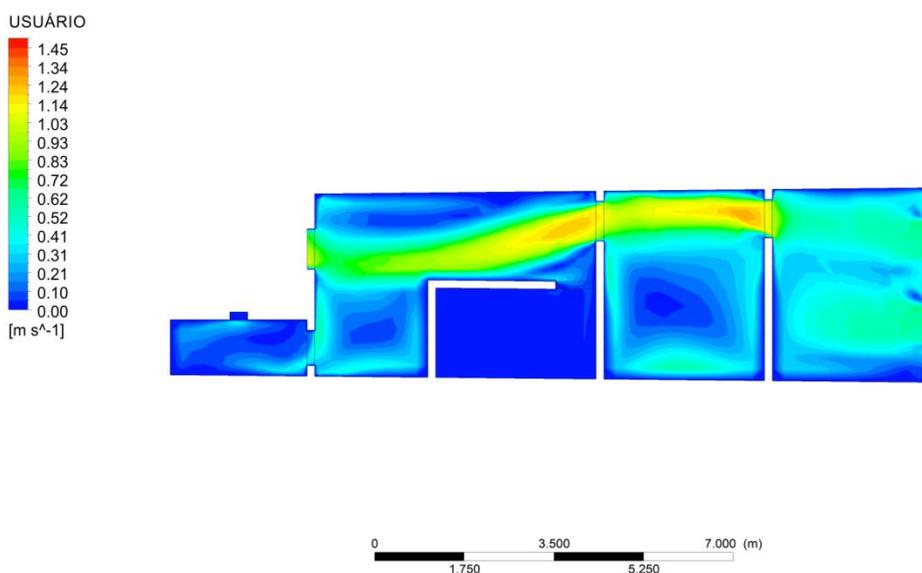


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Unidade Habitacional 05

O desempenho da ventilação natural na residência 05 é distribuído de maneira equilibrada por toda a sala devido às duas esquadrias frontais. A partir do segundo cômodo, graças a esquadria estreita, a ventilação se concentra em somente um dos lados, o que aumenta sua velocidade alcançando entre 1,0 m/s e 1,2 m/s devido ao aumento de pressão. Este cômodo ainda apresenta alguma ventilação mínima visto que não é um ambiente isolado como o quarto, que apresenta ventilação aproximada de 0,4 m/s. A esquadria de saída da cozinha está alinhada com as esquadrias do segundo cômodo dando continuidade a esse corredor de vento.

Figura 41 - Unidade Habitacional 05 - planta sem torre



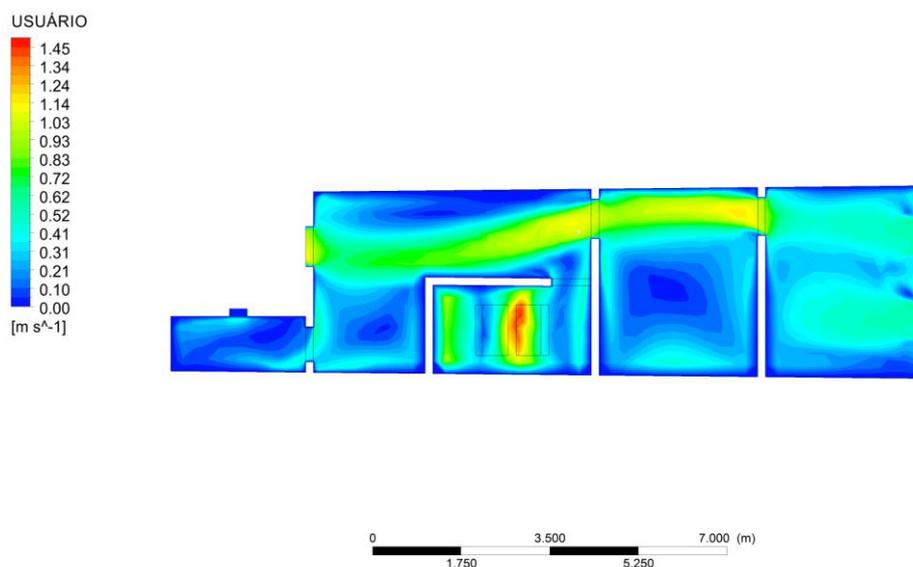
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a instalação da torre de vento a ventilação nas áreas de circulação diminui minimamente, mas no quarto tem-se um grande salto para 1,28 m/s, sendo essa a unidade habitacional que alcançou a maior velocidade dentro de seu quarto.

Tal desempenho pode ter sido favorecido pela relação entre o comprimento lateral da construção e sua largura frontal de apenas 3,65, sendo, dentre os dez exemplares, a segunda menor, e melhor, relação entre os lados do edifício, pois, quanto maior for a dimensão ortogonal ao vento e menor for aquela paralela, melhor

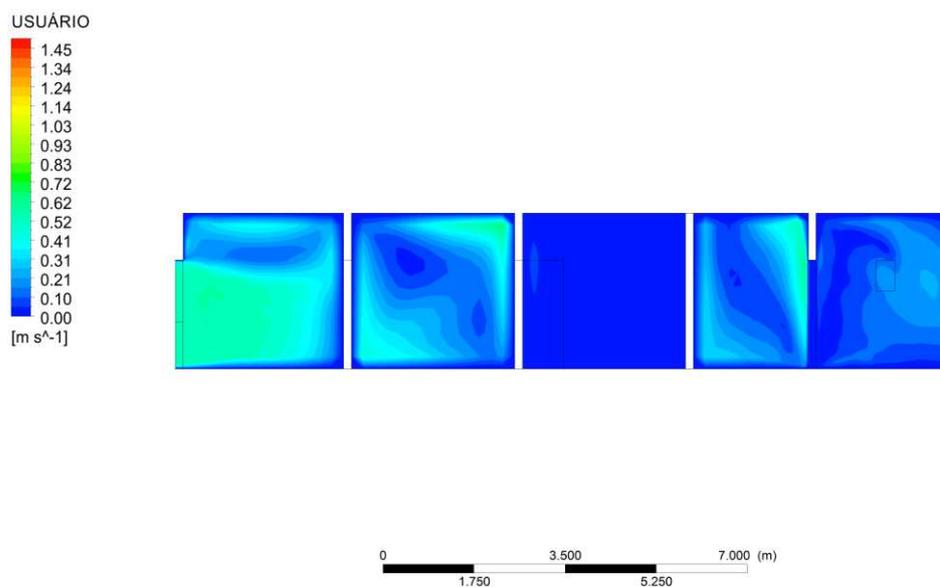
será o desempenho da ventilação em seu interior, seja pela menor distância a se percorrer assim como a previsível quantidade reduzida de obstáculos, visto que os cômodos da casa normalmente se distribuem majoritariamente de acordo com seu maior lado.

Figura 42 - Unidade Habitacional 05 - planta com torre



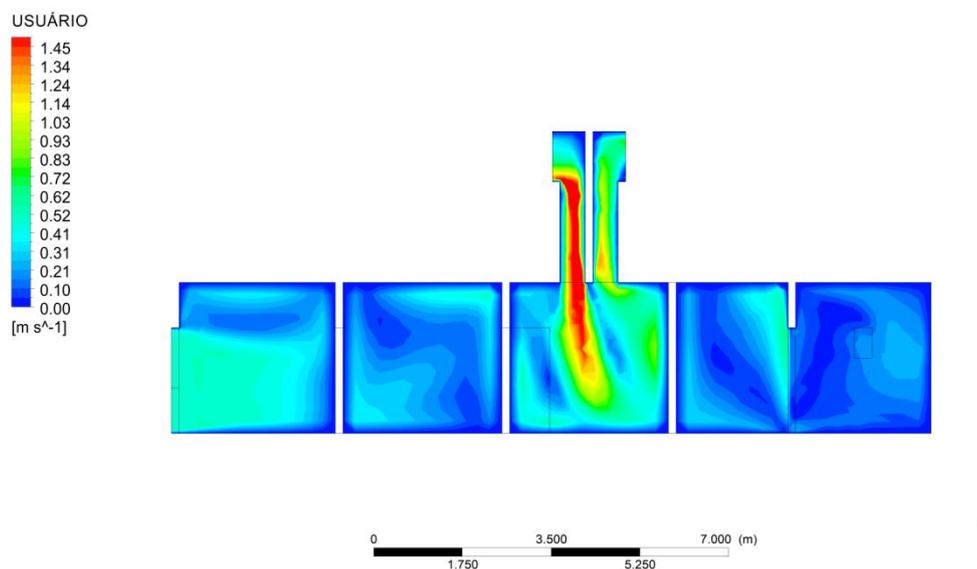
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Unidade Habitacional 05 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Unidade Habitacional 05 - corte com torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

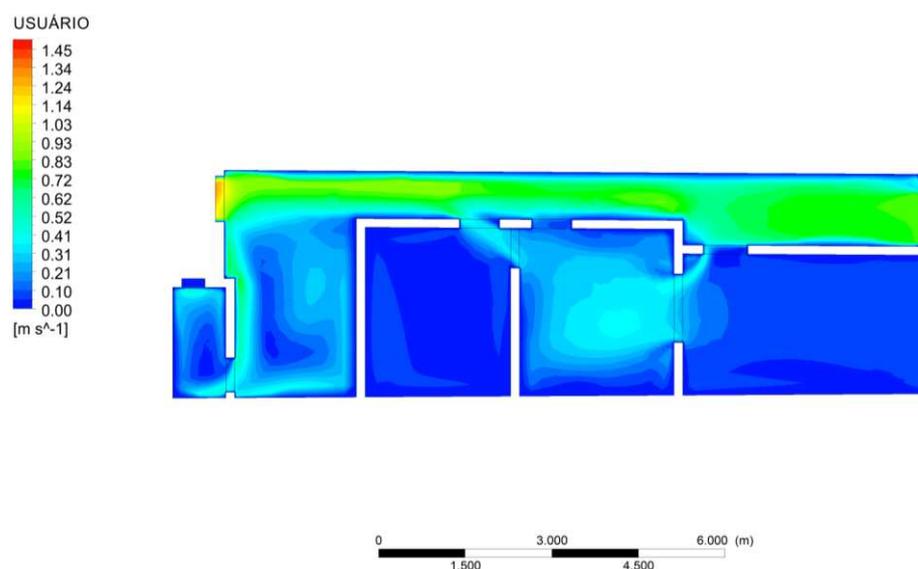
4.6 Unidade Habitacional 06

A moradia 06 apresenta um longo corredor onde localiza-se todas as esquadrias da construção, sejam elas internas ou externas, o que favorece a distribuição da ventilação entre os vários cômodos, mesmo que minimamente. Para que essa ventilação tivesse melhor desempenho o ideal seria a distribuição de pequenos refletores de ventilação, barreiras físicas que colaborassem no redirecionamento de parte do fluxo de ar para dentro dos ambientes, porém, para isso os quartos deveriam possuir aberturas que também possibilitassem a saída de ar. Na planta podemos identificar essa situação onde os quartos possuem duas esquadrias que permitem a entrada e a saída de ar, porém, um dos quartos apresenta melhor ventilação visto que os acessos estão e paredes opostas, enquanto no segundo quarto as esquadrias localizam-se bem próximas em paredes adjacentes (Figura 45).

Após a inserção da torre, vê-se um aumento da ventilação não apenas no quarto onde a mesma foi implantada, mas também no quarto vizinho e até mesmo na

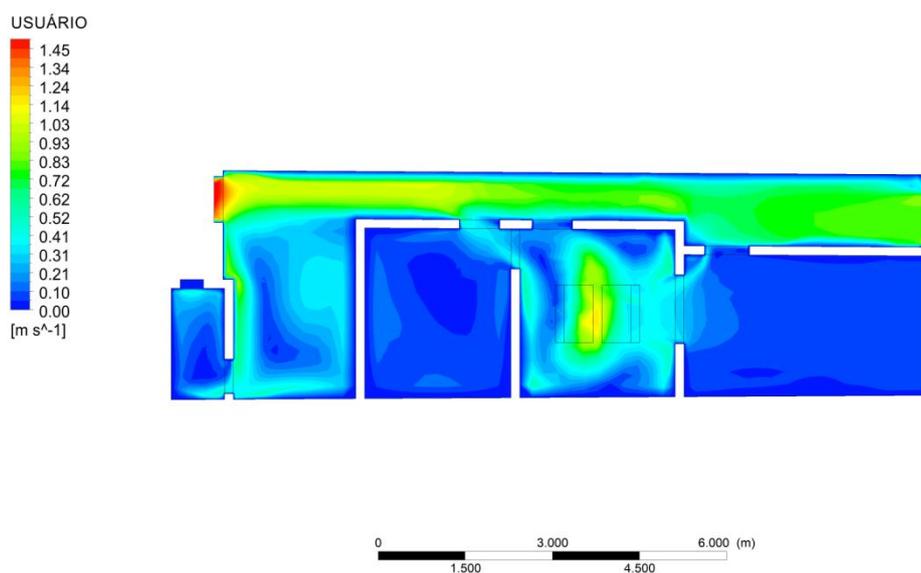
cozinha. Devido a isso o volume de ar entrante na casa aumentou, aumentando assim a pressão de saída sobre a esquadria de saída da cozinha, onde agora verifica-se uma mancha avermelhada (Figura 46).

Figura 45 - Unidade Habitacional 06 - planta sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

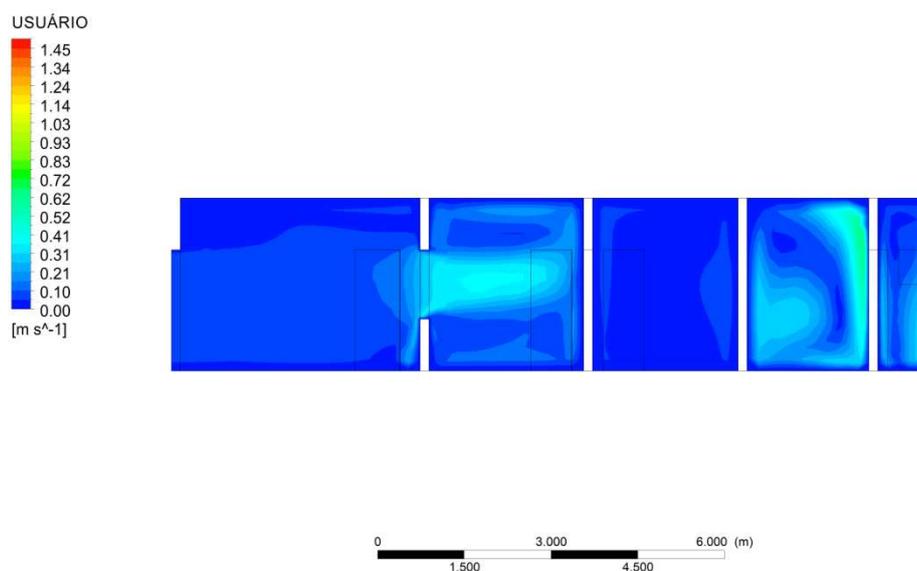
Figura 46 - Unidade Habitacional 06 - planta com torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

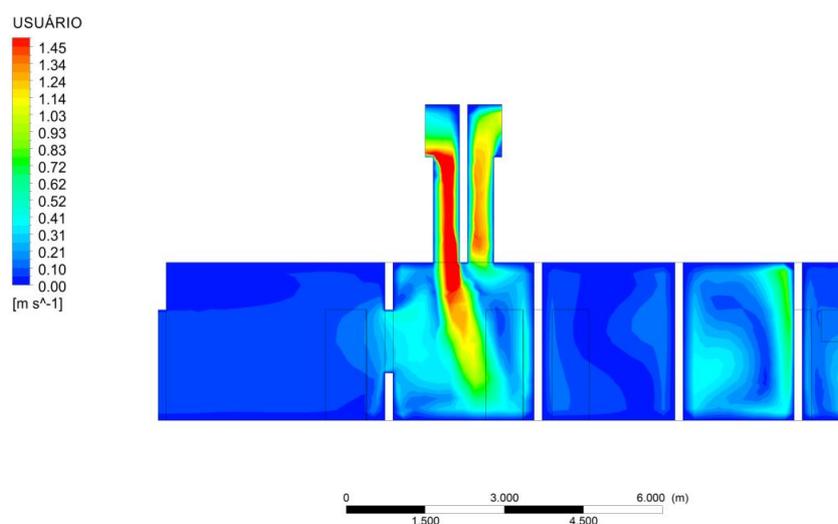
O quarto da unidade 06, antes da implantação da torre, é o mais ventilado dentre as dez unidades analisadas pois é o quarto que possui a maior quantidade de aberturas, o que permite a entrada e saída de ar. A ventilação pré-existente de 0,35 m/s foi elevada para a velocidade de 1,14 m/s.

Figura 47 - Unidade Habitacional 06 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 - Unidade Habitacional 06 - corte com torre

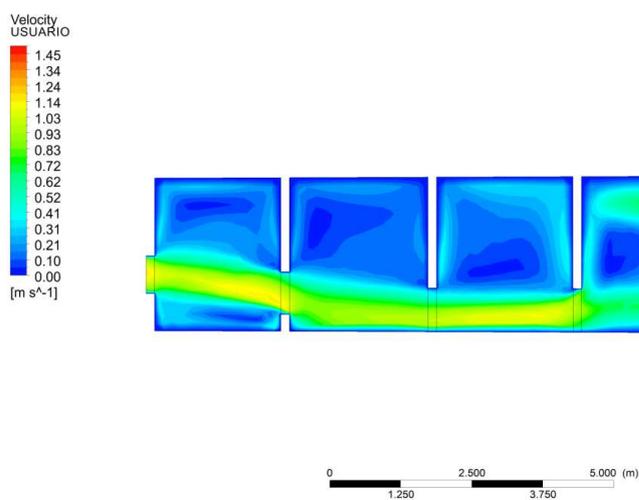


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Unidade Habitacional 07

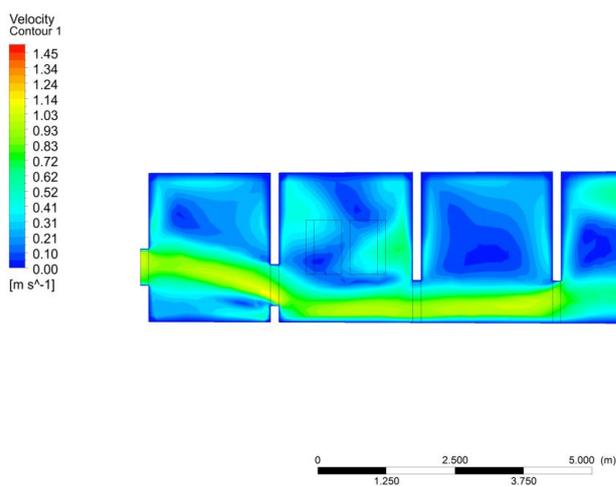
A moradia 07 foi a que apresentou o menor incremento na velocidade da ventilação (Figura 49 e Figura 50). Uma alteração realmente insignificante quanto ao impacto na sensação de conforto.

Figura 49 - Unidade Habitacional 07 - planta sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

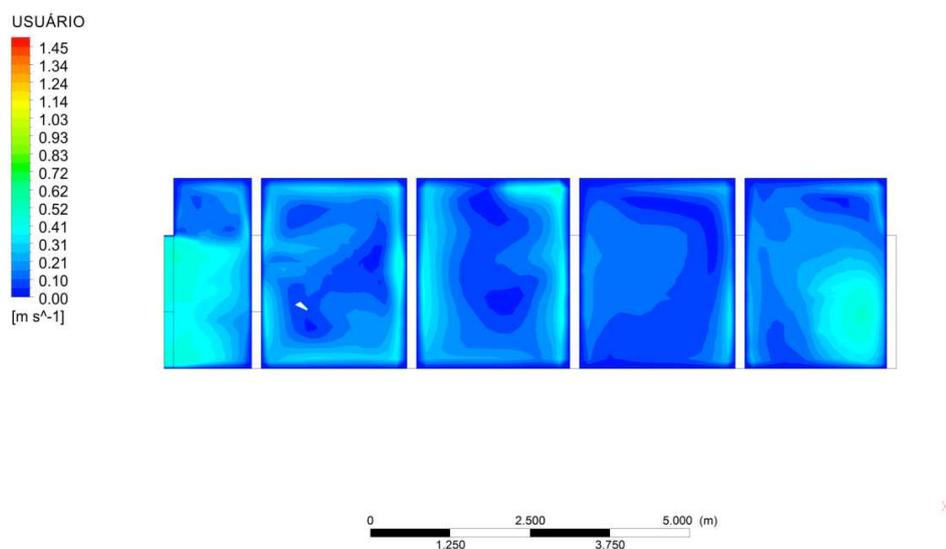
Figura 50 - Unidade Habitacional 07 - planta com torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

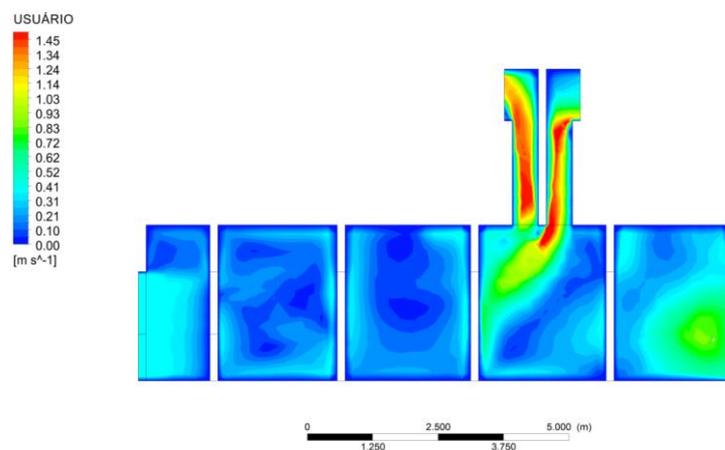
Frota e Schiffer (2001) chamam a atenção para a possibilidade de que o efeito simultâneo do efeito chaminé e ação dos ventos corram em oposição. No caso específico, a simulação teria importância fundamental na decisão de se construir uma torre de vento ou não visto que o incremento na habitação saltou de 0,13 m/s para somente 0,17 m/s.

Figura 51 - Unidade Habitacional 07 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52 - Unidade Habitacional 07 - planta sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

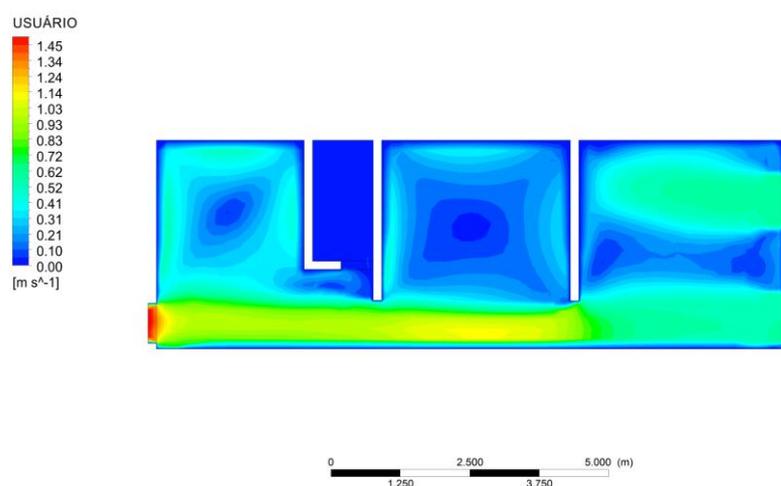
4.8 Unidade Habitacional 08

A habitação 08, assim como as unidades 05 e 07, apresenta um quarto que não está fisicamente isolado dos ambientes vizinhos visto que esse cômodo está integrado com o espaço de circulação que liga a sala, à frente da casa, à cozinha, que está aos fundos da casa.

A inexistência dessa parede que isolaria o quarto do restante da casa, do ponto de vista físico, é favorável à circulação fluida do ar visto que possibilita melhor distribuição ao encontrar menos barreiras. O quarto em questão, previamente à instalação da torre de vento, já apresentava velocidade de ventilação de até 0,4 m/s em alguns de seus pontos (Figura 53 e Figura 55).

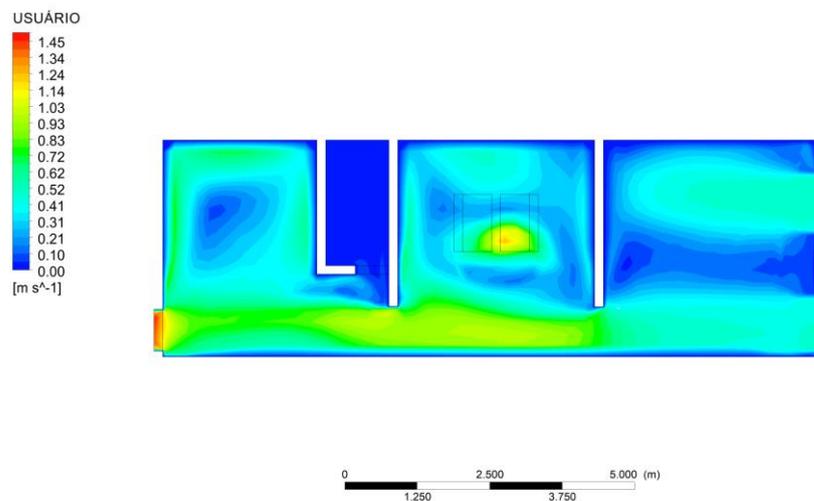
Mais uma vez, a ventilação que acessa a sala através de duas esquadrias permite uma melhor distribuição do cômodo, mas se concentra ao se deparar com somente uma saída de ar que corresponde à porta que dá acesso ao quarto e ao restante da casa. A habitação é mais um exemplo que demonstra o potencial de fruibilidade dos espaços dos corredores como espaços de estar mais prolongados. Poderiam ser feitos estudos distributivos e programas arquitetônicos habitacionais que se aproveitassem do aumento da velocidade do vento nessas situações de aumento de pressão.

Figura 53 - Unidade Habitacional 08 - planta sem torre



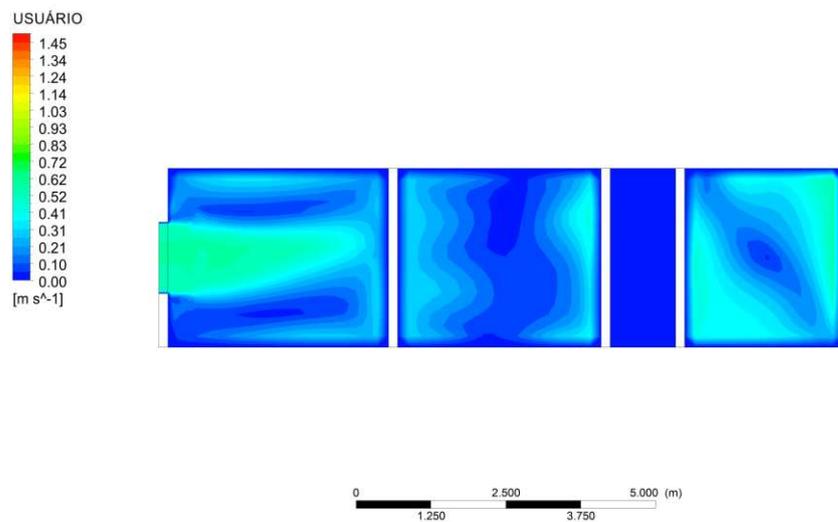
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 54 - Unidade Habitacional 08 - planta com torre



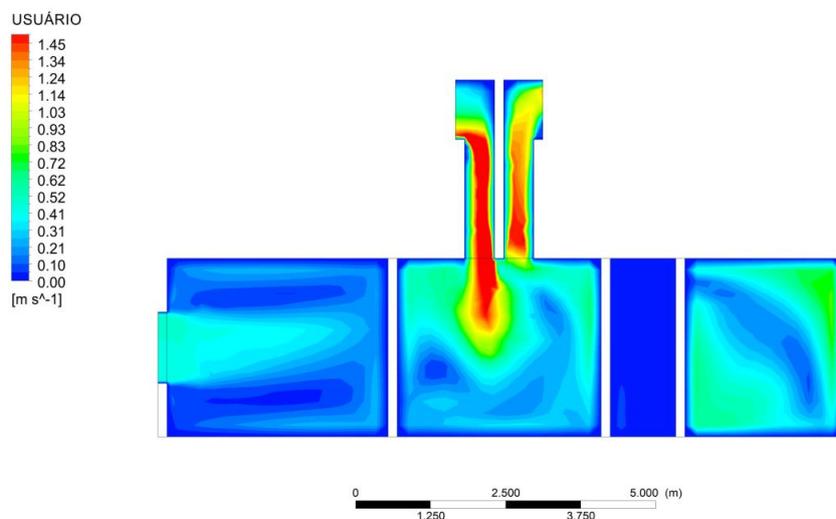
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 55 - Unidade Habitacional 08 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Unidade Habitacional 08 - corte sem torre



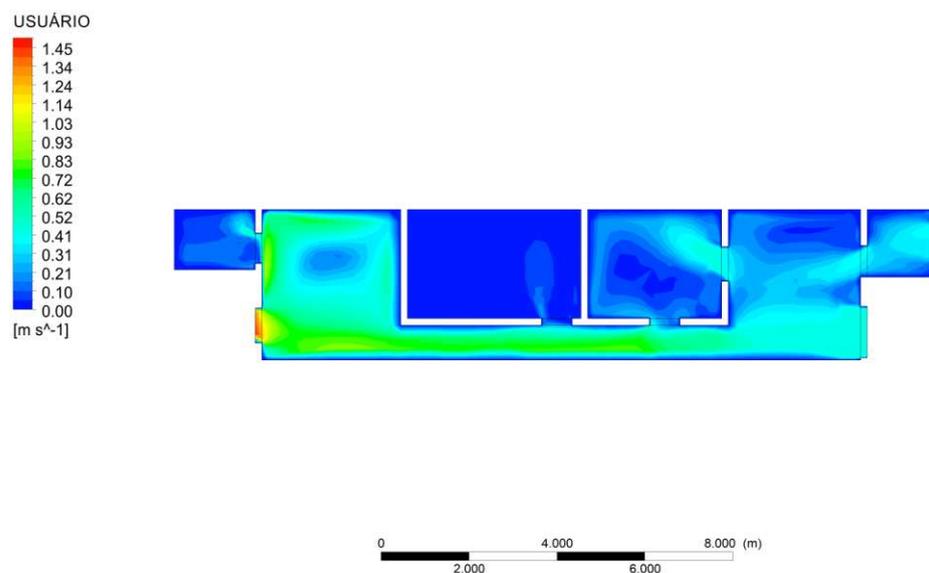
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9 Unidade Habitacional 09

A residência 09 apresenta planta similar a residência 06 pois ambas apresentam quartos com duas esquadrias de acesso, o que permite que o ar atravesse o ambiente. Porém, diferentemente, a torre foi implantada sobre o quarto que possui apenas uma abertura, e não em um quarto que possui duas aberturas, como na unidade 06. Assim, o quarto que apresentava ventilação com velocidade de 0,01 m/s deu um salto significativo para 0,92, novamente **superando as recomendações de Candido (2010) de 0,08 m/s**.

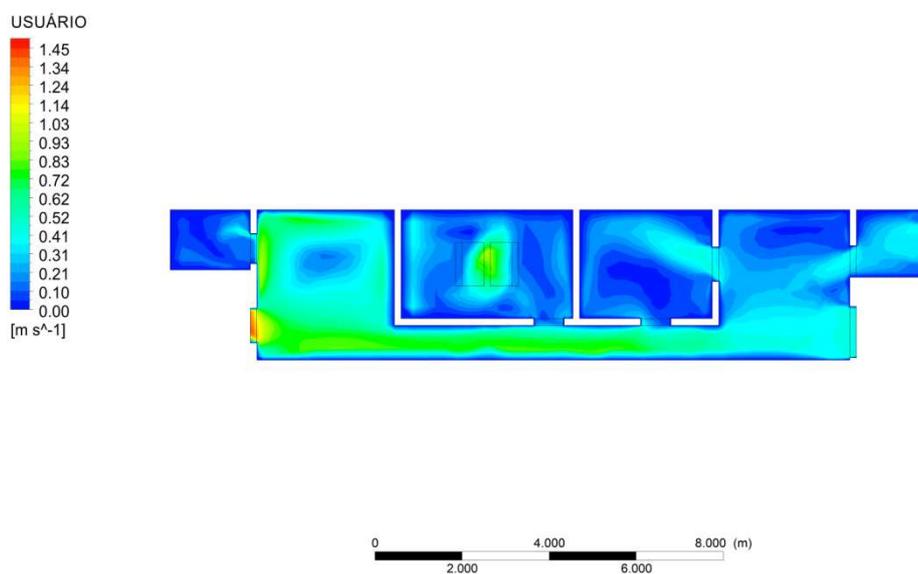
De maneira similar, a torre implantada sobre a unidade 09 influencia não apenas o quarto de instalação da nova estratégia de ventilação, mas também o quarto adjacente e até mesmo o banheiro que está aos fundos da casa.

Figura 57 - Unidade Habitacional 09 - planta sem torre



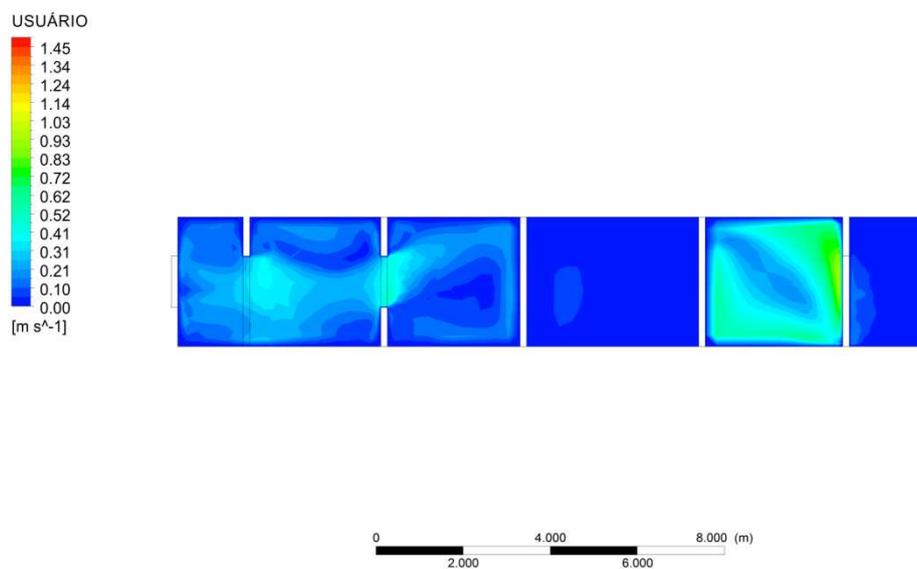
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 58 - Unidade Habitacional 09 - planta com torre



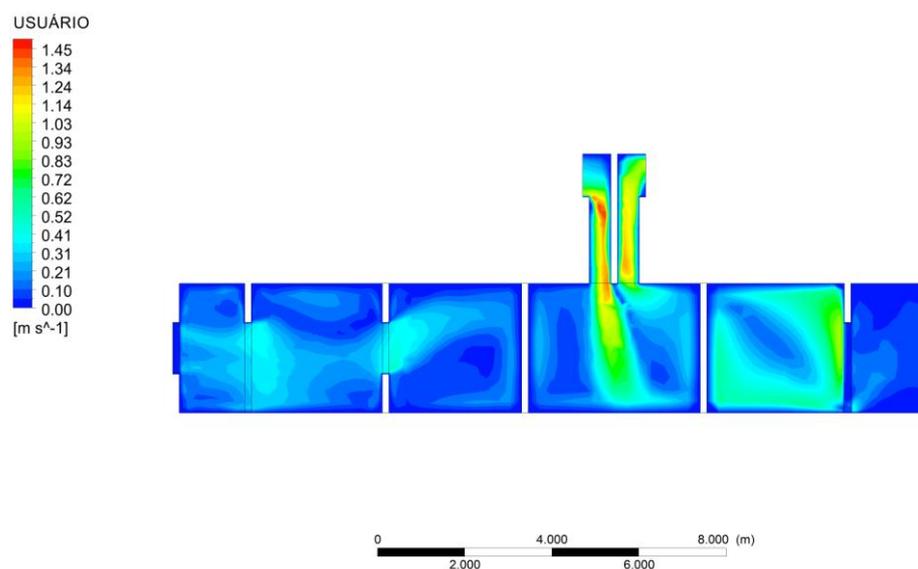
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 59 - Unidade Habitacional 09 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 60 - Unidade Habitacional 09 - corte com torre.

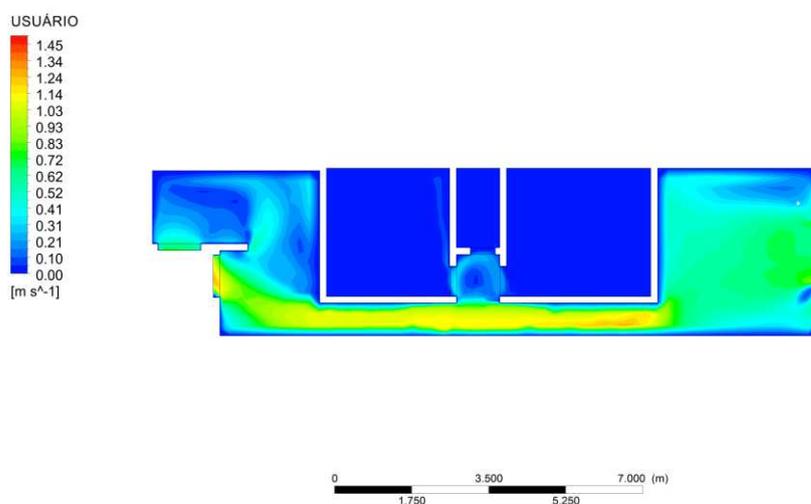


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.10 Unidade Habitacional 10

O quarto da unidade habitacional número 10, dentre todos os 10 exemplares analisados, é o ambiente que apresenta o maior incremento na velocidade do ar: de 0,1 m/s para 1,20 m/s. Um crescimento em 120 vezes.

Figura 61 - Unidade Habitacional 10 - planta sem torre

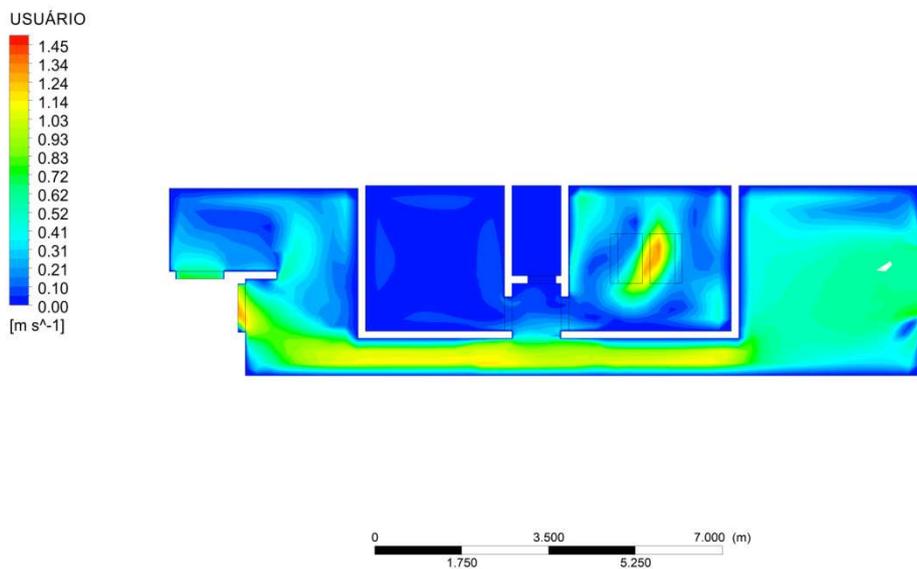


Fonte: Elaborado pelo autor.

O ar, ao entrar na casa, apresenta uma velocidade aproximada de 0,7 m/s. Ao passar pela sala perde velocidade pois distribui-se pelo espaço. Ao encontrar o corredor, devido à diminuição da área de penetração, o vento recupera velocidade devido a pressão que surge, alcançando velocidade aproximada de 1,10 m/s, que volta a baixar ao encontrar a cozinha, que está aos fundos da casa, mas sem uma grande variação visto que a esquadria que dá acesso ao exterior da construção está praticamente alinhada ao eixo do corredor, o que permite que o vento não tenha que fazer grandes desvios, o que normalmente o faz perder velocidade.

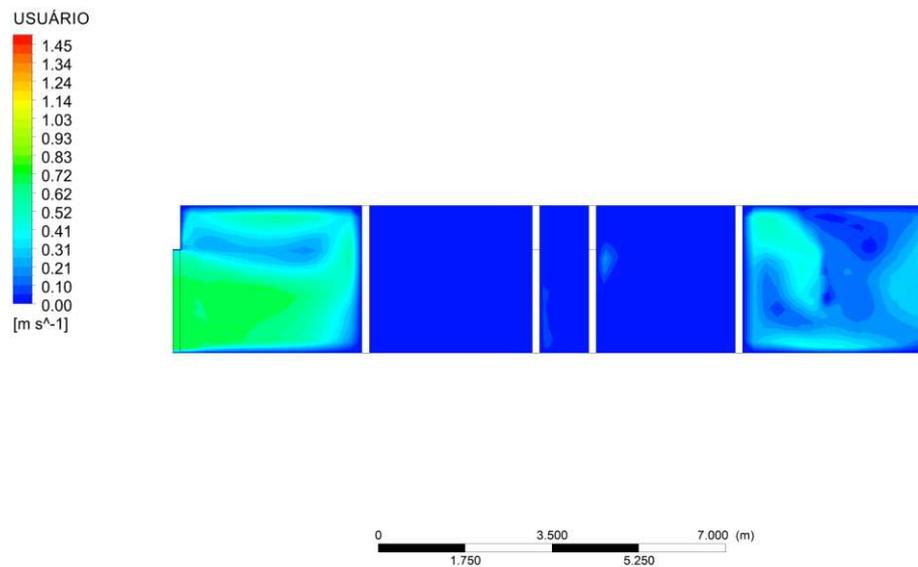
Os quartos dessa habitação são compartimentos que não apresentam nenhum tipo de abertura para os ambientes externos da casa, e o pequeno vestíbulo que permite o acesso aos dois quartos e banheiros “desestimula” a circulação do ar em direção a essas ambientes, por isso esses cômodos apresentam esse desempenho tão baixo de aproximadamente 0,1 m/s.

Figura 62 - Unidade Habitacional 10 - planta com torre



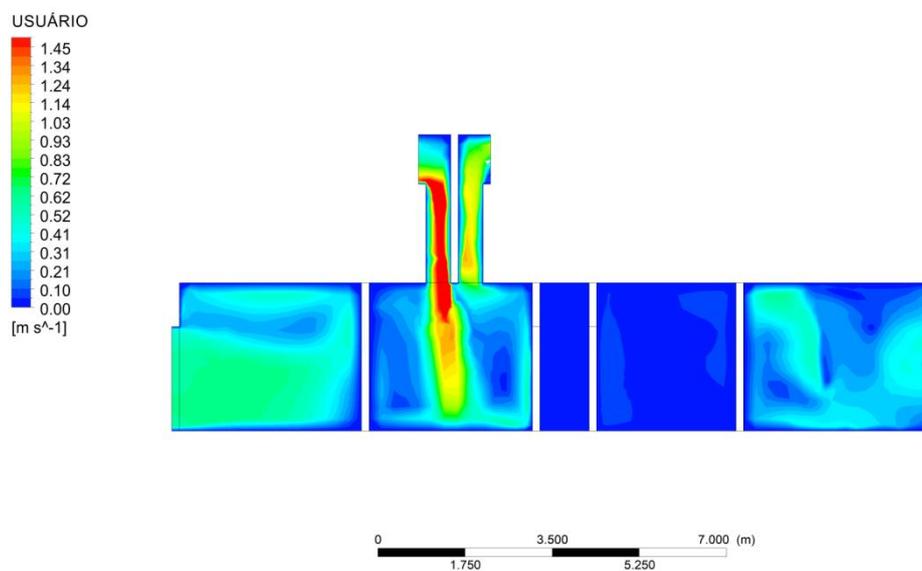
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63 - Unidade Habitacional 10 - corte sem torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 64 - Unidade Habitacional 10 - corte com torre



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

As habitações de caráter popular geralmente apresentam-se bastante deficientes em relação ao conforto térmico dos usuários. Sabe-se que muitos problemas que acarretam o desconforto térmico nos conjuntos habitacionais são resultado das soluções arquitetônicas adotadas, que visam atender a uma política de minimização de custos sem maiores preocupações com o conforto ambiental dos habitantes dessas construções. (LÔBO; BITTENCOURT, 2003, p. 58).

A pesquisa apresenta alternativas para um melhor desempenho energético, de conforto e de salubridade para habitações de população de baixa renda que vive em áreas que não tem o devido acompanhamento urbanístico do município de Fortaleza.

Com a devida assistência por parte da prefeitura teríamos uma urbanização de melhor qualidade, que garantiria um melhor conforto para a população, possibilitando assim melhoria da qualidade de vida juntamente ao incremento do desempenho econômico dessa população visto que suas atividades de trabalho e estudo estariam em melhores condições de serem executadas, como afirmado pelas teorias da ergonomia. É na fase de projeto que tais decisões devem ser tomadas, afinal, visto que os edifícios funcionam como organismos e de forma sistêmica, o custo para reformas e alterações construtivas é altíssimo após a finalização da edificação, o que envolve demolições, reconstruções e inutilização temporária dos espaços baixo intervenção.

Ghirardo (1972, p. 415) em seu texto “A arquitetura da fraude”, pergunta “por que a arquitetura não enfrenta os problemas concretos da disciplina e do mundo, por que ela tenta permanecer ‘pura’ e o que procura esconder nesse afã”? **A arquitetura tende a ser conservadora pois depende economicamente do capital.** Assim, apegar-se a críticas formalistas, permite evitar contrariar os interesses econômicos. Ao escolher esse caminho mais seguro, os arquitetos se distanciam da discussão sobre questões substantivas como a crítica às estruturas de poder existentes, dos efeitos do uso desse poder e sobre os que se beneficiam desses poderes (GHIRARDO, 1972).

Na decisão sobre a arquitetura ser arte ou serviço, Ghirardo contraria a maioria ao escolher a segunda opção, e defende que esse serviço deva ser comprometido com a esfera sociopolítica. Mas essa não é a situação atual da

arquitetura. Como profissão e como disciplina acadêmica, a arquitetura se diz diferente da indústria da construção civil e das empresas imobiliárias - duas atividades com uma “consciência social atrofiada” mas que mantêm entre si uma relação econômica extremamente vantajosa. Ao definir a arquitetura como arte, e não como comércio ou negócio, os arquitetos negam sua responsabilidade pela atividade de construir em todas as suas ramificações através de “mecanismos altamente refinados de dissimulação” (GHIRARDO, 1972, p. 417; PRINCE-RAMUS, 2010).

Em nenhuma de suas diversas manifestações, a categoria dos arquitetos ousa questionar a política da construção: quem constrói o quê, onde, para quem e a que preço. Apesar de ser um dos temas mais importantes para a reflexão dos arquitetos, e uma questão relevante para a disciplina, poucos se referem ao problema da política da construção civil. (GHIRARDO, 1972, p. 422).

Em paralelo ao absentéismo crítico da arquitetura, como disciplina, na sociedade capitalista contemporânea aconteceu que “o direito de morar confundiu-se com o direito de ser proprietário de uma casa” (DE LIMA RAMIRES, 1997, p. 28; SANTOS, 2007). O habitar contemporâneo faz com que as noções sobre o que é realmente bom ao habitar sejam pervertidas em função do capital econômico e simbólico. A habitação deixa de ter seu significado exclusivo à necessidade de abrigo e torna-se uma mercadoria.

Imbuídos de “desejo social”, de uma imagem pré-concebida de satisfação, os futuros moradores, ao adquirir uma habitação, buscam conquistar a felicidade através de um diferencial que lhes permita transitar no “território dos ilustres”, esquecendo-se que as necessidades ordinárias do cotidiano pressupõe, consecutivamente, a supressão tanto das necessidades básicas do indivíduo como a provisão de um espaço doméstico que lhes permita desenvolver as relações familiares e sociais com segurança, conforto e bem-estar. Isso significa que a especialização funcional, o determinismo e a padronização, estratégias ainda perpetuadas pela produção imobiliária coletiva, homogeneizam o comportamento e desfavorecem o uso diversificado da habitação, condição indispensável ao sujeito contemporâneo, ao estilo de vida plural das novas estruturas familiares. (JORGE, 2013, grifo do autor).

Para que as próximas gerações tenham a possibilidade de gozar de uma vida com qualidade ambiental é urgente a adoção de estratégias de desenvolvimento sustentável. Para isso é necessária a construção de novos modelos de desenvolvimento que passem pela “negação dos axiomas que sustentam o cientificismo e o tecnicismo” (STROH, 2001):

A combinação do saber empírico com o saber científico na formulação dos estudos interdisciplinares possibilita enfrentar o grande desafio das análises sistêmicas requeridas para o planejamento ambiental, obstaculizadas, em grande parte, pela fragmentação do saber derivada da especialização de conhecimentos, um subproduto da história do capitalismo ocidental. (...) Neste sentido, o saber empírico, não obstante a sua natureza difusa, necessita ser reconhecido e decodificado em uma investigação destinada a elaborar estudos para o planejamento ambiental. (STROH, 2001, p. 289).

Que retomemos o contato com os saberes locais, com o prazer, com o bem viver e a justa harmonia com nossos espaços, nossas cidades, nossas casas, nossos campos, que são espaços finitos em constante caminhar para sua finitude.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220 - 3**: Desempenho térmico de edificações residenciais, 2005.

ACSELRAD, H. Externalidade Ambiental e Sociabilidade Capitalista.

Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo: Cortez, 1995.

ARCHDAILY. **Casa Alagoas / Tavares Duayer Arquitetura**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/802057/casa-alagoas-tavares-duayer-arquitetura>. Acesso em: 13 ago. 2018.

BARSA, volume 7, Editorial Planeta, 2012.

BESS, P. (1993). Comunitarismo e Emotivismo: Duas visões antagônicas sobre ética e arquitetura. **Uma nova agenda para a Arquitetura: antologia teórica**(1965-1995). São Paulo: Cosac Naify, 2008.

BRASIL. **LEI No 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. 1979.

BRASIL. **NORMA REGULAMENTADORA Nº 17, de 08 de junho de 1978**.

Ergonomia. Disponível em:

https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-17.pdf. Acesso em 08 ago. 2019.

BRUSEKE, F.J. O problema do desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

CANDIDO, C., LAMBERTS, R., BITTENCOURT, L., de DEAR, R.. Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Ambiente construído**, v. 10, n. 4, p. 59-68, 2010.

CAU/BR. **Resolução No 76, de 10 de abril de 2014**. Aprova os Módulos II e III das Tabelas de Honorários de Serviços de Arquitetura e Urbanismo do Brasil.

CAVALCANTI, C. Breve introdução à economia da sustentabilidade.

Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo: Cortez, 1995.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. [s.l.] Editorial Revan, 2009.

DA FONSECA, C. S.; GOULART, S. V. Levantamento dos aspectos sustentáveis em técnicas e elementos de alguns sistemas construtivos tradicionais no RN. **Anais do XIV ENTAC**, p. 3067-3072, 2012.

DE LIMA RAMIRES, J. C. A cultura do consumo e a produção simbólica dos espaços verticalizados nas cidades brasileiras. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 17, n. 2, p. 27-48, 1997.

ENGELS, F. **A situação da classe trabalhadora na Inglaterra**: Segundo as observações do autor e fontes autênticas. [s./] Boitempo Editorial, 2015.

EXAME. **Mudanças climáticas podem acabar com 80 milhões de empregos até 2030**. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01535754/document>. Acesso em: 13 nov. 2019.

FONTENELLE, M. R. **A ventilação natural na reabilitação de edifícios de escritórios**: desafios e potencialidades. INSA de Toulouse, 2016. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01535754/document>. Acesso em: 13 ago. 2018.

FROTA, A. B; SCHIFFER S. R. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FUNCEME. **Chuvas no Ceará**. Disponível em: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/totalchuvas/index.htm . Acesso em: 13 ago. 2018.

GALIANI, B. **L'architettura di Marco Vitruvio Pollione tradotta e commentata dal marchese Bernardo Galiani Accademico ercolanense, e architetto emerito dell'Accademia di S. Luca. Edizione seconda corredata degli stessi rami disegnati, e fatti incidere dal medesimo traduttore**. Siena, Napoli, 1790.

GALVÃO, M. V. **Regiões bioclimáticas do Brasil**. Revista brasileira de geografia, v. 29, p. 117, 1967.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The entropy law and the economic process**. Cambridge, Harvard University Press, 1971.

GHIRARDO, D. (1984). A função ética da arquitetura. **Uma nova agenda para a Arquitetura: antologia teórica (1965-1995)**. São Paulo: Cosac Naify, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.

GIVONI, B. **Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23, Jan. 1992.

GONDIM, I. A.; BARROS NETO, J. P.; MARCHON, P. H. A.; JORGE NETO, P. M. Análise da economia nacional e a participação da indústria da construção civil. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais... ENTAC**, 2004.

HEYWOOD, H. **101 Regras Básicas Para Edifícios E Cidades Sustentáveis**. [s./] Editorial Gustavo Gili, 2017.

JORGE, L. D. O. **Moradia e Consumo - Status Social, Desejo e Satisfação**. São Carlos, n. 9 [online], 2013. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus09/?sec=4&item=4&lang=pt>. Acesso em: 15 Nov. 2018.

JOURDA, F.-H. **Pequeño manual del proyecto sostenible**. [s./.] Editorial Gustavo Gili, S.L., 2012.

KAPP, S.; NOGUEIRA, P.; BALTAZAR, A. P. **Arquiteto sempre tem conceito, esse é o problema**. p. 19, 2009.

KOOLHAAS, R. **Rem Koolhaas, acerca de la ciudad**: Rem Koolhaas; traducción de Jorge Sainz. Tradução de Jorge Sainz. [s./.] Gustavo Gili, 2014.

LABEEE. **Estratégias Bioclimáticas**. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>. Acesso em: 21 ago. 2018a.

LABEEE. **Ventilação Natural**. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>. Acesso em: 18 ago. 2018b.

LEITE, R. C. V. **Cidade, vento, energia**: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Proposta para análise combinada dos efeitos da ventilação desde a escala urbana até os ambientes internos. **Anais: Habitat humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI**, 2017.

LIMA JÚNIOR, A. F. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioambientais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

LÔBO, D.; BITTENCOURT, L. S. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos**. Ambiente Construído 2003.

LÓPEZ, L. Manual del constructor popular. **Imagen editorial Marcy, Venezuela**, 2006.

MAY, J.; REID, A. Architettura senza architetti. **Guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo**. [s./.] Rizzoli, 2010.

MCDONOUGH, W. (1975). Projeto, ecologia, ética e a produção das coisas. **Uma nova agenda para a Arquitetura: antologia teórica(1965-1995)**. São Paulo: Cosac Naify, 2008.

MCPHERSON, G. R.. **Time for a Revolution**. Disponível em: <http://guymcpherson.com/2009/05/time-for-a-revolution/>. Acesso em: 16 out. 2019.

MONTANER, J. M.; MUXI, Z. **Arquitetura e política**. [s.l.] Editorial Gustavo Gili, 2014.

MORORÓ, M. **Habitação progressiva autoconstruída: caracterização morfológica com uso da gramática da forma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012.

NAIDOO, R. **Diebedo Francis Kere at small scale, big change: new architectures of social engagement exhibition**. Disponível em: <https://www.designboom.com/architecture/diebedo-francis-kere-at-small-scale-big-change-new-architectures-of-social-engagement-exhibition/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5. ed., Editora Thomson Pioneira, 2007. 616p.

OLGYAY, V. **Arquitetura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, B. P. **A atuação dos escritórios de arquitetura no mercado imobiliário de Fortaleza**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

PAIVA, F. I. B. **Vulnerabilidade socioambiental em Fortaleza: uma perspectiva a partir do conforto térmico**. 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/14897>. Acesso em: 15 ago. 2018.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN**. [s.l.] McGraw-Hill New York, 1995. v. 2

PRINCE-RAMUS, J. **Building a theater that remakes itself**. 2010. Disponível em: https://www.ted.com/talks/joshua_prince_ramus_building_a_theater_that_remakes_itself#t-12826. Acesso em: 15 ago. 2018.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da Arquitetura no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2006.

ROLNIK, R. **A guerra dos lugares**. A colonização da terra e da moradia na era das finanças. São Paulo: Boitempo, 2015.

SALES, C. B. **Ecovila e Permacultura: Uma Nova Forma de Viver**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

SANTOLI, L. D. **Fondamenti di sostenibilità energetico-ambientale**. Roma: Sapienza, Università degli studi di Roma, 2008.

SANTOS, M. **O espaço do cidadão**. São Paulo: Edusp, 2007.

SCHELLER, C.; MELO, A. P.; SORGATO, M.; ENG, M.; LAMBERTS, R. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. 2015.

SEVÁ FILHO, A. O.; MEDEIROS, J. D.; MAMMANA, G. P.; DINIZ, R. H. L. (2003). Renovação e sustentação da produção energética. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

SOUZA JÚNIOR, A. R. **O impacto da mudança climática sobre o consumo de energia elétrica no Estado do Ceará**. 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/16661>. Acesso em: 15 ago. 2018.

STAHEL, A. W. Capitalismo e Entropia: Os Aspectos Ideológicos de uma Contradição e a Busca de Alternativas Sustentáveis. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

STROH, P. Y. As ciências sociais na interdisciplinaridade do planejamento ambiental para o desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

VAN LENGEN, J. **Manual do arquiteto descalço**. [s./.] Livraria do Arquiteto, 2004.

VITRUVIO POLLIONE, M. **L'architettura de Marco Vitruvio Pollione**. Tradução Berardo Galiani. 2. ed. Napoli: Fratelli Terres, 1790.

WEIMER, G. **Arquitetura popular brasileira**. São Paulo: Martins Fontes, 2012.