

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS HENRIQUE LUNA

**EFICIÊNCIA DE TORRES DE VENTO COMO ESTRATÉGIA
BIOCLIMÁTICA DE VENTILAÇÃO NATURAL COMPARADA A
CAPTADORES DE VENTO TIPO *SHED***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2018

LUCAS HENRIQUE LUNA

**EFICIÊNCIA DE TORRES DE VENTO COMO ESTRATÉGIA
BIOCLIMÁTICA DE VENTILAÇÃO NATURAL COMPARADA A
CAPTADORES DE VENTO TIPO *SHED***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Silmara Dias Feiber

TOLEDO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 166

Eficiência de torres de vento como estratégia bioclimática de ventilação natural comparada a captadores de vento tipo *shed*

por

Lucas Henrique Luna

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13:50h do dia **07 de novembro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Profº. Edi Carlo Waldrich
(UNIVEL)

Profº. Dr. Fúlvio Natercio Feiber
(UTFPR - TD)

Profª. Drª. Silmara Feiber
(UTFPR - TD)
(Orientadora)

Coordenação
Profº. Dr. Fúlvio Natercio Feiber
Coordenador do COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha irmã, e a minha namorada, que sempre incentivaram, possibilitaram e auxiliaram na busca pelo conhecimento.

Dedico ainda, a todos meus amigos que estiveram presentes durante o período de graduação, tanto nos momentos bons, quanto nos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Palavras não expressam toda gratidão que sinto por todos que participaram dessa etapa importante em minha vida. Sempre serei grato a todas essas pessoas.

Primeiramente, agradeço ao Senhor Deus, que me guiou, protegeu e permitiu a conclusão dessa importante etapa da minha vida.

Aos meus pais, meus maiores orgulhos, Sergio Aparecido Luna e Marlene Biscola Luna, pelo incentivo, dedicação e esforços realizados para que eu pudesse concluir minha graduação, além de todo amor, carinho, e ensinamentos que levarei comigo para toda a vida.

À minha irmã, Ana Karoline Biscola Luna, por toda a ajuda e parceria durante esse o período da minha graduação e da vida.

À memória da minha avó Maria de Lourdes Luna e do meu avô Mario Laércio Biscola, que me ensinaram valores inestimados e sempre me incentivaram. Agradeço ainda, minha avó Geni Fumagalli e meu avô Vicente Pereira Luna, que permanecem sendo exemplo de caráter, idoneidade, sobriedade e carinho, sempre me incentivando e inspirando.

À minha namorada, Thaisa Schmoller, minha companheira durante essa caminhada, sempre me apoiando, ajudando, cuidando e oferecendo carinho e amor. Ainda agradeço por todas as vezes que me ajudou durante a graduação, me inspirando, principalmente, nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de turma, que se tornaram para a vida, Lucas Fuhr Rodrigues, Matheus Tanaka, Rafael Ignácio Sarmiento e Wilson Coelho Neto, que estiveram presentes em todos momentos complicados e em todas os momentos bons, que com certeza, tornaram essa jornada muito mais leve e divertida.

A todos meus amigos de Cascavel e os feitos em Toledo, que não citarei para não cometer a injustiça de esquecer alguém, obrigado pela força e por sempre estarem presentes.

A Associação Atlética Acadêmica de Engenharia da UTFPR, Toledo, e meus companheiros de gestão, por todo aprendizado e emoções vividas, serei eternamente grato, com certeza transformou minha graduação.

A Bateria RapoZona e a todos meus amigos e amigas ritmistas, que foram minha família em Toledo durante os últimos 3 anos, por sempre estar disponível para aliviar a cabeça durante os momentos complicados da graduação, pelos momentos inesquecíveis, por todo aprendizado que levarei para a vida, por ter me ajudado a melhorar como ser humano e pela honra de poder fazer parte dessa história maravilhosa.

A minha orientadora, professora Silmara Dias Feiber, por toda a dedicação, paciência e confiança ao me orientar durante a realização desta pesquisa, agradeço por compartilhar todo seu conhecimento comigo.

Por último, mas não menos importante, a todos meus professores durante a graduação, por todos os ensinamentos compartilhados e por contribuírem no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

LUNA, L. H. **Eficiência de torres de vento como estratégia bioclimática de ventilação natural comparadas com captadores de vento tipo *shed***. 2018. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso Superior em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Toledo, 2018.

A busca por estratégias que possam contribuir para uma construção civil mais sustentável cresce constantemente, visando oferecer conforto ambiental e eficiência energética ao usuário. Inserida neste contexto, a ventilação natural é fonte de estudos que possam potencializar a sua aplicação, onde não necessariamente é preciso desenvolver uma nova técnica, mas aprofundar-se em uma já existente. E essa foi a motivação desta pesquisa, onde o foco consistiu em analisar experimentalmente – simulando um túnel de vento e utilizando um protótipo em escala reduzida – duas estratégias bioclimáticas de ventilação natural, a torre de vento, amplamente utilizada na arquitetura do Oriente Médio, e o captador de vento tipo *shed*, técnica que já é difundida no Brasil. Assim, buscou-se analisar a melhoria na circulação interna de ar, tendo como elemento qualitativo para representar o fluxo, a fumaça. Com isso, foi possível verificar o tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo, em diferentes combinações de velocidades e direções de ventos incididos, comparando as estratégias e constatando que para ventos incididos a 0° e 180°, a torre apresentou dissipação mais rápida da fumaça interna, e que para ventos incididos a 45°, o *shed* apresentou maior eficácia na dissipação, potencializando a circulação interna no ambiente.

Palavras-chave: Arquitetura Bioclimática. Ventilação natural. Torres de Vento. *Shed*.

ABSTRACT

LUNA, L. H. **Efficiency of wind towers like bioclimatic strategie of natural ventilation compared to wind sensores like shed.** 2018. 81f. Undergraduate Thesis – Civil Engeneering – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Toledo, 2018.

The search for strategies that can contribute with a more sustainable civil construction is constantly growing, looking for offering environmental comfort and energetic efficiency to the user. Inserted in this context, the natural ventilation is source of studies that can potentialize your application, where is not necessarily needed to develop a new technique but go deeper at one that already exists. And that was the motivation of this research, which the focus consists on analyze experimentally – simulating a wind tunnel and using a prototype in reduced scale – two bioclimatic strategies of natural ventilation, one the wind tower, very used in the Middle East architecture and the other the wind capture like shed, a technique already widespread in Brazil, looking for analyzing the improvement of internal air circulation, having the smoke as the qualitative element to represent the flow. By that, was able to verify the dissipation time of the smoke inside the prototype, in different speed settings and incidental winds directions, comparing the strategies and knowing that to incidental winds at 0° and 180°, the tower showed faster dissipation of the internal smoke, and that to incidental winds at 45°, the shed showed a more efficiency dissipation, resulting on the improvement of the internal air circulation.

Keywords: Bioclimatic Architecture. Natural ventilation. Wind towers. Shed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa da Cascata.....	8
Figura 2 - Park Hotel.	8
Figura 3 - Sede do Sebrae em Brasília - DF. Aplicação de <i>Brise-soleil</i>	9
Figura 4 - Campos inter-relacionados do equilíbrio bioclimático.	11
Figura 5 - Carta bioclimática de Olgyay.	16
Figura 6 - Carta de Givoni. Variação da zona de conforto.	17
Figura 7 - Carta de Givoni adaptada para o Brasil.	18
Figura 8 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	19
Figura 9 - Mapa do zoneamento e exemplo da carta bioclimática de Ponta Grossa.	20
Figura 10 - Zona de ventilação natural.....	21
Figura 11 - O efeito chaminé.....	23
Figura 12 - Ventilação unilateral.....	24
Figura 13 - Ventilação cruzada.....	25
Figura 14 - Perfis de vento em diferentes terrenos.	26
Figura 15 – Pressão do vento ao redor de um edifício.....	27
Figura 16 - Peitoril ventilado.....	28
Figura 17 - Distribuição do escoamento com a técnica de pilotis.....	28
Figura 18 - Chaminé solar.....	29
Figura 19 - Capturador de vento.	30
Figura 20 – Corte do projeto do Hospital Sarah, em Salvador – BA.	30
Figura 21 - Modelo ensaiado por Lôbo e Bittencourt.....	30
Figura 22 – Conclusões da pesquisa.	31
Figura 23 - Maquetes utilizadas no ensaio do Hospital Sarah Lago Norte (Brasília-DF) e Sarah Belém - PA, respectivamente.	31
Figura 24 – Vista de Torres de Vento unidirecionais no Irã.....	32
Figura 25 - Diferentes designs de Torres de Vento.....	33
Figura 26 - Torres de vento vista externa.....	34
Figura 27 – Torre de vento, vista interna.....	34
Figura 28 – Base de uma torre de vento.	34
Figura 29 - Paredes cruzadas de uma torre de vento.	35
Figura 30 - Aberturas e teto de uma torre de vento.....	35

Figura 31 - Principais classificações de aberturas das torres de vento.....	36
Figura 32 - Modelo testado por Bansal et al.....	37
Figura 33 - Porcullis House.....	38
Figura 34 – Queens Building.....	38
Figura 35 - Túnel de Vento.....	39
Figura 36 - Metodologia simulando Túnel de Vento.....	41
Figura 37 – Protótipos em escala reduzida.....	41
Figura 38 - Metodologia para ensaio de modelos em escala reduzida.....	42
Figura 39 - Mapa de incidência de ventos.....	44
Figura 40 - Testes com ventos incididos a 0°.....	45
Figura 41 - Testes com vento incidido a 45°.....	45
Figura 42 - Guias de direção do protótipo.....	45
Figura 43 - Testes com vento incidido a 180°.....	46
Figura 44 - Uso do anemômetro para controle da velocidade dos testes.....	46
Figura 45 - Dimensões do protótipo.....	47
Figura 46 - Aberturas do protótipo.....	48
Figura 47 - Protótipo das estratégias bioclimáticas de ventilação natural.....	48
Figura 48 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 01.....	50
Figura 49 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 02.....	50
Figura 50 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 03.....	51
Figura 51 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 04.....	51
Figura 52 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 05.....	52
Figura 53 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 06.....	53
Figura 54 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 07.....	53
Figura 55 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 08.....	54
Figura 56 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 09.....	54
Figura 57 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 10.....	55
Figura 58 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 11.....	56
Figura 59 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 12.....	56
Figura 60 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 13.....	57
Figura 61 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 14.....	58
Figura 62 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 15.....	58
Figura 63 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 16.....	59
Figura 64 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 17.....	60

Figura 65 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 18.	60
Figura 66 - Resultado dos testes realizados com a incidência de ventos a 0°.....	61
Figura 67 - Resultado dos testes realizados com a incidência de ventos a 45°.....	62
Figura 68 - Resultado dos testes realizados com a incidência de ventos a 180°.....	63
Figura 69 - Resultado dos testes realizados com vento incidido com velocidade de 1,5 m/s.	64
Figura 70 - Resultado dos testes realizados com vento incidido com velocidade de 3,0 m/s.	65
Figura 71 - Resultado dos testes realizados com vento incidido com velocidade de 4,5 m/s.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aproveitamento de recursos bioclimáticos na arquitetura.....	13
Quadro 2 - Elementos do clima a serem controlados.....	14
Quadro 3 - Efeitos do vento no ser humano.....	21
Quadro 4 - Velocidades de incidência do vento sobre o modelo.....	44
Quadro 5 - Direção de incidência do vento sobre o modelo.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

NBR – Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ISO – International Organization for Standardization

BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

EUA – Estados Unidos da América

CFD – Computational Fluid Dynamics

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVO GERAL	3
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	4
2.1. SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO CIVIL	4
2.1.1. Eficiência Energética	6
2.2. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	7
2.3. CLIMA	11
2.4. CONFORTO TÉRMICO	14
2.4.1. Cartas Bioclimáticas	15
2.4.2. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações	18
2.4.3. Vento e conforto	20
2.5. VENTILAÇÃO NATURAL	22
2.5.1. Processos de ventilação	22
2.5.2. Características e ações do vento	25
2.5.3. Estratégias Bioclimáticas de Ventilação Natural	27
2.6. TORRES DE VENTO	32
2.6.1. Constituição, tipologia e características de Torres de Vento	34
2.6.2. Estudos e aplicações de Torres de Vento	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1. FERRAMENTAS AVALIATIVAS DE VENTILAÇÃO NATURAL	39
3.1.1. Túnel de Vento	39
3.2. ESTUDOS METODOLÓGICOS RELACIONADOS	40
3.3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	43
3.4. CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1. RESULTADOS OBTIDOS COM CAPTADOR TIPO <i>SHED</i>	49

4.1.1.	Análise para ventos incididos a 0°	49
4.1.2.	Análise para ventos incididos a 45°	51
4.1.3.	Análise para ventos incididos a 180°	53
4.2.	RESULTADOS OBTIDOS COM TORRE DE VENTO.....	55
4.2.1.	Análise para ventos incididos a 0°	55
4.2.2.	Análise para ventos incididos a 45°	57
4.2.3.	Análise para ventos incididos a 180°	59
4.3.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	61
4.3.1.	Ângulo de incidência do vento	61
4.3.2.	Velocidade de incidência do vento	63
5.	CONCLUSÃO.....	67
5.1.	SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS	68
6.	REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A – GRAVAÇÕES DOS INSTANTES INICIAL, INTERMEDIÁRIO E FINAL DAS GRAVAÇÕES REALIZADAS DURANTE OS TESTES.....		75
•	TESTE 01.....	75
•	TESTE 02.....	75
•	TESTE 03.....	76
•	TESTE 04.....	76
•	TESTE 05.....	77
•	TESTE 06.....	77
•	TESTE 07.....	78
•	TESTE 08.....	78
•	TESTE 09.....	79
•	TESTE 10.....	79
•	TESTE 11.....	80
•	TESTE 12.....	80
•	TESTE 13.....	81
•	TESTE 14.....	81
•	TESTE 15.....	82

- TESTE 16.....82
- TESTE 17.....83
- TESTE 18.....83

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização a construção civil foi responsável por alterar de forma drástica o meio ambiente e por vezes não apresentou preocupação em preservar os recursos disponíveis. Houve por parte dos construtores a postura de exploração destes recursos com a crença de que estes seriam infinitos. O alto consumo, tanto dos recursos naturais como da energia necessária para a efetivação dos processos de desenvolvimento, acarretaram na escassez das fontes naturais além de gerar grande quantidade de resíduos. Estes fatores fomentaram as discussões sobre os modelos de desenvolvimento até então e fizeram com que medidas para a diminuição da degradação ao meio ambiente ganhassem força a partir do fim do século passado (QUEIROGA e MARTINS, 2015).

Para minimizar o impacto negativo gerado ao meio ambiente, a construção civil se obrigou a revisar e atualizar seus processos para promover o desenvolvimento sustentável da atividade. A criação de estratégias começou a ter relevância no fim da década de 1980 e persiste até os dias atuais. Algumas das principais ações neste sentido foram a otimização do uso de materiais e de recursos naturais, a preservação do meio ambiente e o correto gerenciamento dos resíduos gerados (CÔRTEZ *et al*, 2011).

Uma das estratégias que visam uma postura sadia frente às grandes preocupações no setor são as denominadas construções sustentáveis. Estas obras planejadas através de conceitos de arquitetura bioclimática concentram seus esforços na busca pela eco eficiência da edificação já construída. Esse conceito visa, a partir da concepção da edificação, aplicar a contribuição das variáveis climáticas para adequação de conforto térmico, de ventilação e iluminação natural e da eficiência energética (LAMBERTS *et al*, 2014).

No desenvolvimento das construções sustentáveis, a ventilação natural surge como um dos principais recursos bioclimáticos para o resfriamento passivo de edificações. Baseada na diferença de pressão, ela permite a troca da massa de ar interna por ar fresco externo, resfriando e renovando o ambiente. As principais formas de ocorrência de ventilação natural são pela ação dos ventos ou pelo efeito chaminé. No uso de estratégias passivas de ventilação natural destacam-se técnicas como a

ventilação unilateral, a cruzada e os captadores de vento, como o *shed* e a torre de vento.

A utilização de torres de vento como técnica de ventilação natural é muito comum no oriente médio. No ocidente, sua aplicação vem se tornando mais frequente, aliada ao conceito de edificações sustentáveis e, mesmo sofrendo resistência, começa a ser incorporada na arquitetura contemporânea. O sistema consiste na inserção de um elemento na cobertura da edificação, funcionando como captador ou extrator de ar (ANDRADE, 2013).

Nesta pesquisa, por meio da elaboração de protótipo arquitetônico em escala reduzida, será comparada a aplicação da torre de vento e do *shed* – mais comum na arquitetura ocidental – verificando a capacidade desses elementos, em ampliar a circulação de ar interna, potencializando o resfriamento de edificações. Essa análise foi descrita através do tempo de dissipação da fumaça contida no ambiente interno de um protótipo arquitetônico, aplicando as duas estratégias.

Assim, a pesquisa foi desenvolvida num primeiro momento, a partir de referenciais teóricos com a finalidade de compreender os fenômenos relacionados ao conforto térmico nas edificações. Esta etapa foi pautada no estudo da arquitetura bioclimática e seus benefícios em relação ao ambiente construído. Após este entendimento, a pesquisa seguiu com o desenvolvimento de um protótipo em escala reduzida, onde foi avaliado o comportamento das duas estratégias bioclimáticas, através de testes em laboratório, descritos posteriormente. Acredita-se que este estudo tem importância na evolução do pensamento de viés sustentável, ressaltando o papel da pesquisa e da inovação neste processo.

1.1. JUSTIFICATIVA

Na busca por alternativas que possam potencializar a eficiência energética das edificações e o conforto térmico de edificações, a arquitetura bioclimática vê na ventilação natural uma importante aliada para o conceito de construção sustentável. O adequado uso do vento, mantém a troca constante do ar interno da edificação, criando ambientes confortáveis e salubres, além de reduzir gastos energéticos. Destaca-se neste sentido o gasto energético promovido pelo uso de ar condicionado, um dos principais consumidores de energia elétrica.

O uso de torres de vento na arquitetura vernacular, onde as obras são erigidas com materiais locais e com estratégias saudáveis em relação ao gasto energético, é uma técnica comum na paisagem do Oriente Médio. Neste ambiente de condições climáticas extremas, as torres de vento proporcionam o equilíbrio interno das edificações em relação à temperatura e umidade.

O exemplo destas obras na arquitetura contemporânea passa a vislumbrar esta técnica como uma potencial alternativa para ventilação nas edificações em climas menos extremos, como os de desertos. As torres são alternativas para capturar ventos de maior altura e multidirecionais, conseqüentemente mais fortes, e extrair calor interno, através do efeito chaminé.

Diante do potencial percebido nesta estratégia projetual, a pesquisa se mostra pertinente por tratar de um tema atual e que pode contribuir como alternativa sustentável na construção civil, avaliando o desempenho da torre de vento comparada ao *shed*, que já tem seu conceito difundido no Brasil, podendo representar ganho na circulação interna de vento, contribuindo para um melhor conforto térmico da edificação, gerando economia ao usuário através da exploração de um recurso natural, renovável e gratuito.

1.2. OBJETIVO GERAL

A pesquisa busca comparar experimentalmente diferentes estratégias bioclimáticas de ventilação natural no interior de edificações, através da comparação da eficiência da torre de ventilação e do *shed*, em relação à melhoria da circulação do ar interno de edificações, através de análise de testes com protótipo em escala reduzida.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender os conceitos de arquitetura bioclimática e o papel das estratégias projetuais;
- Investigar o uso de técnicas vernaculares na arquitetura contemporânea de caráter sustentável;
- Demonstrar aplicações da ventilação natural no Brasil;
- Desenvolver o protótipo em escala reduzida, para os testes do experimento;

- Apontar e analisar os resultados da aplicação da torre de vento comparada ao *shed*, quanto à melhoria da circulação interna de vento.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Visando organizar conteúdo capaz de embasar a proposta do estudo prático, a pesquisa inicia com o resgate de alguns assuntos pertinentes à temática da arquitetura bioclimática e seu papel no desenvolvimento de obras de caráter sustentável. A pesquisa abrange a investigação do surgimento do desenvolvimento sustentável na construção civil e aborda as principais influências da arquitetura bioclimática.

Baseado na teoria de Olgyay (1963), a pesquisa é descrita paralelamente na linha do autor, no sentido de acreditar que para um projeto bioclimático, deve-se considerar o clima, o conforto e a técnica que, no caso desta pesquisa, terá como foco central a ventilação natural. Assim organiza-se a pesquisa apresentando inicialmente o referencial teórico, onde serão contextualizados e desenvolvidos os conteúdos referentes à temática de pesquisa e, posteriormente, definindo por meio dos materiais e métodos o experimento para verificação da eficácia do sistema de Torres de Vento.

2.1. SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO CIVIL

Em um passado recente, a relação de produção e consumo era a base de desenvolvimento ideal na sociedade, no qual pouco se questionava a limitação dos recursos naturais. Com o passar dos anos e a desenfreada degradação do meio ambiente, foi criado o conceito de desenvolvimento sustentável, com o objetivo de diminuir impactos e prezar pela harmonia da economia, do meio ambiente e da sociedade (QUEIROGA e MARTINS, 2015).

De acordo com Queiroga e Martins (2015), o debate sobre a degradação ambiental foi crescendo com o passar dos anos e grandes conferências, como a Conferência de Estocolmo (1972), o Tratado de Montreal (1987) e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (1992), foram realizadas

na busca da discussão e do desenvolvimento de soluções e ações preventivas para os problemas de questões ambientais. Nestas discussões, um novo horizonte foi criado, expandindo o compartilhamento de conhecimento e processos, gerando grandes acordos na comunidade externa, com a premissa de um novo comportamento geral dos envolvidos, para a garantia do desenvolvimento sustentável.

Segundo o Relatório Nosso Futuro Comum, da Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento em 1987, o desenvolvimento sustentável implica em atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades.

Na busca pelo desenvolvimento sustentável, o estudo de indicadores passou a aprimorar uma forma de mensurar tal desenvolvimento, para a quantificação do nível de sustentabilidade nos sistemas socioeconômicos e ecológicos. O principal objetivo dos indicadores é reunir e quantificar os dados coletados de maneira coesa e clara, para a melhoria na análise das informações (VAN BALLEEN, 2016).

Através da adoção de indicadores, o setor da construção civil é motivado a utilizar práticas sustentáveis a fim de avaliar os princípios da sustentabilidade nos conceitos de construção sustentável.

Atualmente, mesmo a construção civil sendo um dos pilares da economia do Brasil e pela alta empregabilidade, é uma das responsáveis direta pela degradação excessiva do meio ambiente, através da ineficácia e falta de oxigenação dos processos, além do alto e impensado consumo de insumos. O setor é responsável também por grande parte do uso de energia e água, além da alta emissão de resíduos e poluentes. Em tempo, produz cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos de todo o país, onde mais da metade não possuem a destinação correta (ABRELPE, 2016).

Os danos irreparáveis causados pela ausência de uma cultura ecológica no setor da construção civil foram acentuados a partir da metade do século passado, com o aumento nos processos de migração e, conseqüentemente, na alta demanda por novas habitações (SCHENINI *et al*, 2004).

A busca pelo processo sustentável tem levado a Indústria da Construção Civil a grandes mudanças e à implantação de novos conceitos na parte administrativa do setor, motivados pela competitividade do mercado internacional e da exigência do consumidor, que tem valorizado empresas que apresentam qualidade, ética e responsabilidade ambiental (CÔRTEZ *et al*, 2011).

Desta forma, a construção sustentável converge para um sistema construtivo que atenda as necessidades habitacionais atuais, estimulando alterações de forma eficiente e consciente, para que gerações futuras possam ter a garantia do exercício do desenvolvimento sustentável.

Segundo o Guia da Sustentabilidade na Construção, escrito pela Câmara da Indústria da Construção (2008), a construção sustentável deve estar implantada em todo o ciclo de vida do empreendimento, desde sua concepção ao uso final da edificação.

Os aspectos ambientais sustentáveis ligados à construção sustentável, de acordo com Silva (2007), podem ser considerados os itens principais apontados pelos sistemas de avaliação de sustentabilidade e certificações voluntárias de edificações, como BREEAM (Reino Unido) e LEED (EUA), tais como: qualidade da implantação; gestão do uso da água, da energia e de materiais; da redução de resíduos e prevenção da poluição; da gestão ambiental do processo; da gestão da qualidade do ambiente interno; da qualidade dos serviços; e do desempenho econômico. Estes parâmetros configuram diretrizes a serem seguidas no sentido de desenvolver obras com alta eficiência energética e baixo impacto ambiental, contribuindo para o processo de desenvolvimento sustentável.

Segundo Keeler e Burke (2010), uma construção sustentável tem como principal objetivo oferecer ao usuário, um ambiente interno saudável, gastos menores de energia, sistemas e materiais duráveis e rápido retorno sobre o investimento. Estes itens passam a ser desenvolvidos no sentido de gerar um aporte teórico que fundamente o objetivo do estudo, para que como estratégia bioclimática, a ventilação natural possa contribuir com a eficiência energética da edificação.

2.1.1. Eficiência Energética

O conceito de eficiência energética passou a fazer parte da agenda mundial no fim do século passado, através do desenvolvimento do conceito de construção sustentável. Outros fatores como a crise do petróleo, em 1973 e as preocupações relacionadas ao clima global, também contribuíram para que esse conceito passasse a ser necessário na concepção de projetos de edificações (LAMBERTS *et al*, 2014).

Na aplicação do conceito da eficiência energética, na construção civil, a retomada da arquitetura bioclimática passou a promover o desenvolvimento de

técnicas de conforto térmico, atuando diretamente no consumo energético das edificações, por auxiliarem nas soluções de ventilação e iluminação (PEDRINI e TRINDADE, 2010).

Outra técnica que contribui para a alta eficiência energética é a arquitetura vernacular, através da aliança dos conceitos bioclimáticos e sustentáveis às tradições arquitetônicas genuínas e particulares de várias etnias e locais. O conceito básico da técnica consiste em aproveitar as características do clima de forma positiva e evitar que a obra atue de forma negativa em relação aos impactos gerados pela sua inserção no meio ambiente (LAMBERTS *et al*, 2014).

Para Trindade (2006), no Brasil, mesmo com a preocupação em aplicar o conceito sustentável e energeticamente eficiente, essa prática é pouco utilizada, principalmente em regiões menos desenvolvidas. Embora o conceito de arquitetura bioclimática, enquanto ação ética e consciente de intervenção no ambiente encontre-se em vias de sedimentação em meio ao pensamento contemporâneo, há a contrapartida de que essa técnica contribua para a difusão de projetos eco eficientes. No capítulo seguinte, será abordada a importância e o conceito da arquitetura bioclimática e sua relação com fatores bioclimáticos aplicados a questões projetuais.

2.2. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Um dos principais campos culturais influenciados pelo modernismo, a arquitetura propôs uma nova ideologia relacionada ao conforto do usuário baseada no surgimento de novos materiais e novas tecnologias. Com esta intenção passou a adotar o uso massivo e, até então impensado, da energia elétrica não só para a iluminação, mas para o sistema de condicionamento de ar. Esse período da arquitetura moderna, que passou a ser trabalhada através do estilo internacional, tornou-se responsável pelo distanciamento do uso dos recursos bioclimáticos. (FERNANDES, 2009).

Ao se configurar as obras em padrões internacionais e com o uso indiscriminado de aparelhos de condicionamento de ar, as particularidades da arquitetura vernacular, que leva em conta a adaptação ao meio físico e climático perderam espaço (FERNANDES, 2009). Embora de forma genérica este fato tenha fomentado a perda de identidades regionais e a ausência de propagação de técnicas

muitas vezes milenares, alguns nomes dentro do movimento moderno, como o arquiteto americano Frank Lloyd Wright e do brasileiro Lucio Costa, demonstraram preocupações com o uso do ambiente em harmonia com a edificação e com técnicas e materiais advindos do entorno da edificação, conforme figuras 1 e 2 (VAZQUEZ *et al*, 2008; OLIVEIRA *et al*, 2007). Esta postura ética perante a intervenção minimiza o gasto de energia com deslocamentos de materiais e potencializa as estratégias de projeto visando o equilíbrio ambiental interno das obras.

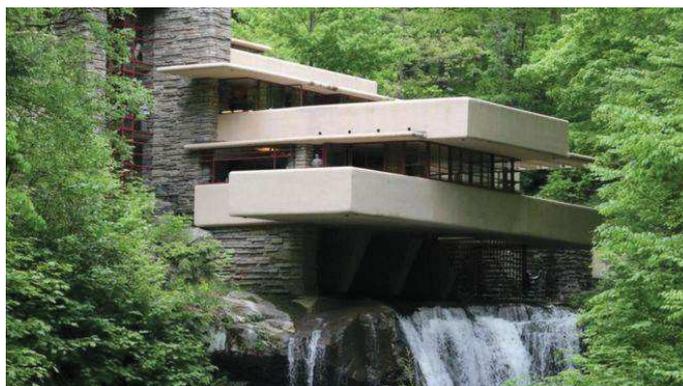


Figura 1 - Casa da Cascata.
Fonte: <https://goo.gl/Vy7PpC>, 2017.



Figura 2 - Park Hotel.
Fonte: <https://goo.gl/U14sdg>, 2001.

O conceito da arquitetura bioclimática aborda, sobretudo, o clima como uma das principais variáveis durante o processo projetual de uma edificação. Os conceitos fundamentais do projeto visam compreender as variações climáticas predominantes no local para que haja uma interação adequada e confortável com o edifício. (GONÇALVES e GRAÇA, 2004)

Para Serra¹ (1989) *apud* Fernandes (2009), a arquitetura bioclimática pode ser descrita como a arquitetura que otimiza as relações energéticas com o ambiente natural envolto a partir do projeto arquitetônico, funcionando como mediador entre

¹ SERRA, F. R. Clima, lugar y arquitectura. IMEAT, Madrid, 1989.

homem e meio ambiente, buscando o conforto ao usuário através da adequação da construção aos fatores climáticos locais, de forma respeitosa e interativa.

Segundo Romero (2000), a arquitetura bioclimática é o próprio ambiente construído, que controla as variáveis do meio através dos seus elementos (paredes, pisos, coberturas), seu entorno (água, vegetação, sombras, terra) e, ainda, aproveitando os elementos climáticos para o melhor controle de elementos naturais como o vento e o sol.

No âmbito do desenvolvimento do pensamento arquitetônico pelo viés da arquitetura bioclimática, as primeiras publicações sobre o tema surgiram na década de 60, pelos arquitetos Victor e Aladar Olgay. Estes pesquisadores moldaram as bases da teoria vinculada à expressão bioclimatologia e aplicaram-na ao projeto arquitetônico. A partir deste momento o desenvolvimento da bioclimatologia abordando o clima, o espaço urbano e a própria edificação, passou a fazer parte do cenário acadêmico. (FERNANDES, 2009)

Buscando através de estratégias projetuais, elementos arquitetônicos funcionais como o *brise-soleil*, por exemplo, e dos materiais constituintes da obra, a arquitetura bioclimática tem como princípio melhorar a qualidade de vida e a relação do ser humano com o ambiente buscando envolver o ser humano às características locais da edificação, além de procurar otimizar o uso da energia para o adequado conforto ambiental. (FREITAS, 2008).



Figura 3 - Sede do Sebrae em Brasília - DF. Aplicação de *Brise-soleil*.
Fonte: <https://goo.gl/J9rUjc>, 2010.

Os fatores climáticos e ambientais são decisivos na aplicação do projeto bioclimático, porém, não são os únicos a serem considerados. São, ainda, determinantes para o comportamento do ser humano, pois é através do edifício que

ele obtém o conforto necessário para ficar protegido da ação das variações climáticas. (MONTEIRO, 2011)

Para Lamberts *et al* (2014), as variações climáticas descrevem as características de uma região quanto a sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. Dentro desse contexto, as principais variáveis climáticas para a aplicação da arquitetura bioclimática são:

- **Radiação solar:** é a principal fonte de luz e calor do Planeta. É utilizada para geração de energia renovável e dentro da arquitetura, pode-se usar ou evitar, principalmente para fins de conforto térmico e visual do usuário.
- **Luz natural:** toda radiação solar é fonte de iluminação natural nas edificações. Uma parcela incidente é convertida em calor.
- **Temperatura:** variável climática mais fácil de medir e a mais popular. A variação da temperatura resulta dos fluxos de grandes massas de ar e da diferente recepção solar, variando o local.
- **Vento:** é comum haver variações na direção e velocidade do ar na mesma região climática. Isso ocorre em razão das diferenças de temperatura de diferentes massas de ar, o que acarreta no deslocamento da área de maior pressão, onde o ar é mais frio e pesado, para uma área de menor pressão, com o ar mais quente e leve;
- **Umidade:** é resultado da evaporação da água e da evapotranspiração das plantas. É a variação climática mais estável ao longo de um dia.

Para Olgyay² (1963) *apud* Fernandes (2009), a intenção de um projeto bioclimático considera o clima, o conforto, a técnica e o espaço construído. E ainda, para considerar-se um edifício climaticamente equilibrado, deve atender quatro etapas subsequentes e inter-relacionadas:

1. **Climatologia:** envolve o estudo das variáveis climáticas locais;
2. **Biologia:** avalia as sensações humanas relacionadas ao conforto térmico durante todo o ano;

² OLGAYAY, V. *Arquitectura y Clima – Manual de Deseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1963.

3. **Tecnologia:** soluções tecnológicas que passam pela seleção do sítio, pela orientação e formas da habitação, pelos cálculos de sombra, movimentos de ar e equilíbrio térmico interno;
4. **Arquitetura:** resultante dos diferentes elementos envolvidos no todo.

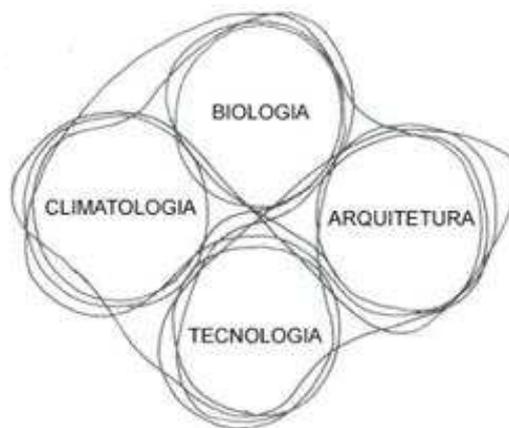


Figura 4 - Campos inter-relacionados do equilíbrio bioclimático.
Fonte: Olgyay, 1963 (apud Fernandes, 2009, p.29)

Compreendendo o conceito de arquitetura bioclimática e em como os fatores climáticos locais são diretamente ligados aos projetos bioclimáticos, faz-se necessário o estudo do clima no aspecto geral e em como a climatologia pode contribuir no desenvolvimento de estratégias bioclimáticas para as edificações. Com isso, o capítulo seguinte visa relacionar as variáveis climatológicas à arquitetura e a importância do clima como elemento projetual na busca pela eficiência energética e pelo conforto ambiental em edificações.

2.3. CLIMA

Nos últimos anos, muitos fatores têm contribuído com o aquecimento global do planeta. A severa degradação ao meio ambiente através da emissão de poluentes, do efeito estufa e da redução das florestas, tem causado grandes efeitos na mudança climática no planeta. (ANDRADE, 2005).

Frente a todos esses problemas, a arquitetura tem a missão de contribuir utilizando técnicas bioclimáticas, difundidas por pesquisadores, porém pouco empregadas. Com o uso dos recursos naturais como o sol, o vento, as chuvas, entre outros, é possível oferecer à edificação conforto e eficiência energética, através da iluminação, aquecimento e resfriamento. É possível ainda a utilização desses recursos para a geração de energia renovável. (LAMBERTS *et al* 2014).

Para Fernandes (2009), o clima é fundamental na arquitetura para o desenvolvimento de estratégias que utilizem os recursos naturais e ofereçam conforto aos usuários nas edificações. Desta forma, o estudo do clima contribui consideravelmente na adoção de posturas sadias de projeto.

A combinação de aspectos geomorfológicos e espaciais (sol, latitude, altitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, solo, etc.) e de variáveis como temperatura, umidade e precipitações, fomenta a geração de estratégias de projeto que visem atender e promover o equilíbrio ambiental interno da edificação. (ROMERO, 2000).

Para Givoni³ (1976) *apud* Fernandes (2009) o clima interno e o conforto térmico da edificação são dependentes do entorno, no entanto, a própria edificação gera mudança nas condições climáticas do ambiente em que esta inserida. Portanto, a intervenção antrópica no meio configura um ciclo de influência e de dependência de fatores, capazes de promoverem ou reverterem mudanças climáticas. Neste sentido, Frota e Schiffer (2003) afirmam que a adequação da arquitetura com o clima local é importante, pois aumentam as possibilidades de oferecer condições de conforto ao usuário. Para que isso ocorra, é indispensável que se usufrua do conhecimento bioclimático da região através dos respectivos dados climáticos.

Segundo Lamberts *et al* (2014) o microclima é o clima mais próximo da edificação, podendo ser concebido ou alterado pelo projetista. Variáveis como a vegetação, a topografia e o tipo de solo afetam as condições climáticas do local. O seu estudo é primordial para a prática de soluções arquitetônicas voltadas para o bem-estar do usuário e a eficiência energética da edificação.

Autores como Frota e Schiffer (2003), Adam (2001) e Romero (2000), apresentam diferentes maneiras de aproveitar, de forma adequada, os dados climáticos locais na arquitetura. Desta forma, é possível inserir os conceitos bioclimáticos de forma objetiva, para que os projetos alcancem todo o potencial positivo dos recursos bioclimáticos disponíveis de cada região.

Frota e Schiffer (2003) apresentam um sistema de adequação para diferentes climas. Através, primeiramente, da caracterização do clima local através de dados de oscilação da temperatura, umidade relativa, radiação incidida, grau de nebulosidade, sentido e predominância dos ventos e índices dos pluviômetros. Na segunda etapa, é

³ GIVONI, B. Man, climate and architecture. London: Applied Science Publishers, 1976.

trabalhado o partido arquitetônico de acordo com as características climáticas: forma, orientação, aberturas, situação, entorno, entre outros. E por último, os materiais mais adequados de acordo com a capacidade requerida, como cor interna e externa, inércia térmica, condutividade térmica, entre outros.

Adam (2001) separa em três, a forma de analisar o aproveitamento dos recursos bioclimáticos, de acordo com as particularidades climáticas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Aproveitamento de recursos bioclimáticos na arquitetura.

Regiões com climas e estações quentes (desertos)	Requer a implantação de recursos arquitetônicos mais rígidos, de forma a evitar a exposição da incidência solar. Utilizar a ventilação natural auxiliada pela umidificação do ar.
Regiões de estações quentes e frias	Implantação de recursos arquitetônicos mais flexíveis e maleáveis às variações climáticas. Para o frio, potencializa-se a incidência solar e para o calor, intensifica-se a ventilação natural.
Regiões polares (frias)	Requer a implantação de recursos arquitetônicos mais rígidos, de forma a aliar ganhos por radiação solar, sem que haja perda através de ventilação ou isolamento.

Fonte: adaptado de Adam, 2001.

Segundo Romero (2000), os elementos climáticos que devem ser controlados e a forma de controle, são baseados nas condições de microclima da edificação, norteando os recursos bioclimáticos para a fase projetual de um edifício. O esquema elaborado pela autora é demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Elementos do clima a serem controlados.

Elementos para controlar	Estações quentes e secas	Estações quentes e úmidas	Clima ameno dos planaltos
Temperatura	Reduzir a produção de calor devido à condução e convecção dos impactos externos.	Reduzir a produção de calor Procurar perda de calor pela evaporação e pela convecção.	Reduzir a produção de calor na época seca diurna.
Ventos	Em regiões sem inverno: diminuir o movimento do ar durante o dia e ventilar à noite. Em regiões com inverno: diminuir o movimento do ar.	Incrementar o movimento do ar.	Incrementar o movimento do ar no período úmido e no período seco sem pó.
Umidade	Aumentar a umidade com a introdução de superfícies de água.	Evitar a absorção de umidade e diminuir a pressão de vapor. Promover a evaporação.	Aumentar a umidade na época seca diurna e noturna.
Radiação	Nas regiões sem inverno: reduzir a absorção de radiação e promover sua perda. Nas regiões com inverno: reduzir as perdas de calor por radiação à noite.	Reduzir a absorção de radiação.	Reduzir a absorção de radiação no urbano, permitindo a radiação nos edifícios principalmente no período seco.
Chuvas	Mínima proteção nos espaços públicos.	Máxima proteção nos espaços públicos.	

Fonte: Romero, 2000.

Dessa forma, é possível compreender como o envolvimento da arquitetura com os aspectos climáticos contribui para o desenvolvimento de técnicas eficientes para projetos bioclimáticos de edificações, visando o conforto do usuário que será abordado no capítulo seguinte.

2.4. CONFORTO TÉRMICO

Segundo Lamberts (2014) o conforto ambiental é o conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico e ainda, garantir o conforto olfativo e a qualidade do ar. Conforto térmico é definido como “uma situação de satisfação psicológica com as condições

térmicas de um ambiente onde a manutenção da homeostase humana é obtida” (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008, p.13). Segundo a NBR 15220-1 (2005), conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

Soma-se a estes conceitos o apresentado por Frota e Schiffer (2003), que definem a sensação do corpo humano em perder o calor gerado pelo metabolismo, para o ambiente, sem nenhum mecanismo termorregulador como o arrepio, o suor, entre outros.

Os fatores que influenciam no conforto térmico podem ser medidos diretamente através da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar e a temperatura radiante. Outros fatores que afetam a sensação de conforto térmico humano são as atividades desenvolvidas e a vestimenta utilizada (VIEIRA, 2008).

Para Romero (2000) no processo de equilíbrio térmico entre homem e meio acontecem trocas térmicas através da radiação, condução, convecção e evaporação. A ocorrência desse processo é fundamental para que a temperatura interna do corpo humano possa se manter próximo dos 37°C. Para isto, uma forma de entender a integração entre usuário e clima é que se pode aproveitar ou evitar os fatores climáticos na concepção do projeto, objetivando-se o conforto térmico da edificação. A forma mais comum é através de climatização e iluminação artificiais. Outra opção é através de recursos naturais, visando estratégias de aquecimento, resfriamento e iluminação natural (LAMBERTS *et al*, 2014).

Na busca pelo desenvolvimento de relacionar a satisfação humana com as variáveis climáticas, vários estudos bioclimáticos foram realizados com a finalidade de definir parâmetros como índices, cartas, escalas e tabelas que visam o conforto térmico em relação às edificações (FERNANDES, 2009).

2.4.1. Cartas Bioclimáticas

Na busca pelo desenvolvimento de relacionar a satisfação humana com as variáveis climáticas, vários estudos bioclimáticos foram realizados com a finalidade de definir parâmetros como índices, cartas, escalas e tabelas que visam o conforto térmico em relação às edificações (FERNANDES, 2009).

Para Romero (2000) o desenvolvimento de modelos de conforto térmico adequados, é importante para o estudo de técnicas de controle do ambiente, pois é

possível identificar as variáveis do meio que devem ser alteradas ou aproveitadas para se obter as desejadas condições de conforto ao usuário, já a partir do projeto arquitetônico.

A relação entre clima e conforto térmico é apresentada nas cartas bioclimáticas, com o objetivo de interligar variáveis das condições climáticas, de padrões fisiológicos e de conforto térmico, com o intuito de auxiliar na escolha da estratégia adequada, de forma simples, por meio de expressão gráfica facilmente compreendida visualmente. O primeiro diagrama bioclimático foi desenvolvido pelos irmãos Olgay e denominado de Carta Bioclimática de Olgay (FERNANDES, 2009).

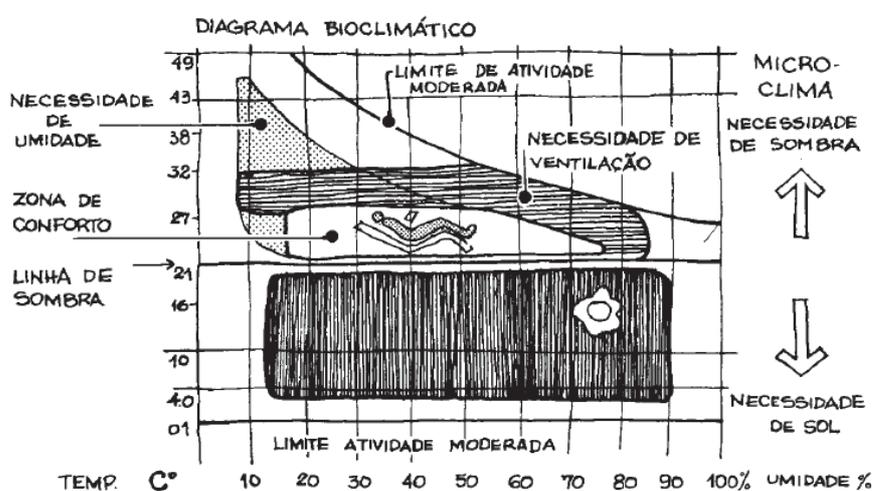


Figura 5 - Carta bioclimática de Olgay.
Fonte: Romero, 2001.

Como a aplicação da Carta Bioclimática de Olgay, foi desenvolvida para condições externas à edificação, Givoni desenvolveu, em 1969, a carta bioclimática para adequação direcionada aos edifícios, corrigindo a principal limitação do método de Olgay (JUNIOR, 2015).

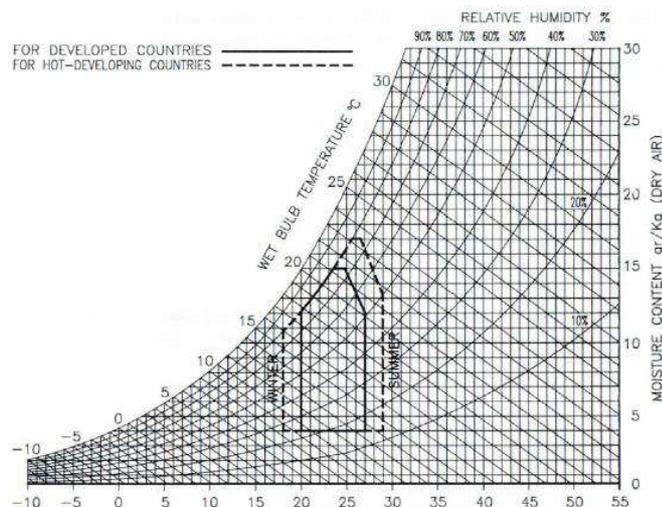


Figura 6 - Carta de Givoni. Variação da zona de conforto.
Fonte: Givoni, 1994 (apud Fernandes, 2009, p. 44).

Em 1992, Givoni lançou uma revisão de sua carta e criou duas linhas para utilizá-la, dividindo para países em desenvolvimento e desenvolvidos. Após estudos foi possível comprovar que em países em desenvolvimento a aclimação era maior, pois a maioria da população, por ter menos condições financeiras, se acostumava com a alta variabilidade da temperatura e do resfriamento natural. Por isso, constatou-se a necessidade de uma nova classificação para os países de clima temperado (desenvolvidos) e climas quentes e úmidos (em desenvolvimento) (FERNANDES, 2009).

Uma das principais diferenças entre a carta de Givoni (1968) para a de Olgyay (1963) é de que há a extensão da zona de conforto por meio de zonas estratégicas bioclimáticas. O método mostra que há a necessidade de se conhecer variáveis como a temperatura do ar e umidade relativa, aplicando o conceito da carta psicrométrica, onde dentro do gráfico é possível encontrar a zona de conforto de cada zona bioclimática, auxiliando na busca da estratégia adequada para a região (LAMBERTS *et al*, 2014).

A carta bioclimática de Givoni adaptada ao Brasil (figura 7) possui as seguintes estratégias, de acordo com a NBR 15220-3:

- Zona de Aquecimento Artificial;
- Zona de Aquecimento Solar da Edificação;
- Zona de Massa Térmica para Aquecimento;
- Zona de Conforto Térmico;
- Zona de Desumidificação;

- Zona de Resfriamento Evaporativo;
- Zona de Massa Térmica de Refrigeração;
- Zona de Ventilação;
- Zona de Refrigeração Artificial;
- Zona de Umidificação do Ar.

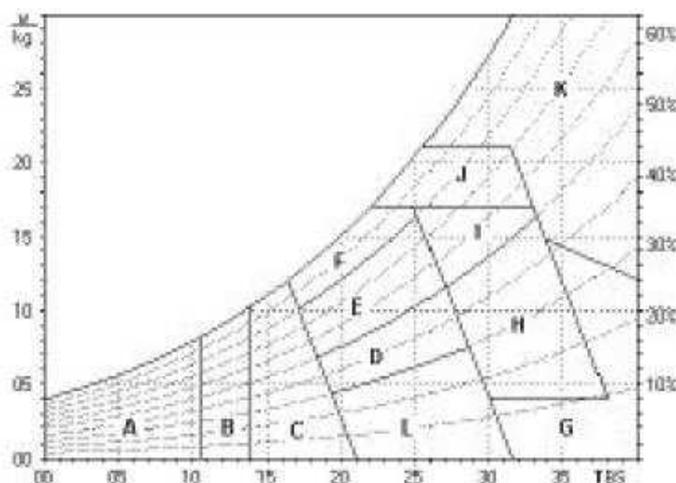


Figura 7 - Carta de Givoni adaptada para o Brasil.
Fonte: NBR 15220-3.

Com o objetivo de desenvolver o desempenho térmico de edificações, tanto na fase projetual quanto após a execução, foi criada a NBR 15220-3 com o intuito de normatizar as diretrizes construtivas relacionadas ao desempenho térmico de edificações unifamiliares e estabelecer o Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

2.4.2. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações

A NBR 15220-3/2003 tem como principal objetivo auxiliar na promulgação do desempenho térmico de edificações unifamiliares. Através do zoneamento bioclimático, dividindo o território brasileiro em oito Zonas Bioclimáticas e com diretrizes técnico-construtivas para cada região em relação ao tamanho de janelas, a proteção das aberturas, os tipos de coberturas e paredes externas, além das estratégias de condicionamento térmico passivo e estratégias bioclimáticas para a localidade.

Segundo Bagnati (2013) a NBR 15220-3 dividiu o país em regiões onde há homogeneidade climática, utilizando séries históricas de temperaturas máximas, mínimas e umidades relativas do ar. Foram registradas 330 cidades, por todo o

território do país, algumas classificadas por Normais Climatológicas, enquanto outras foram ordenadas através de interpolação dos dados.

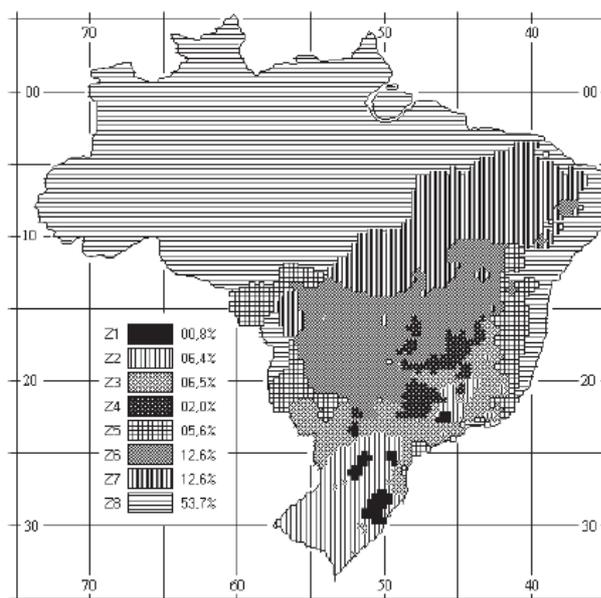


Figura 8 - Zoneamento bioclimático brasileiro.
Fonte: NBR 15220-3.

As zonas bioclimáticas do Brasil e as principais técnicas para a busca do conforto térmico das edificações adotadas listadas abaixo, de acordo com a NBR 15220-3:

- **Zona 1:** Aquecimento Solar da Edificação (inverno); Vedações Internas pesadas (inverno).
- **Zona 2:** Ventilação Cruzada (verão); Aquecimento Solar da Edificação (inverno); Vedações Internas Pesadas (inverno).
- **Zona 3:** Ventilação Cruzada (verão); Aquecimento Solar da Edificação (inverno); Vedações Internas Pesadas (inverno).
- **Zona 4:** Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para Resfriamento (verão); Ventilação Seletiva (verão); Aquecimento Solar da Edificação (inverno); Vedações Internas Pesadas (inverno).
- **Zona 5:** Ventilação Cruzada (verão); Vedações Internas Pesadas (inverno).
- **Zona 6:** Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para Resfriamento (verão); Ventilação Seletiva (verão); Vedações Internas Pesadas (inverno).
- **Zona 7:** Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para Resfriamento (verão); Ventilação Seletiva (verão).
- **Zona 8:** Ventilação cruzada permanente (verão).

Para a cidade de Toledo, no Paraná, cidade da origem desta pesquisa, a título de ilustração, a NBR 15220-3 indica que a cidade está na Zona Bioclimática 2, onde no Verão a estratégia de condicionamento térmico passivo é a Ventilação Cruzada, oriunda de técnicas de ventilação natural. No inverno, é sugerido o aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica). As aberturas para ventilação são consideradas médias e em relação ao sombreamento das aberturas, deve-se permitir o sol durante o inverno. Ainda, a norma orienta que as paredes externas sejam leves e a cobertura leve isolada.

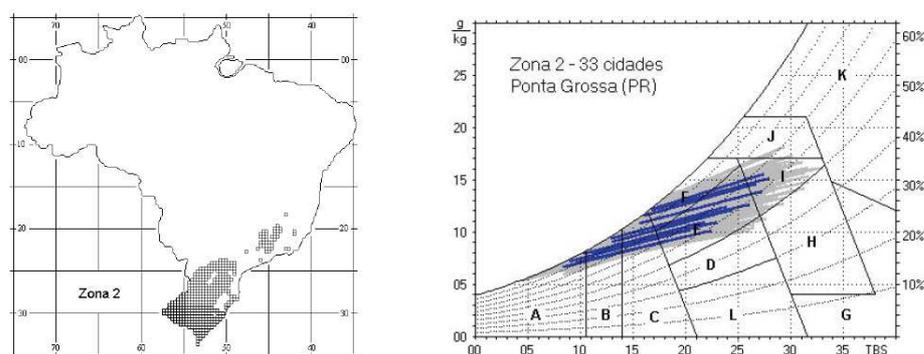


Figura 9 - Mapa do zoneamento e exemplo da carta bioclimática de Ponta Grossa.
Fonte: NBR 15220-3.

Conforme o direcionamento da NBR 15220-3, o papel da ventilação cruzada vem de encontro às preocupações e fundamentações desta pesquisa em fomentar a utilização de estratégias de ventilação natural. Com isso, é importante destacar a relação do vento com o conforto do usuário.

2.4.3. Vento e conforto

Para Bittencourt e Cândido (2010) a velocidade baixa do ar não exerce mais influência que a temperatura radiante e do ar, no conforto térmico. A temperatura radiante é a combinação da temperatura do ar com as geradas pelas trocas entre indivíduo e ambiente. Comparando com um edifício, é a temperatura dos elementos construtivos como piso, paredes, janelas, entre outros. Para velocidades maiores de vento a temperatura influencia na percepção do conforto térmico.

A zona de conforto de ventilação natural da carta de Givoni adaptada ao Brasil, segundo Lamberts *et al* (2014) apresenta que há melhora na sensação térmica devido à ventilação natural, se a temperatura do interior da edificação for maior que 29° C ou a umidade relativa do ar for superior a 80%.



Figura 10 - Zona de ventilação natural.
Fonte: Lamberts et al, 2014.

A eficiência do resfriamento do corpo humano é diretamente ligada à velocidade e temperatura do ar, porém existe uma velocidade ótima, que se superada, pouco interfere na sensação térmica humana. Fatores que interferem nessa velocidade, que não é constante, é a temperatura, a umidade, a taxa metabólica e o vestuário (GIVONI⁴, 1976 *apud* LUKIANTCHUKI, 2015).

Quadro 3 - Efeitos do vento no ser humano.

Velocidade do ar (m/s)	Efeito sobre os seres humanos	Efeito do esfriamento (°C)
0,1 m/s	Pode-se sentir sufocação.	0,0
0,25 m/s	Movimento imperceptível, exceto com baixas temperaturas.	0,7
0,5 m/s	Sensação de frescor para temperaturas confortáveis, causando incomodo com as baixas.	1,2
1,0 m/s	Agradável para clima quente ou confortável. Nível máximo aceitável de conforto noturno.	2,2
1,5 m/s	Incômodo a temperaturas confortáveis. Limite máximo de conforto interno.	3,3
2,0 m/s	Aceitável só em condições extremamente quentes e úmidas.	4,2

Fonte: Freixanet e Viqueira, 2004.

Entendendo o efeito da ação do vento (Quadro 3) perante o conforto do usuário, o capítulo seguinte explora mais profundamente o tema de ventilação natural como uma estratégia bioclimática, embasando teoricamente o tema central desta pesquisa.

⁴ GIVONI, B. Man, climate and architecture. London: Applied Science Publishers, 1976.

2.5. VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é um dos principais recursos naturais na busca pelo conforto ambiental e pela eficiência energética. Após o sombreamento, é a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil. Pode-se definir ventilação natural como o emprego do fluxo normal do ar, com o objetivo de atingir uma condição favorável de conforto ao usuário e de melhoria na qualidade do ar no interior da edificação, através de um condicionamento térmico (SOUZA E RODRIGUES, 2012; LAMBERTS *et al*, 2014).

Para Lukiantchuki (2015) a ventilação natural utilizada como recurso para se obter o conforto térmico é fundamental, principalmente, em regiões de clima quente e úmido, pois com o aumento das correntes de ar, as trocas de calor por convecção aumentam e ocasionam resfriamento do corpo humano através da evaporação do suor. A eficiência do resfriamento fisiológico está atrelada diretamente à velocidade e temperatura do ar, conforme visto na seção 2.4.3. Segundo Bittencourt e Cândido (2010) o resfriamento passivo das edificações têm como principais funções:

1. Manter a qualidade do ar, substituindo o ar interno alterado pelo ambiente, por ar fresco do exterior (ventilação higiênica);
2. Proporcionar conforto térmico aos usuários reduzindo o calor do corpo humano, através da convecção e evaporação (ventilação térmica);
3. Resfriar a estrutura da edificação e o usuário.

Os principais benefícios da ventilação natural são a renovação do ar, assegurando a salubridade do interior da edificação e dos usuários, a retirada de calor do edifício através da redução da radiação térmica e de temperaturas superficiais e do ar. Ainda, promove a economia de energia elétrica, pois diminui o uso de ventilação mecânica e ar condicionado (LUKARIANTCHUKI, 2015).

2.5.1. Processos de ventilação

Segundo Marques da Silva (2010) a ventilação natural é estimulada por uma diferença de pressão causada por dois processos físicos. No processo térmico, através da ventilação natural pelo efeito chaminé e do processo eólico, através da

ventilação natural pela ação dos ventos, onde esses processos podem trabalhar juntos, separados ou opostos.

As diferenças de pressão da superfície dos edifícios determinam a intensidade e a distribuição do escoamento do ar no interior de um ambiente. Podem ser geradas pela pressão dinâmica (força do vento) ou pressão estática (diferença de densidade do ar) (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2010).

2.5.1.1. Ventilação natural pelo processo térmico

No processo de ventilação natural através do efeito chaminé, a origem do sistema consiste basicamente, na geração de gradientes verticais tanto nas densidades das massas de ar, quanto nas pressões, ocasionadas pela diferença de temperatura do ar externa e internamente. No interior das edificações, comumente, a temperatura é mais elevada comparada à exterior, com isso, o ar mais quente e menos denso se eleva e sai por aberturas superiores, permitindo a entrada de ar fresco, que tem maior densidade e entra por aberturas inferiores (LUKIANCHUKI 2015; TOLEDO, 1999).

2.5.1.2. Ventilação natural pelo processo eólico

No caso de grandes adensamentos urbanos, a aplicação do efeito chaminé é mais recomendável, pois a velocidade do vento é muito baixa ou inexistente, devido aos obstáculos para a circulação, tornando-se a única alternativa de renovação do ar interno para que ocorra a ventilação natural. Porém, caso as temperaturas internas e externas sejam semelhantes, e ainda, haja pouca altura entre a entrada e saída de ar, a eficácia da ventilação pode ser prejudicada (TOLEDO, 1999).

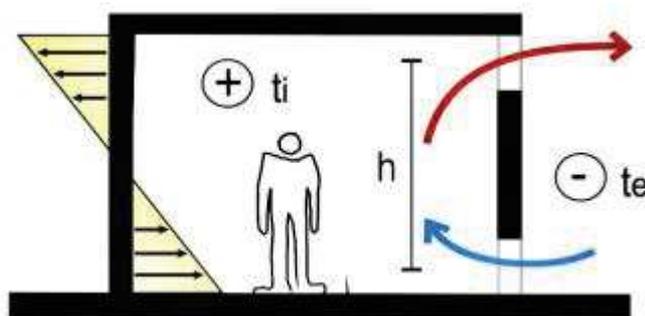


Figura 11 - O efeito chaminé.
Fonte: Bittencourt e Cândido, 2010.

No processo de ventilação natural através da ação dos ventos, a forma, o entorno e a incidência dos ventos são fatores primordiais da edificação para que se obtenha o sucesso da estratégia. Nesse processo, a ventilação pode ser classificada como cruzada ou unilateral. O processo é fundamentado nas diferenças de pressão das aberturas de entrada e saída do ar e consiste na incidência do vento sobre edificação, onde a região atingida diretamente pelo vento gera uma pressão positiva (barlavento), e nas outras faces ocorre uma pressão negativa (sotavento). (LUKIANCHUKI, 2015).

Segundo Rodrigues (2008) a ventilação é unilateral quando as aberturas estão situadas em um único lado do ambiente. Esse tipo de ventilação é pouco eficaz quando comparada a outras técnicas, porém serve para um único cômodo, limitando a renovação do ar no ambiente e seu resfriamento.

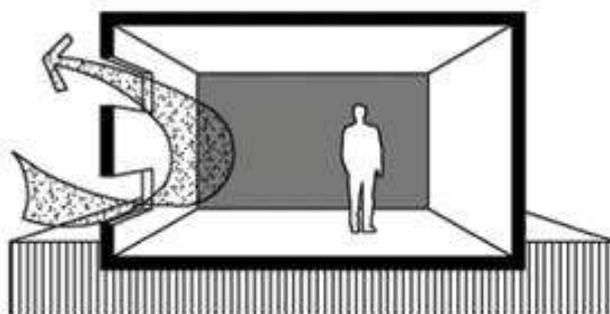


Figura 12 - Ventilação unilateral.
Fonte: <https://goo.gl/RXXZ7V>, 2011.

A ventilação é considerada cruzada quando as aberturas do edifício são em paredes opostas ou adjacentes. A circulação do ar é facilitada, pois as entradas de ar estão em zonas de alta pressão e as saídas em zonas de baixa pressão, o que conseqüentemente, determina que as aberturas de entrada sejam mais baixas que as saídas. Nesse tipo de ventilação natural, é importante que o vento tenha uma mudança na direção para não passar diretamente para a saída, sendo recomendado que o ar entre obliquamente, proporcionando uma maior área ventilada e menor turbulência (RODRIGUES, 2008).

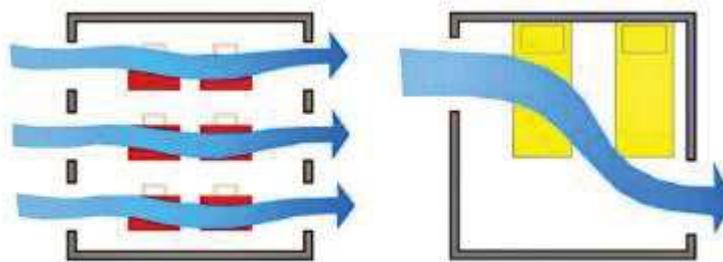


Figura 13 - Ventilação cruzada.
Fonte: Bittencourt e Cândido, 2010.

Segundo Neves (2006) a posição e o tipo da abertura influenciam diretamente na eficiência da ventilação cruzada. Porém, elementos externos podem influenciar no fluxo de ar e no comportamento do vento.

2.5.2. Características e ações do vento

Segundo Lamberts *et al* (2014) a ventilação natural é eficaz entre 20° C e 32° C, pois a troca térmica por convecção trabalharia melhor em aquecer o ambiente, do que como estratégia passiva de resfriamento. Todo recurso natural, quando utilizado como estratégia, pode ser desejável em alguns períodos do ano e evitados em outros. O vento pode ter seu comportamento alterado devido a esses períodos, tendo variação na direção e intensidade de acordo com sua localidade. Outros fatores que podem alterar o comportamento do vento são a topografia, a vegetação e as edificações, através da rugosidade da superfície local.

Para aproveitar todo o potencial do vento como estratégia bioclimática para a ventilação natural é necessário analisar os fatores microclimáticos que ocorrem em decorrência do fenômeno em sua ação na edificação. Os principais fatores são definidos por Bittencourt e Cândido (2010) como:

- **Circulação atmosférica:** o vento circula na camada atmosférica mais baixa, onde dentro dessa camada, chamada de troposfera, o gradiente vertical da temperatura varia conforme a altura e quanto mais alto, torna-se mais frio.
- **Camada limite urbana:** quando uma corrente de vento atinge a quina de um corpo, ocorre a instabilidade do escoamento gerando uma camada limite, que se afasta ou encosta no corpo, dependendo de sua geometria. Dentro da camada limite, o escoamento pode ser laminar ou turbulento e está relacionado ao número de Reynolds e à geometria do corpo.

- **Gradiente de vento:** o efeito de fricção surge através do fluxo de vento em contato com uma superfície, que através de seu grau de rugosidade, determina a intensidade do efeito de fricção. Na superfície terrestre, o eixo vertical do o incremento de velocidade varia de zero até a velocidade livre de obstáculos, gerando um gradiente de vento. Essa altura livre da influência do atrito com a rugosidade da superfície é chamada de altura do gradiente. A velocidade do vento varia em campos abertos, áreas suburbanas e cidades, pois esses locais possuem diferentes alturas de gradientes, em função da diferença da rugosidade dos locais.

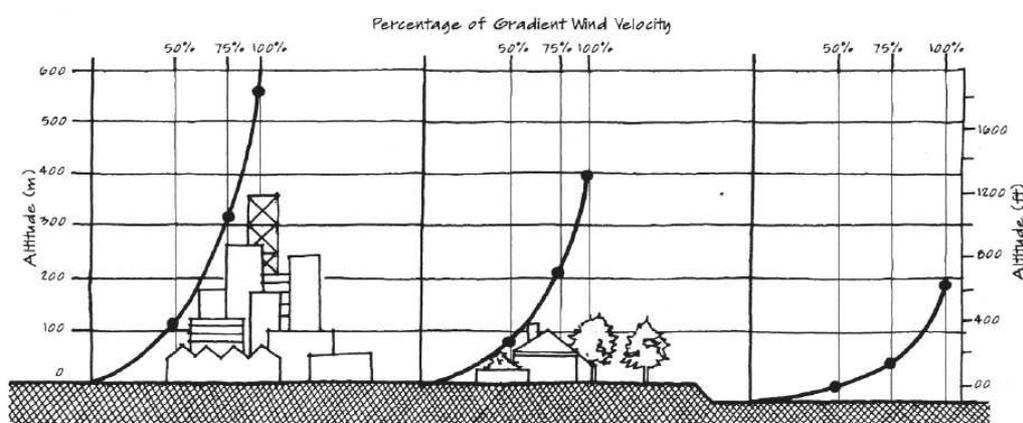


Figura 14 - Perfis de vento em diferentes terrenos.
Fonte: Al-Shaali (2002).

- **Efeito da capacidade térmica:** a capacidade térmica do vento esta diretamente ligada a fatores que alterem sua temperatura. Em regiões litorâneas, a brisa do mar e da terra tem origem através da descontinuidade de temperatura provocada pela diferença de capacidade térmica da massa de terra e de água, afetando a direção e a velocidade dos ventos. Brisas ainda podem ser geradas através de grandes áreas verdes.
- **Influência topográfica:** a direção do vento, a velocidade e o teor de umidade do ar podem ser afetados através da disposição topográfica de um terreno. A tendência de uma corrente de ar é sempre escoar pelas laterais de um obstáculo a superá-lo por cima.

Uma corrente de ar pode apresentar escoamento laminar ou turbulento e um edifício pode ser considerado um obstáculo quando estiver no perfil livre desse escoamento. Caso o escoamento das moléculas de ar, movam-se em linhas paralelas, sem variação de direções, é considerado escoamento laminar. Caso tenha alta

velocidade ou haja colisão com obstáculo, é considerado escoamento turbulento (MARQUES DA SILVA, 2010; BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008).

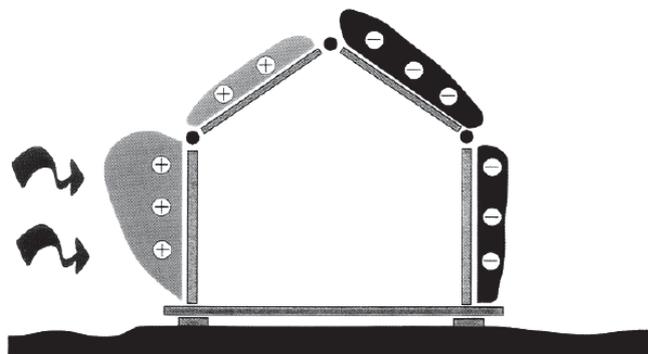


Figura 15 – Pressão do vento ao redor de um edifício.
Fonte: Al Shaali, 2002.

De acordo com Evans⁵ (1980) *apud* Bittencourt e Cândido (2010), os principais fatores do fluxo de ar no interior de uma edificação são:

- Tamanho e localização das aberturas de entrada do ar;
- Tipo e a disposição das aberturas utilizadas;
- Localização de outros elementos arquitetônicos próximos das aberturas.

2.5.3. Estratégias Bioclimáticas de Ventilação Natural

Outros elementos construtivos, além de janelas, podem funcionar como incremento de ventilação no interior de edificações. Segundo Bittencourt e Cândido (2010) alguns componentes são pouco utilizados na arquitetura brasileira mesmo com riqueza plástica. Inclusive neste capítulo, serão abordados os temas principais do trabalho, como os captadores de vento e as torres de ventilação.

2.5.3.1. Peitoril ventilado

Para Bittencourt e Cândido (2006) essa técnica permite o fluxo de ventilação logo abaixo da abertura de janelas, executado em forma de “L” invertido e construído em concreto, sendo livre da incidência de radiação solar e de chuvas. Bittencourt *et al* (2007) observaram que o uso da técnica proporcionou um aumento significativo do

⁵ EVANS, J. M. Housing climate and comfort. London: Architectural Press, 1980.

fluxo de ar no ambiente. A indicação é que seja utilizado em escritórios e dormitórios, pois direciona o fluxo para regiões baixas do ambiente.

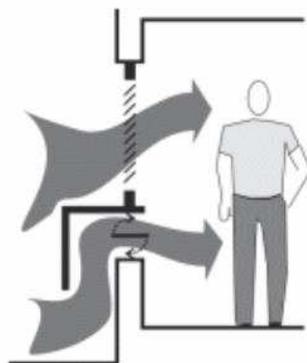


Figura 16 - Peitoril ventilado.
Fonte: Bittencourt et al, 2007.

É primordial que se leve em consideração a abertura de saída do ar para que ocorra o processo de circulação do ar, como lanternins, mansardas ou torres de ventilação. (LAMBERTS et al, 2014)

2.5.3.2. Pilotis

Segundo Bittencourt e Cândido (2010) os pilotis contribuem para o aumento da ventilação no interior das edificações baseado no gradiente de vento, visto anteriormente (figura 11), pois sua técnica consiste em elevar a edificação e conseqüentemente, as entradas de ar, encontrando ventos mais rápidos. Pode-se ainda explorar o espaço sombreado pela edificação.

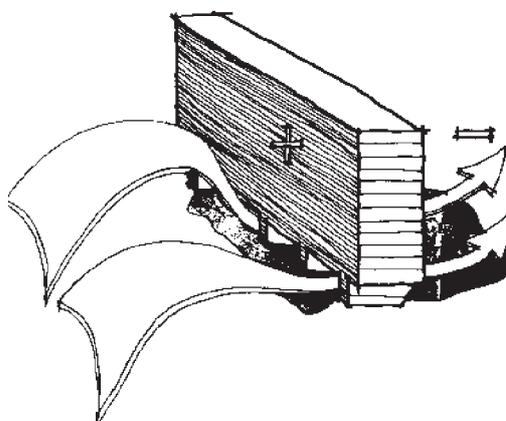


Figura 17 - Distribuição do escoamento com a técnica de pilotis.
Fonte: <https://goo.gl/kCigvU>, 2016.

2.5.3.3. Chaminé solar

Segundo Neves e Roriz (2012) o processo de chaminé solar é provocado pela diferenciação de temperatura e de pressão, sendo eficaz para a promoção do conforto térmico em áreas densamente ocupadas, onde a circulação de vento é prejudicada.

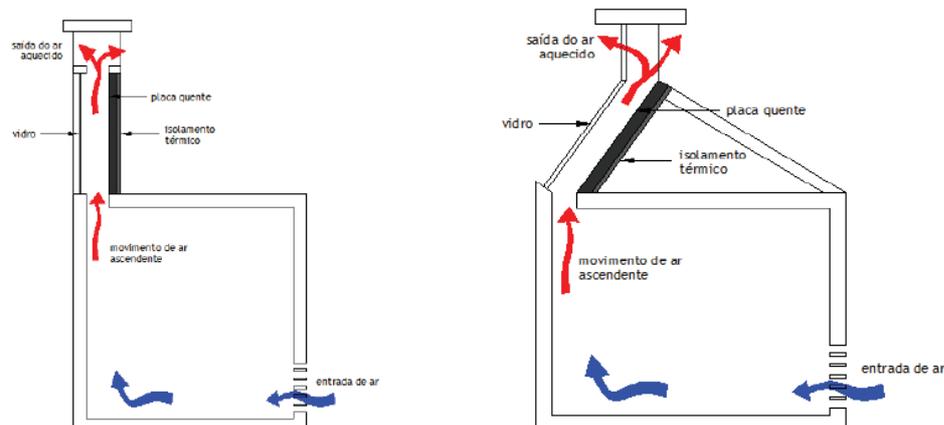


Figura 18 - Chaminé solar.
Fonte: Neves e Roriz, 2011.

A utilização dessa estratégia se faz necessária quando há pouca diferenciação entre as temperaturas das aberturas do ambiente. O sistema utiliza a energia da radiação solar, que aquece o ar interno e induz o efeito chaminé, fazendo com que ar fresco ocupe o espaço do ar quente exalado.

2.5.3.4. Capturadores de vento: *shed*

Segundo Lamberts (2014) os capturadores de vento são utilizados para conduzir o vento para o interior dos ambientes. Para Lôbo e Bittencourt (2003) é uma estratégia para incrementar a ventilação natural em edificações, através de aberturas situadas na cobertura das edificações e tem função tanto de coletar como extrair ar, dependendo de sua orientação em relação ao fluxo de ar.

Outro modelo de captador e mais empregado atualmente, são os de aberturas tipo *shed*. Esses dispositivos são utilizados tanto como capturadores, quanto extratores de ar. O *shed* é um elemento que promove a iluminação e a ventilação natural e são encontrados de duas formas: ortogonais (dente de serra) e aerodinâmicos (LUKIANCHUKI, 2015).

Destacando o uso de *sheds* no Brasil, segundo Latorraca (2000), João Filgueiras Lima é um arquiteto brasileiro famoso pelo uso da técnica. Conforme Araújo

(2011) é responsável pelos hospitais da Rede Sarah Kubitschek, onde suas propostas promoveram qualidade ambiental nos espaços projetados, além de tornar as circulações e áreas de espera, mas agradáveis com o uso da ventilação e iluminação natural.

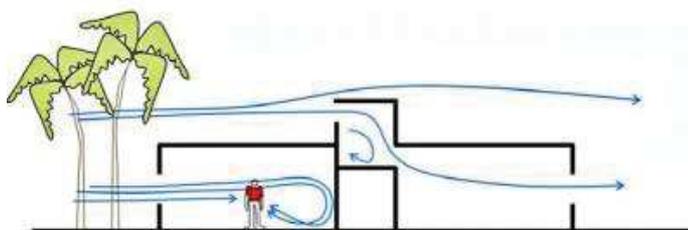


Figura 19 - Captador de vento.
Fonte: Bittencourt, 2010.

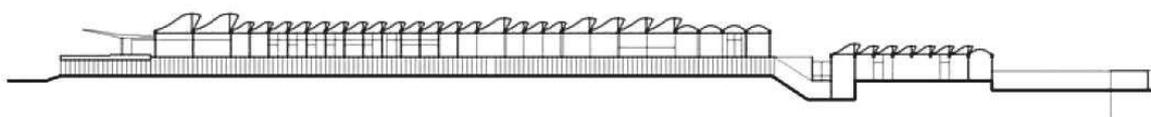


Figura 20 – Corte do projeto do Hospital Sarah, em Salvador – BA.
Fonte: <https://goo.gl/x3Qovf>.

Lôbo e Bittencourt (2003) investigaram o desempenho de captadores de vento em conjuntos habitacionais na busca pela melhoria do conforto térmico, através de simulação computacional. Concluíram que o uso da técnica, se posicionada corretamente, chega a incrementar 100% a velocidade média de fluxo do ar e que, para melhorar ainda mais o desempenho, deve-se considerar o uso da estratégia já no projeto arquitetônico.

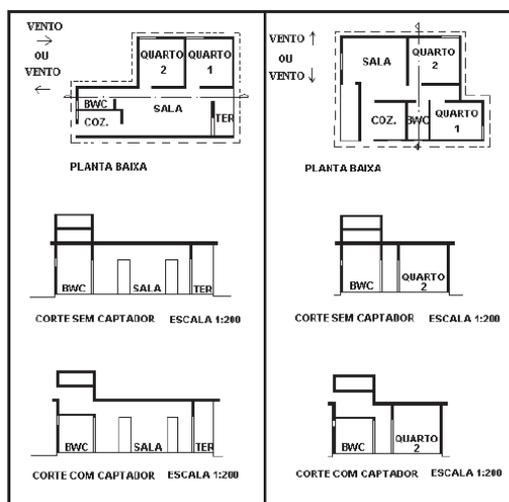


Figura 21 - Modelo ensaiado por Lôbo e Bittencourt.
Fonte: Lôbo e Bittencourt, 2003.

Localização	Modelo	Captador	Sentido do vento	Incremento na sala	Incremento no quarto 1	Incremento no quarto 2
Conjunto Salvador Lyra	Modelo 1	Sem captador	Barlavento	-	-	-
	Modelo 2	Com captador	Barlavento	100%	20%	25%
	Modelo 3	Sem captador	Sotavento	-	-	-
	Modelo 4	Com captador	Sotavento	100%	15%	15%
Conjunto Graciliano Ramos	Modelo 5	Sem captador	Barlavento	-	-	-
	Modelo 6	Com captador	Barlavento	20%	90%	30%
	Modelo 7	Sem captador	Sotavento	-	-	-
	Modelo 8	Com captador	Sotavento	30%	0%	30%

Figura 22 – Conclusões da pesquisa.
Fonte: Lôbo e Bittencourt, 2003.

Camargo *et al* (2010) analisaram o desempenho da ventilação natural dos Hospitais da rede Sarah nas cidades de Brasília e Belém, utilizando túnel de vento.

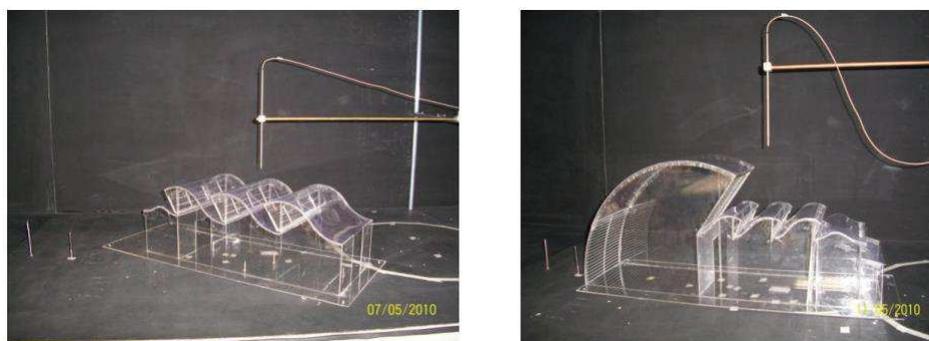


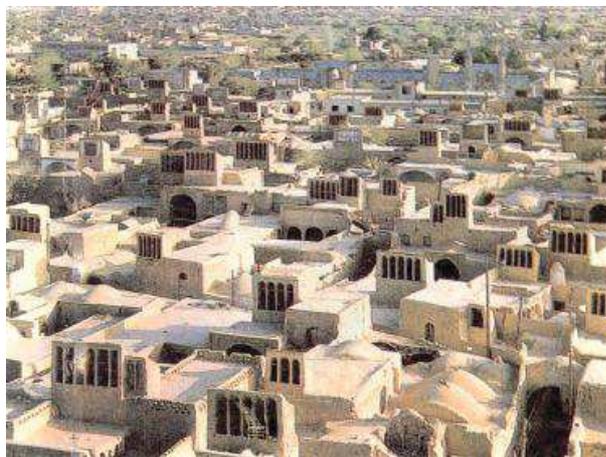
Figura 23 - Maquetes utilizadas no ensaio do Hospital Sarah Lago Norte (Brasília-DF) e Sarah Belém - PA, respectivamente.
Fonte: Camargo *et al*, 2010.

Na análise dos resultados, concluíram que o sistema de *sheds* do hospital de Belém, que funciona como extrator de ar é mais eficiente na ventilação interna do que o sistema de aberturas e *sheds* de Brasília, que funciona como captador de vento. Ainda observaram que o hospital Sarah de Belém melhoraria sua ventilação natural interna em cerca de 20%, se estivesse na posição do vento dominante.

2.5.3.5. Capturadores de vento: torres de ventilação

Essa técnica vernacular é muito utilizada no Oriente Médio e vem sendo utilizada com mais frequência na arquitetura europeia bioclimática moderna. O processo de torres de vento consiste na presença de um elemento arquitetônico acima da edificação, formado por dutos captadores de vento que coletam o vento e redireciona-o para o interior do ambiente. (LAMBERTS *et al*, 2014). De acordo com

Andrade (2013), é possível utilizar as torres tanto como captadores quanto extratores, através do efeito chaminé.



**Figura 24 – Vista de Torres de Vento unidirecionais no Irã.
Fonte: Dehghani-sanij et al, 2014.**

Essa técnica será explicada mais profundamente no capítulo seguinte, por se tratar do tema principal da pesquisa.

2.6. TORRES DE VENTO

Segundo Dehghani-sanij *et al* (2015) as primeiras torres de vento foram construídas há mais de 1200 anos na região central do Irã, onde havia clima quente e árido. No país, é exemplo de energia limpa e são encontradas tanto em regiões quentes e secas, quanto quentes e úmidas. Com o passar dos anos, a técnica se difundiu para outras regiões do país e outros países do Oriente Médio, chegando até o norte da África, com particularidades regionais, como demonstra a figura 23. Algumas evidências primitivas apontam para o uso da técnica em residências de faraós. (EL SHORBAGY, 2010; A'ZAMI, 2005; ANDRADE, 2013).

Segundo Araújo (2011) as torres de vento fazem parte de outro grupo de elementos arquitetônicos utilizados para captação e exaustão do ar no nível acima das edificações. Usualmente, possuem aberturas para entrada e saída do ar. Em locais sem predominação da direção dos ventos é utilizado torres com mais aberturas e sua plasticidade pode variar de acordo com a região situada.

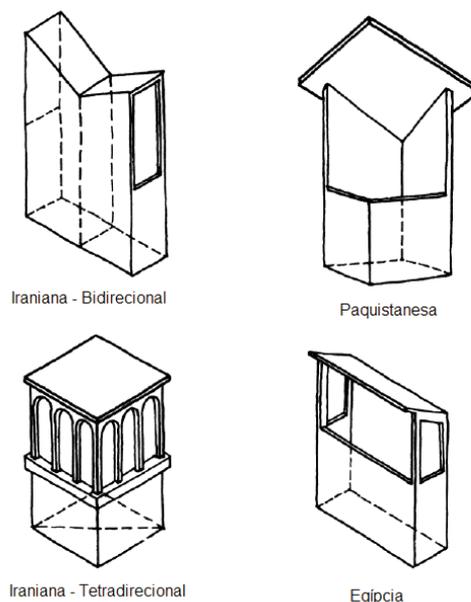


Figura 25 - Diferentes designs de Torres de Vento.
Fonte: Adaptado de Al-Shaali, 2002.

Para Lôbo e Bittencourt (2003) o clima brasileiro apresenta boas características para o aproveitamento da ventilação natural na busca pelo conforto térmico. Porém, a estratégia das torres de vento não é difundida no país por falta de conhecimento científico dos projetistas.

A estrutura das torres de vento é composta, geralmente, por quatro paredes laterais, sendo em seu interior, dividida por paredes diagonais internas que formam dutos para a passagem do ar (figura 25) e seu mecanismo funciona, basicamente, de duas maneiras. O primeiro, através dos diferenciais de pressão criados a barlavento, onde é promovida a entrada do ar e, em decorrência do efeito chaminé, o ar interno é exaustado pela saída a sotavento. O segundo, através dos diferenciais de temperatura, aproveitando-se da posição de incidência solar para que o ar fresco, localizado à sombra, possa empurrar o ar quente que adentra pela parte voltada ao sol (mais leve), promovendo o arrefecimento do interior da edificação (ARAÚJO, 2011). Os efeitos da ventilação pela técnica podem ser controlados de acordo com as variações climáticas, podendo ser impedida a entrada de vento quando desejável (MALEKI E SHABESTARI⁶, 2010 *apud* ANDRADE, 2013).

⁶ MALEKI, B.A.; SHABESTARI, A.F. Optimization of Badgir (wind tower) in Iranian hot-arid region architecture. In: Conference On Technology & Sustainability In The Built Environment, 1, 2010, Riad. Anais... Riad: CAP/KSU, 2010. Disponível em: <https://cap.ksu.edu.sa/sites/cap.ksu.edu.sa/files/attach/tsbe_2_e_05.pdf>. Acesso em: 11 abr 2018.



Figura 26 - Torres de vento vista externa.
Fonte: Dehghani-sanij et al, 2014.



Figura 27 – Torre de vento, vista interna.
Fonte: <https://goo.gl/TEWYeB>, 2012.

2.6.1. Constituição, tipologia e características de Torres de Vento

Segundo em Van Lengen (2004) a estrutura de uma torre pode variar de região para região, porém as mais tradicionais são compostas pelos seguintes elementos:

- **Base:** constituída por paredes externas inferiores, aumentando sua resistência conforme a altura das torres, conforme a figura 26.

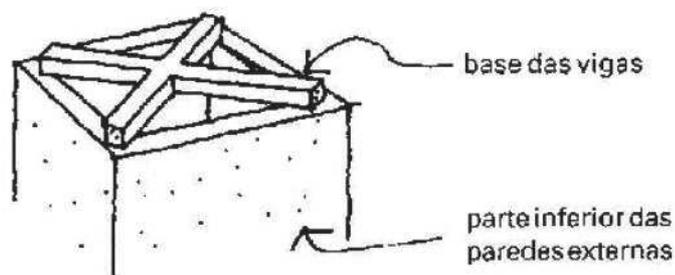


Figura 28 – Base de uma torre de vento.

Fonte: Van Lengen, 2004.

- **Paredes cruzadas:** o alicerce para as paredes cruzadas são as paredes externas e geralmente são de concreto ou madeira, como demonstra a figura 27.

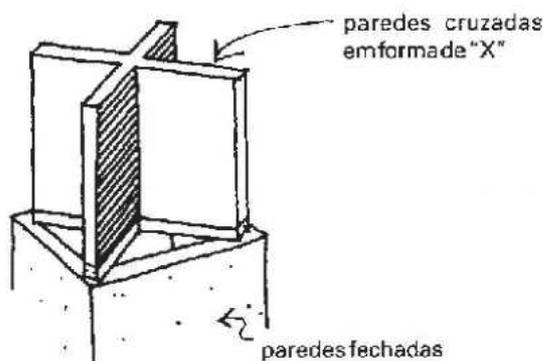


Figura 29 - Paredes cruzadas de uma torre de vento.
Fonte: Van Lengen, 2004.

- **Aberturas e Teto:** as aberturas são situadas nas paredes externas superiores e o teto é o cobrimento da torre, geralmente constituído por uma laje de concreto ou em alguns casos, por uma abóboda, conforme a figura 28.

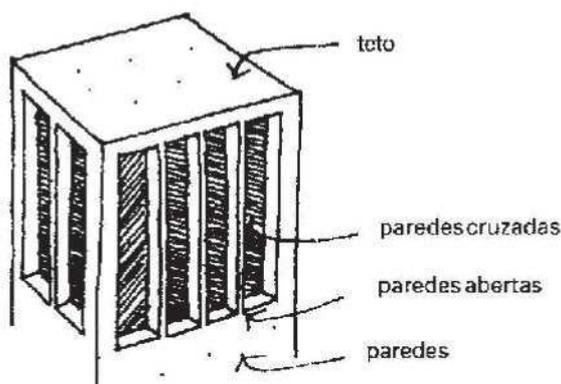


Figura 30 - Aberturas e teto de uma torre de vento.
Fonte: Van Lengen, 2004.

Já a altura da torre está ligada diretamente à climatologia da região, assim como o número de aberturas, onde existem diferentes classificações e nomenclaturas (figura 29). Para Dehghani-sanij *et al* (2014), as torres podem ser classificadas como:

- **Unidirecional:** são abertas apenas da direção desejada do vento, captando-o apenas em uma direção;
- **Bidirecional:** são mais eficientes na circulação de ar no interior de edificações. Tem papel captador e extrator e é amplamente utilizada.

- **Tetradirecional:** mais utilizadas por capturarem vento em quatro direções, sendo mais altas, variando de acordo com o clima da região;
- **Octodirecional:** capturam o vento em todas as direções e apresentam melhores resultados que as anteriores.

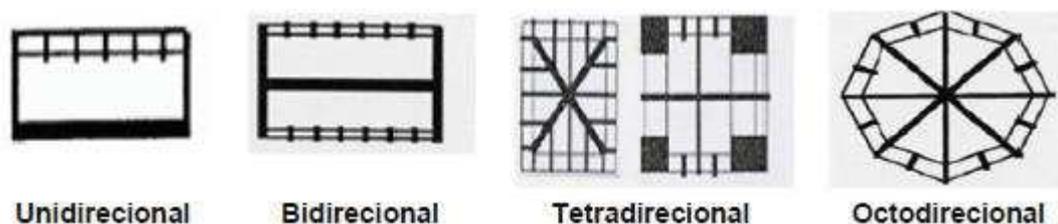


Figura 31 - Principais classificações de aberturas das torres de vento.
 Fonte: Ghaemmaghani e Mahmoudi, 2005 (*apud* Andrade, 2013, p.8).

As torres apresentam algumas limitações como a penetração de poeira, insetos e pássaros juntamente com ar na torre, a vulnerabilidade quando aplicada em regiões chuvosas e a resistência da arquitetura contemporânea ocidental em implantar a técnica, devido a plasticidade arquitetônica do elemento. (DEHGHANI-SANIJ *et al*, 2014; ANDRADE, 2013).

Andrade (2013) recomenda que a operação das torres de vento não deva ser interrompida durante a noite, pois é nesse momento que se refrescam as paredes da edificação. O autor cita ainda, que não se deve obstruir o fluxo de ar interno nem suas aberturas e que as aberturas da edificação sejam localizadas ao nível dos ocupantes.

2.6.2. Estudos e aplicações de Torres de Vento

Bansal *et al*⁷ (1991) *apud* Andrade (2013) realizaram um estudo de desempenho térmico em uma edificação de dois pavimentos com a aplicação de torre de vento localizada na escada para a ventilação interna. A pesquisa desenvolvida por métodos da mecânica dos fluídos, constatou que o ar no interior da edificação chegou a ser 8° C menor que o exterior.

⁷ BANSAL, N.K.; et al. A solar passive building for hot arid zones in India. Energy Conversion Management. v. 32, n. 1, p. 1-9, 1991.



Figura 32 - Modelo testado por Bansal et al.
Fonte: Bansal et al, 2009 (apud Andrade, 2013,p.11).

Elmualim⁸ (2006) *apud* Dehghani-sanij et al (2014) instalou uma torre de vento em uma sala da Universidade de Reading, no Reino Unido. Através de medições de gás carbônico, da temperatura e umidade interna, além de entrevistas com os ocupantes da sala. Com base nesses dados, avaliou o desempenho da estratégia como uma ferramenta útil para o conforto térmico da edificação.

Para Edwards (2008) em edifícios, torres de vento podem ser mais eficientes que janelas laterais, pois é possível melhorar o controle dos níveis de ventilação e integrar outras estratégias de resfriamento, como o efeito chaminé. Além disso, o uso de fatores bioclimáticos combinados pode reduzir o uso de ventilação mecânica, como é o caso da Porcullis House, em Londres, projetada pelo arquiteto Michael Hopkins, e pelo Queens Building, em Leicester, projetado pelo escritório Short and Associates, onde o foco em eficiência energética é através e ventilação natural através de Torres de Ventilação.

⁸ ELMUALIM A. A. Verification of design calculations of a wind catcher/ tower natural ventilation system with performance testing in a real building. *International Journal of Ventilation*, 4 n. 4, p. 393-404, 2006.



Figura 33 - Porcullis House.
Fonte: <https://goo.gl/HzCBtG>, 2001.



Figura 34 – Queens Building.
Fonte: <https://goo.gl/KKWJBb>, 2005.

Com o embasamento teórico dessa importante estratégia bioclimática concluído, o próximo capítulo apresenta, a partir de diferentes autores, a metodologia empregada na pesquisa e como foram analisados os dados obtidos através do experimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A demonstração da metodologia experimental é uma importante ferramenta na pesquisa, pois delimita o experimento através do embasamento científico. Este capítulo apresenta os materiais e a metodologia que foi utilizada para a construção do protótipo, além de abordar como são realizados testes que avaliam a ventilação natural em laboratório. Segue ainda, com a descrição de pesquisas e autores que

sustentaram a metodologia empregada, e finaliza com a descrição a avaliação do desempenho da torre de vento, como estratégia bioclimática de ventilação natural, comparada ao *shed*.

3.1. FERRAMENTAS AVALIATIVAS DE VENTILAÇÃO NATURAL

Para Costa (2009) a escolha da metodologia para avaliar a ventilação natural em edificações deve se basear na disponibilidade de recursos materiais e humanos. Segundo Chen (2009), as principais metodologias de análises de fluxo de ar em edificações e no ambiente geral são os túneis de vento, as mesas d'água, as medições in loco, as simulações computacionais por Dinâmica dos Flúidos Computacional (CFD) e as fórmulas analíticas. Posteriormente, será aprofundado o conceito de túnel de vento, que será a metodologia utilizada nesta pesquisa.

3.1.1. Túnel de Vento

Túneis de vento são ferramentas laboratoriais com a capacidade de produzir correntes de ar em condições controladas, tendo como objetivo analisar o modelo perante as particularidades do escoamento do fluído, como demonstra a Figura 35. São amplamente utilizados nas áreas de ensino e pesquisa, sendo possível avaliar o movimento do ar em ambientes de modelos em escala reduzida, tendo como objetivo otimizar o uso da ventilação natural de acordo com a configuração mais eficiente quanto à circulação de ar e aberturas (MACHADO, TIBIRIÇÁ e JENTZSCH, 2008).



Figura 35 - Túnel de Vento.
Fonte: Andrade, 2013.

Segundo Prata e Frota (2007) nos ensaios realizados em túnel de vento a escala do modelo deve ser compatível com a seção do túnel, da área de estudo, dos critérios de semelhança e do tipo de ensaio a ser realizado (estrutural, edifício, meio urbano). Para visualização qualitativa do fluxo de ar, segundo o autor, são utilizados fumaça ou areia (técnica de figuras de erosão) e para medições quantitativas, principalmente de velocidade de incidência sobre o modelo, são utilizados anemômetros de fio quente ou tubo de *Pitot*.

De acordo com Lukiantchuki (2015) o túnel de vento é uma ferramenta com alta confiabilidade e de grande auxílio na concepção de projetos. Contudo, devido aos altos custos e a dificuldade de sua operação, é pouco acessível, sendo encontrados, principalmente, em laboratórios especializados.

3.2. ESTUDOS METODOLÓGICOS RELACIONADOS

Devido ao fato apresentado por Lukiantchuki (2015), onde se considera a dificuldade de acesso à ferramenta Túnel de Vento, principalmente na região onde o experimento será executado, optou-se por buscar autores que tenham realizado um tipo de metodologia, baseado em adaptações de túneis de vento, chegando à uma metodologia alternativa, embasada e de confiança para o tipo de análise proposto.

Al-Shaali (2002) utilizou túneis de vento para projetar uma torre de vento adequada à climatologia das cidades de Abu Dhabi e Al-Ain, nos Emirados Árabes Unidos, região com temperaturas elevadas e altas umidades relativas do ar. No estudo, o autor construiu maquetes de acrílico, em escala 1:48, para diferentes tipologias de torres e ensaiou-as em duas situações diferentes de aberturas. Foi, portanto, incidido o vento gerado por um ventilador, controlando a velocidade através de sensores, de forma a simular um túnel de vento, conforme o esquema apresentado na Figura 36.

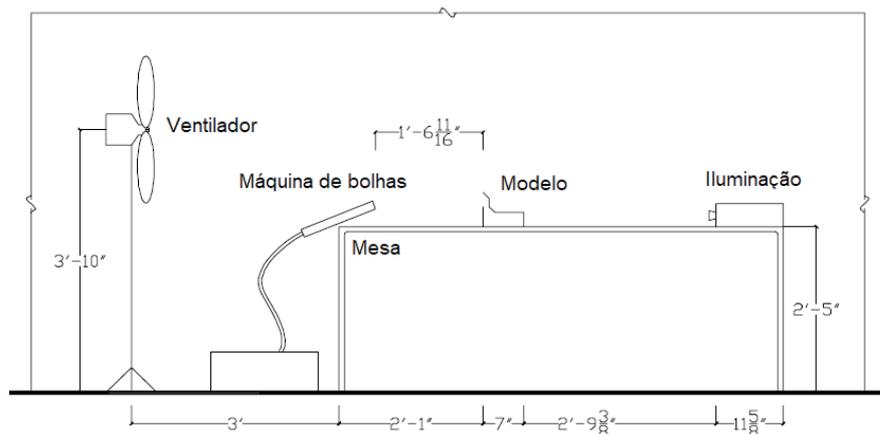


Figura 36 - Metodologia simulando Túnel de Vento.
Fonte: Al Shaali, 2002.

No ensaio, para visualização comportamental da circulação de ar no interior do ambiente, o autor utilizou um gerador de bolhas de gás hélio, que seguiam as linhas de fluxo do ar sem colidir com os objetos. Como principal objetivo, o autor buscou a melhor combinação para melhoramento do fluxo interno de ar entre diferentes velocidades testadas, diferentes aberturas de saídas e diferentes tipologias de torres, conforme a Figura 37. O autor conclui o trabalho através de dez sugestões, onde dentre as principais, pode-se destacar que para a cidade de Abu Dhabi, a torre deve ficar voltada para noroeste para capturar o vento predominante, especialmente à tarde e para a cidade de Al-Ain, que possui predominância de ventos noroeste, sul e sudeste, as torres de vento devem enfrentar noroeste, principalmente no período da tarde para uma ventilação mais eficaz.

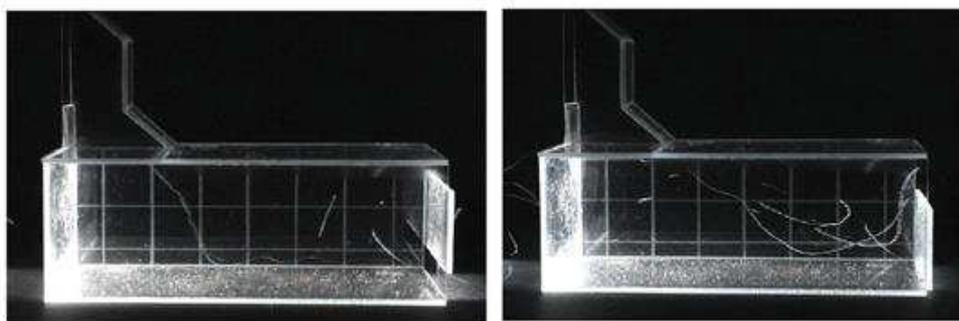


Figura 37 – Protótipos em escala reduzida.
Fonte: Al Shaali, 2002.

Rech *et al* (2006) analisaram o uso de captadores de vento como estratégia de ventilação natural no vestiário de um clube de futebol, na cidade de Bento Gonçalves – RS. Os autores simularam um túnel de vento através do uso de um ventilador, um anemômetro de ventoinha e uma máquina de fumaça para observar o fluxo de

ventilação em modelo de escala reduzida. Este experimento foi realizado no laboratório de conforto térmico da Universidade de Caxias do Sul, conforme a Figura 38.



Figura 38 - Metodologia para ensaio de modelos em escala reduzida.
Fonte: Rech *et al*, 2006.

O processo experimental constituiu-se em realizar simulações para a estação de inverno (ventos à 45° na fachada oeste) e verão (ventos à 45° na fachada leste), aplicando a velocidade de vento média incidida na cidade. Para controlar a velocidade foi utilizado o anemômetro de ventoinha e, através da movimentação do ventilador, foi possível ajustar a velocidade ideal. Com a introdução de fumaça no interior do modelo reduzido foi possível analisar o comportamento da circulação de ar para as diferentes configurações. A análise dos testes foi realizada posteriormente, através das gravações, onde a autora comparou todos os vídeos nos mesmos instantes de tempo analisando o tempo de dissipação do vento no interior do modelo reduzido, chegando à configuração mais eficiente.

O principal objetivo do experimento foi visualizar a eficiência de captadores de vento tipo *shed* na ventilação cruzada com diferentes anteparos e sem que, de acordo com a bibliografia de autores como Frota e Schiffer (1995), Bittencourt e Cândido (2005) e Rivero (1985), inclusive citados no referencial teórico desta pesquisa, afirmam que a implantação de anteparos em aberturas unilaterais podem tornar as pressões incididas em uma edificação pelo vento de positivas para negativas, contribuindo de forma positiva com a técnica. De acordo com a autora, os resultados obtiveram forte relação com as publicações referidas e assim, concluiu como sendo adequada a utilização desta técnica para o aumento da velocidade de circulação no interior da edificação.

3.3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico desta pesquisa foi baseado nas técnicas apresentadas anteriormente de Al-Shaali (2002) e Rech *et al* (2006), devido as limitações de acesso a túneis de vento na região. Assim, o experimento se caracterizou, em um primeiro momento, em simular um túnel de vento, através do uso de um ventilador Britânia Protect Turbo 30, responsável pela incidência de vento, um anemômetro de ventoinha Skill-Tec, modelo SKAD-01, para controle da velocidade do vento, e uma máquina de fumaça VoxPro GK004B 1500W, que gerou a fumaça responsável por representar o fluxo comportamental de ar, conforme publicações referidas de Al Shaali (2002) e de Rech *et al* (2006), e demonstradas pelas Figuras 37 e 38, respectivamente. Foi utilizada ainda uma lâmpada, com o objetivo de melhorar a visualização interna do protótipo.

Com isso, o objetivo principal do experimento consistiu em analisar o desempenho das estratégias bioclimáticas de ventilação natural, através da incidência de ventos em diferentes velocidades e direções, sobre um modelo em escala reduzida, analisando o tempo de dissipação da fumaça em seu interior, comparando o desempenho do protótipo onde foi instalada a torre de ventilação e o com o captador tipo *shed* ortogonal. Assim, foi possível verificar qual estratégia bioclimática de ventilação natural foi mais eficiente em relação ao aumento do fluxo interno em edificações, de acordo com as variáveis propostas.

O modelo de torre de vento definido para ser analisado foi o tetradirecional (Figuras 25 e 26), por ser o mais utilizado no Oriente Médio, em razão da captação multidirecional do vento, conforme Ghaemmaghami e Mahmoudi (2005) *apud* Andrade (2013). O modelo de captador a ser analisado, foi o *shed* ortogonal, apresentado na Figura 19, que segundo Lôbo e Bittencourt (2003), pode incrementar a circulação de ar em até 100% no interior de residências unifamiliares, de acordo com ensaios realizados através de simulações computacionais por Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), com dados característicos da cidade de Maceió – AL.

A incidência de diferentes velocidades e direções do vento permitiu analisar diversas combinações, tendo como finalidade, verificar a existência de alguma linearidade no desempenho das estratégias que pudesse contribuir para a pesquisa.

As velocidades e as direções aplicadas nos testes foram baseadas nos referidos autores citados anteriormente, e estão dispostos nos Quadros 4 e 5, respectivamente.

Quadro 4 - Velocidades de incidência do vento sobre o modelo.

Velocidades de incidência do vento sobre o modelo		
1,5 m/s	3,0 m/s	4,5 m/s

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5 - Direção de incidência do vento sobre o modelo.

Direção de incidência do vento sobre o modelo		
0°	45°	180°

Fonte: Autoria própria.

O padrão utilizado para a nomenclatura das orientações, de acordo com as direções de incidência dos ventos sobre o protótipo é demonstrada pela Figura 39.

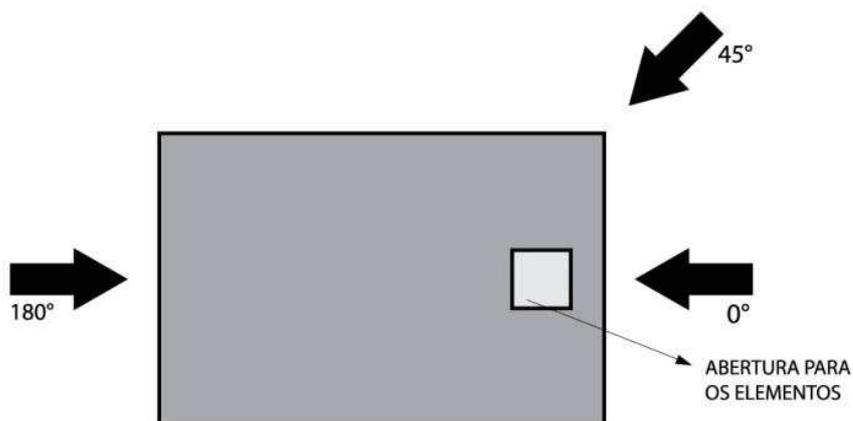


Figura 39 - Mapa de incidência de ventos.

Fonte: Autoria própria.

Para os testes executados com ventos a 0°, o protótipo foi incidido de forma frontal, onde o fluxo de ar atingiu perpendicularmente a face dos elementos analisados a barlavento, conforme Figura 40.



Figura 40 - Testes com ventos incididos a 0°.
Fonte: Autoria própria.

Nos testes realizados com ventos a 45°, as estratégias foram testadas com ventos atingindo a entrada dos elementos de forma oblíqua, como demonstra a Figura 41. Para posicionar o protótipo na direção proposta, foi utilizado um transferidor, como demonstra a Figura 42, sendo possível traçar guias de auxílio para a correta execução dos testes.



Figura 41 - Testes com vento incidido a 45°.
Fonte: Autoria própria.

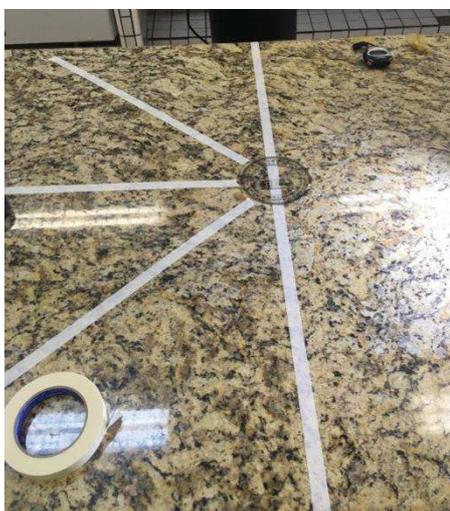


Figura 42 - Guias de direção do protótipo.
Fonte: Autoria própria.

Com o vento incidindo a 180° sobre o protótipo, foi possível analisar as estratégias como extratores de ar, devido ao fluxo do ar ser conduzido de baixo para cima, ao contrário das outras direções de incidência, como demonstra a Figura 43.



Figura 43 - Testes com vento incidido a 180°.

Fonte: Autoria própria.

Para verificar a velocidade do vento incidido, foi utilizado um anemômetro, fornecido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde foi sempre posicionado na região de contato da corrente de ar com os elementos representantes das estratégias bioclimáticas, conforme a Figura 44.



Figura 44 - Uso do anemômetro para controle da velocidade dos testes.

Fonte: Autoria própria.

Para a representação qualitativa do fluxo do ar foi utilizado fumaça, incidida de forma que ocupasse todo o interior do protótipo, para, posteriormente, ser liberada a ação dos ventos. A fumaça era incidida pela abertura oposta à que era atingida pelo vento. Os testes foram realizados no laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Toledo, livre das ações do ambiente externo.

A análise geral do experimento teve como base os vídeos gravados durante a realização do procedimento, sendo possível utilizar todos os recursos de reprodução

disponíveis. Assim, através dos vídeos gerados por cada teste, foi encontrado o instante inicial, após a inserção de fumaça no interior do protótipo no momento em que o ventilador era ligado, e o instante final, onde não era mais possível visualizar fumaça no interior do protótipo, chegando ao tempo de dissipação de para cada combinação. Através do uso da fumaça como elemento qualitativo, foi possível analisar o comportamento do fluxo de ar interno, contribuindo para a pesquisa.

3.4. CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO

Para todos os ensaios foram utilizados o mesmo modelo de protótipo como referência, simulando uma edificação real em escala 1:15, com as dimensões de 60 cm de comprimento, 40 cm de largura e 20 cm de altura, conforme a Figura 45, composto de madeira MDF e acrílico, ambos com espessura de 3 mm, possibilitando a visualização do ambiente interno. As placas foram cortadas em máquinas a laser, sendo possível o encaixe para, posteriormente, serem coladas, como demonstra a Figura 45.

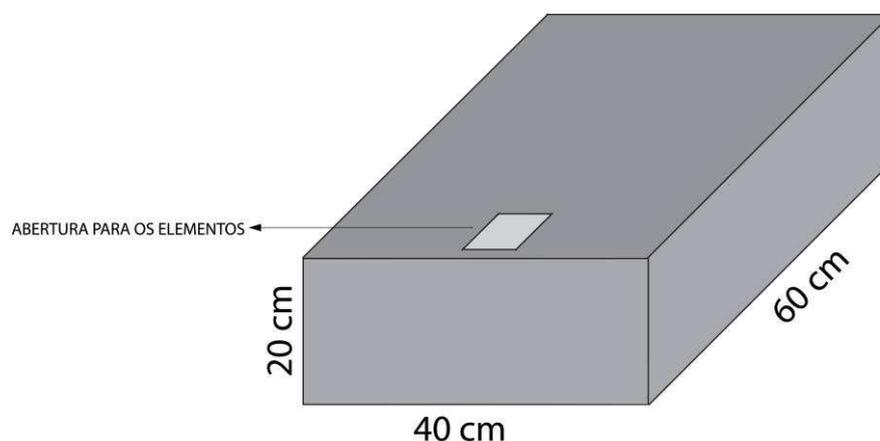


Figura 45 - Dimensões do protótipo.

Fonte: Autoria própria.

O protótipo possuía duas aberturas, como é possível notar na Figura 46. A primeira, a abertura onde eram inseridos os elementos representativos das estratégias bioclimáticas de ventilação natural, posicionado na região superior. A segunda, uma abertura inserida na parede oposta à aplicada os elementos, com dimensão de 4 cm de altura, por 20 de comprimento. Esta abertura foi adotada para que ocorra fluxo de

ar de ventilação cruzada no interior do ambiente, baseada na norma ISO 7726, cuja orientação é formar corrente em alturas que atinjam o usuário.

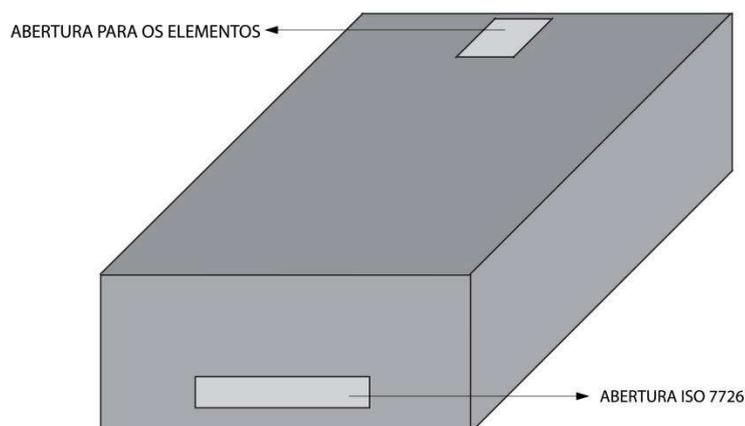


Figura 46 - Aberturas do protótipo.

Fonte: Autoria própria.

As miniaturas representativas do *shed* e da torre foram confeccionadas também nas escala 1:15 e são compostas por placas de madeira MDF, com 3 mm de espessura, cortadas a laser, de forma que pudesse ser montada e colada, conforme Figura 47. A representação da divisão interna da torre, conforme o modelo tetradirecional, foi executada com papelão.

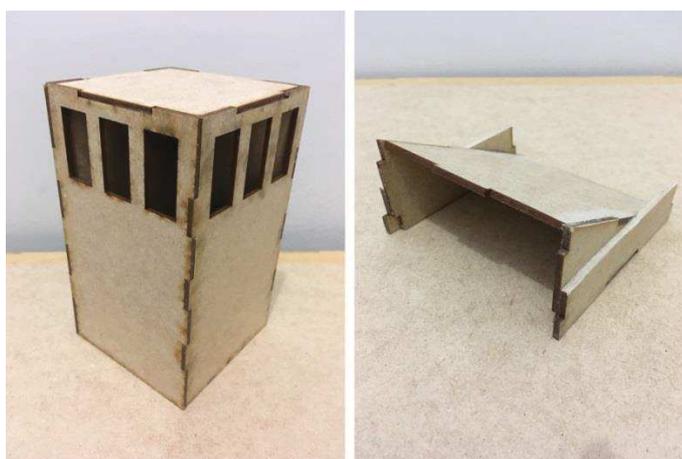


Figura 47 - Protótipo das estratégias bioclimáticas de ventilação natural.

Fonte: Autoria própria.

Afim de oferecer dinamismo aos testes, as estratégias foram dimensionadas com a mesma base quadrada de lado 10 cm, para que fosse possível variar o uso de acordo com as configurações dos testes, encaixando-as na abertura superior do

protótipo. A torre utilizada possuía altura de 18 cm com 3 entradas em cada face, medindo 4 cm de altura por 2 cm de largura. O *shed* utilizado possuía altura de 5 cm e uma única entrada de ar de 5 cm de altura por 10 de largura. Ambas as estratégias foram baseadas em dimensões dos referidos autores, citados anteriormente.

A fim de obter a estanqueidade necessária para a correta execução dos testes, foram vedadas todas as juntas do protótipo, e realizados com fita crepe larga, impedindo a saída da fumaça por locais diferentes das aberturas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e as análises promovidas pelos testes realizados. Primeiramente é apresentada a análise do fluxo do ar para todos os testes, seguido da análise dos tempos de dissipação da fumaça no interior do protótipo, apresentados em forma gráfica, demonstrando o comparativo e como cada estratégia se comportou. Para uma explicação mais detalhada do fluxo de ar, o protótipo foi dividido em três regiões. Estão dispostos no Anexo A, imagens da gravação realizada, frisando o instante inicial, intermediário e final de cada teste.

4.1. RESULTADOS OBTIDOS COM CAPTADOR TIPO *SHED*

4.1.1. Análise para ventos incididos a 0°

i. Teste 01

O teste 01 foi realizado através de ventos incididos com velocidade de 1,5 m/s, tendo o fluxo de ar interno demonstrado pela Figura 48. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 157 segundos.

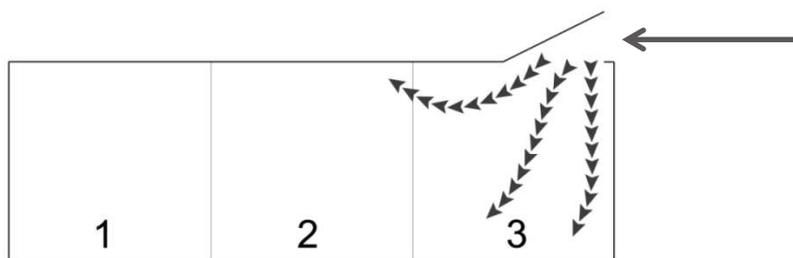


Figura 48 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 01.

Fonte: Autoria própria.

Na análise do teste 01 foi possível notar que a corrente tem sua intensidade reduzida assim que entra no protótipo, pois choca-se com a cobertura do protótipo na transição das regiões 2 e 3, impedindo a dissipação nas partes superiores, e com a parede e o fundo da região 3. Desta forma, perde intensidade e impedindo a formação de trocas de correntes de ar no interior do protótipo, dissipando de forma lenta a fumaça nas regiões 1 e 2, principalmente.

ii. Teste 02

O segundo teste foi realizado com a incidência de ventos com velocidade de 3,0 m/s. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 69 segundos e a representação do fluxo de ar interno é apresentado na Figura 49.

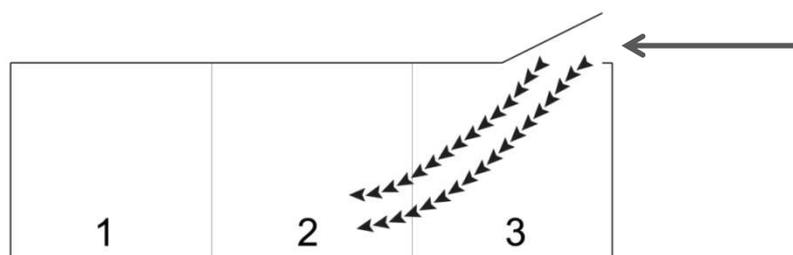


Figura 49 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 02.

Fonte: Autoria própria.

Na observação comportamental do fluxo de ar durante o teste 02, a corrente entra de forma linear, atingindo a zona de transição das regiões 2 e 3. Como tem um comportamento mais côncavo ao adentrar o protótipo, atinge todo o fundo a partir da região 3, conduzindo a fumaça para a saída, permitindo trocas internas. Assim, a fumaça contida nas partes superiores descem e passam a ser atingidas pela corrente principal, localizada na região centra do protótipo. As partes central e inferior da região 1 não são atingidas com intensidade pelo fluxo, sendo dissipadas mais lentamente.

iii. Teste 03

O teste 03 foi realizado com ventos incididos na velocidade de 4,5 m/s. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 42 segundos e o fluxo de ar de ar interno é representado pela Figura 50.

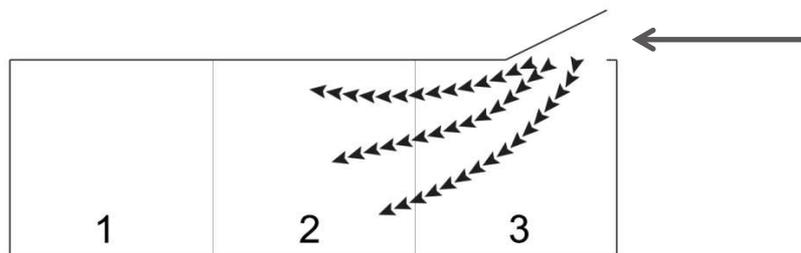


Figura 50 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 03.

Fonte: Autoria própria.

Na análise do teste 03 foi possível dividir o fluxo de ar em dois comportamentos principais. No primeiro, a corrente entra rente à cobertura do protótipo, contribuindo para a dissipação da parte superior da região 1 e 2, criando a possibilidade de trocas internas. No segundo, a corrente entra sem chocar-se diretamente com as paredes, atingindo a região central do protótipo, dissipando rapidamente as regiões 2 e 3. A parte central da região da região 1 recebe ventos de menor intensidade, retardando brevemente a dissipação total da fumaça no interior do protótipo.

4.1.2. Análise para ventos incididos a 45°

i. Teste 04

O teste 04 foi realizado com velocidade de vento incidido de 1,5 m/s e a representação do fluxo de ar interno é apresentada na Figura 51. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 79 segundos.

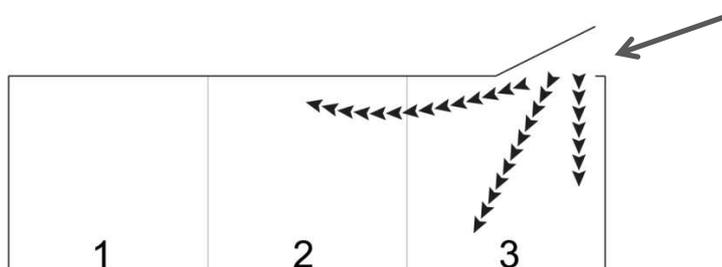


Figura 51 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 04.

Fonte: Autoria própria.

No teste 04 foi possível analisar que a corrente se introduz no protótipo direcionada para o fundo, atingindo e dissipando a região 3. Porém, devido ao ângulo

que atinge o fundo, a corrente perde intensidade reduzindo a dissipação nas regiões 1 e 2. Ao entrar, a corrente atinge ainda a cobertura do protótipo, contribuindo de forma moderada na dissipação nas zonas superiores das regiões 1 e 2, criando trocas lentas, sem gerar grandes turbulências.

ii. Teste 05

O teste 05 teve o comportamento do fluxo de ar descrito pela Figura 52. A velocidade de incidência do vento utilizada no teste foi de 3,0 m/s, resultando em um tempo de dissipação da fumaça contida no interior do protótipo de 42 segundos.

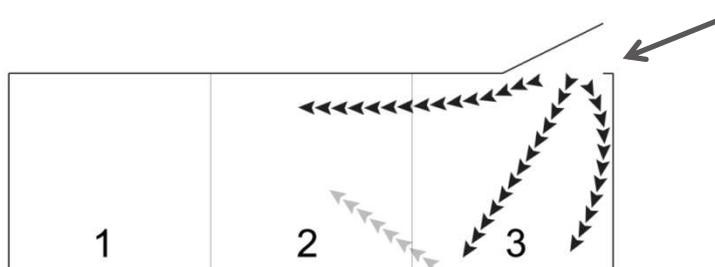


Figura 52 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 05.

Fonte: Autoria própria.

O comportamento do fluxo de ar observado durante o teste 05 se dividiu em dois cenários principais. No primeiro, mais linear, em que entra pelo *shed*, atingindo o fundo da região 3 com ângulo suficiente para auxiliar na dissipação da parte central da região 2. No segundo, entrando rente com a cobertura do protótipo, sem perder intensidade, dissipando rapidamente as partes superiores das regiões 1 e 2, permitindo a criação de trocas e acelerando a dissipação. A parte inferior da região 1 foi a última a se dissipar, em função do ângulo de entrada da corrente.

iii. Teste 06

No sexto teste foram incididos ventos com velocidade de 4,5 m/s e o fluxo de ar gerado no interior do protótipo é demonstrado pela Figura 53. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 38 segundos.

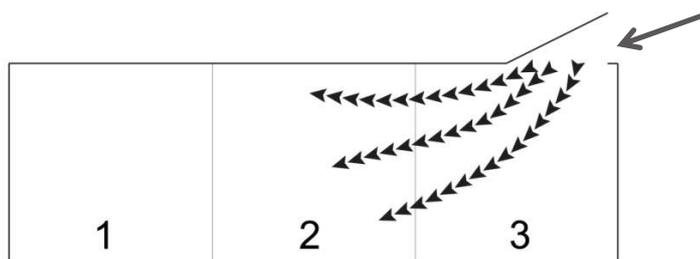


Figura 53 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 06.

Fonte: Autoria própria.

Durante o teste 06 foi possível observar que a corrente de ar entra de forma côncava no protótipo, sem chocar-se com as paredes, dissipando a fumaça de forma rápida na região 3. Entra ainda, de forma rente à cobertura, dissipando as zonas superiores do protótipo, permitindo a criação de trocas. A corrente principal converge para a zona central da região 2, acelerando a dissipação da fumaça contida nas partes centrais das regiões 1 e 2 e da parte inferior da região 2.

4.1.3. Análise para ventos incididos a 180°

i. Teste 07

No teste 07, foram incididos ventos no protótipo com velocidade de 1,5 m/s e o fluxo gerado em seu interior é demonstrado pela Figura 54. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 45 segundos.

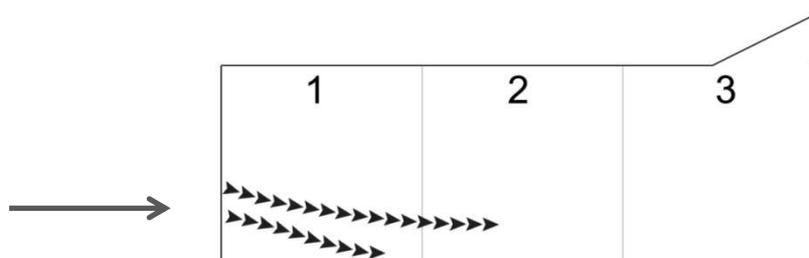


Figura 54 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 07.

Fonte: Autoria própria.

No teste 07, foi possível verificar que a corrente principal de ar consegue entrar com força suficiente para percorrer desde a região 1, de onde foi incidida, até a região 3, onde conduz a fumaça para a parede e o captador. A corrente ainda gera uma pequena turbulência ao tocar o fundo do protótipo, na zona de transição das regiões 1 e 2, o que ajuda a acelerar a dissipação da fumaça na região central do protótipo.

ii. Teste 08

A velocidade do vento incidido sobre o protótipo para o teste 08 foi de 3,0 m/s e o fluxo de ar interno gerado por este vento é demonstrado na Figura 55. O tempo de dissipação foi de 27 segundos.

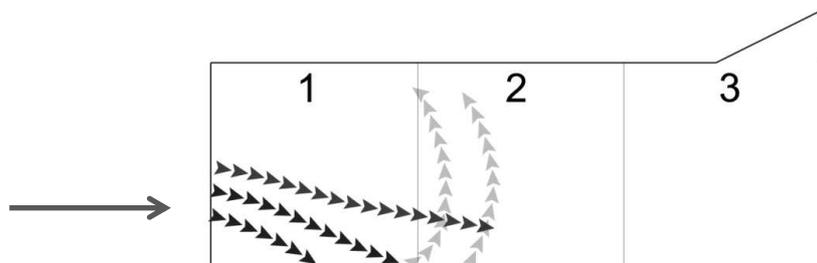


Figura 55 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 08.

Fonte: Autoria própria.

Durante o teste 08 notou-se que a corrente entrou com força no interior do protótipo, atingindo parcialmente o fundo da zona transitória das regiões 1 e 2, gerando alta turbulência e contribuindo para a dissipação da fumaça na parte superior da região 2 e em toda a região 1. A outra parte do fluxo, que entrou sem chocar-se com as paredes, atinge a parede da região 3, dissipando as regiões 2 e 3 de forma rápida e uniforme.

iii. Teste 09

No teste 09, o protótipo recebeu ventos incididos com velocidade de 4,5 m/s e o fluxo gerado é demonstrado pela Figura 56. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 20 segundos.

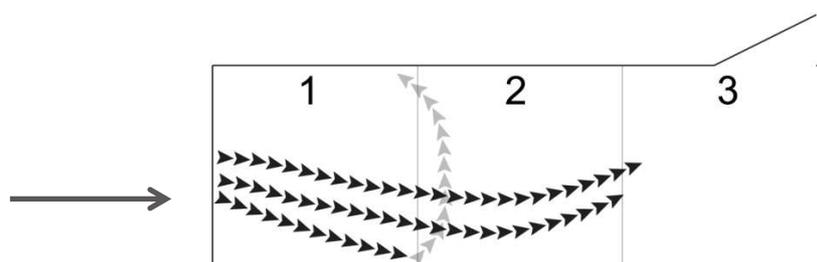


Figura 56 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 09.

Fonte: Autoria própria.

No teste 09 foi possível analisar que o fluxo de ar adentra o protótipo atingindo praticamente todo o seu interior, gerando alta turbulência na transição das regiões 1 e 2, acelerando a dissipação da fumaça nas partes superiores dessas regiões. Outra parte do fluxo, que não colide com as paredes, atinge toda a região central do

protótipo, convergindo para a saída e dissipando rapidamente a fumaça nas regiões 2 e 3.

4.2. RESULTADOS OBTIDOS COM TORRE DE VENTO

4.2.1. Análise para ventos incididos a 0°

i. Teste 10

No teste 10, o protótipo recebeu a incidência de ventos com velocidade de 1,5 m/s. O fluxo de ar gerado no interior do protótipo é descrito através da Figura 57 e o tempo de dissipação da fumaça interna foi de 99 segundos.

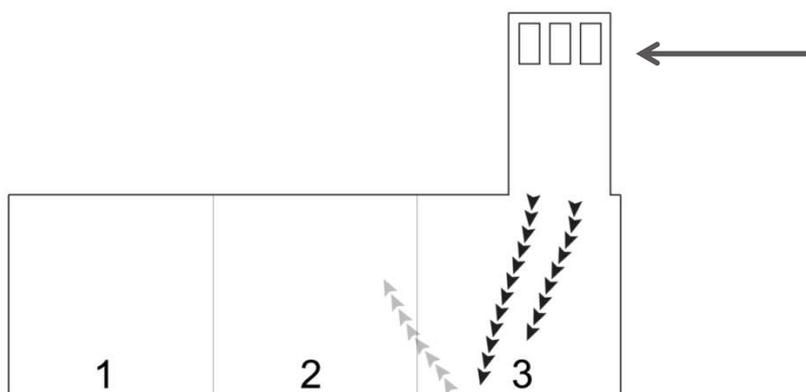


Figura 57 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 10.

Fonte: Autoria própria.

Durante o teste 10 foi possível constatar que a corrente de ar entra de forma inclinada, atingindo o fundo do protótipo. Com alta intensidade, a corrente é refletida ao chocar-se com o fundo, permanecendo com força para dissipar a fumaça no interior do protótipo de forma homogênea, a partir da região 3 até a 1, sem picos de variação ou alta turbulência.

ii. Teste 11

O teste 11 foi realizado com ventos incididos na velocidade de 3,0 m/s e o comportamento do fluxo de ar interno gerado é demonstrado na Figura 58. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 48 segundos.

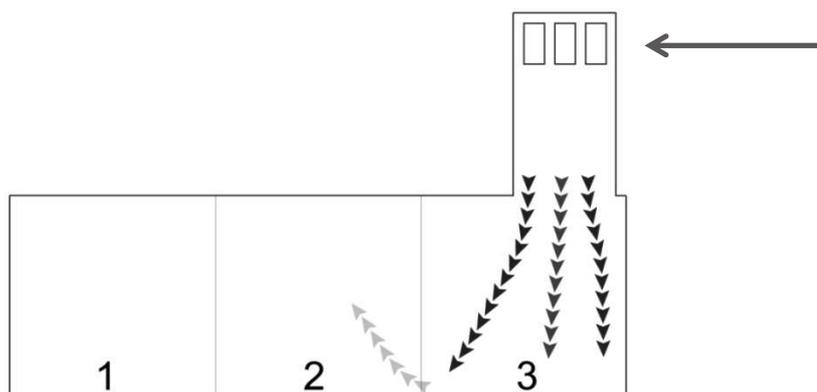


Figura 58 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 11.

Fonte: Autoria própria.

No decorrer do teste 11 foi possível observar que a corrente de ar entra com alta intensidade, gerando alta turbulência ao chocar-se com o fundo do protótipo. Dessa forma, facilitou a dissipação da região 3 e da parte central da região 1 e 2, promovendo trocas de ar, de forma que a fumaça contida na parte superior do protótipo descesse, para também ser atingida pela corrente principal. A parte inferior das regiões 1 e 2 foram incididas com corrente de ar residual, resultado do choque com o fundo, que auxiliou na dissipação.

iii. Teste 12

No teste número 12, a velocidade de incidência do vento sobre o protótipo foi de 4,5 m/s, gerando o fluxo de ar interno demonstrado pela Figura 59. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 36 segundos.

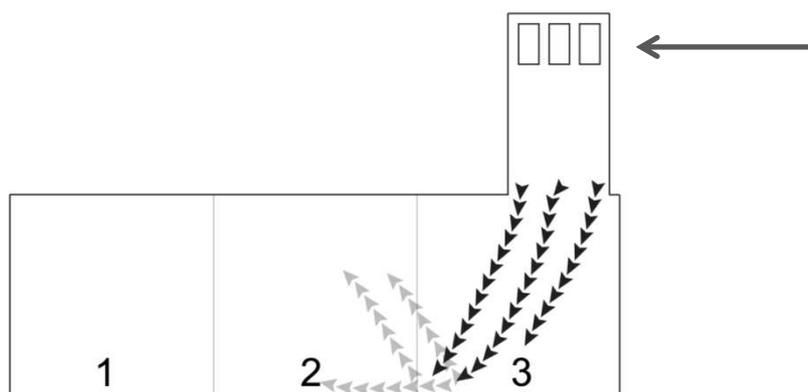


Figura 59 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 12.

Fonte: Autoria própria.

Através do teste 12 foi possível analisar que a corrente adentra o protótipo com alta turbulência, chocando-se em diversos pontos do fundo da região 3 e se espalha aleatoriamente pela parte central e inferior da região 2, dissipando rapidamente a

fumaça no interior do protótipo. As partes inferiores das regiões 2 e 1 recebem corrente de ar direta, devido à inclinação proveniente dos dutos da torre, acelerando a dissipação da fumaça.

4.2.2. Análise para ventos incididos a 45°

i. Teste 13

No teste 13, a velocidade de incidência do vento sobre o protótipo foi de 1,5 m/s e o comportamento do fluxo de ar gerado internamente é descrito na Figura 60. O tempo de dissipação da fumaça contida no interior do protótipo foi de 140 segundos.

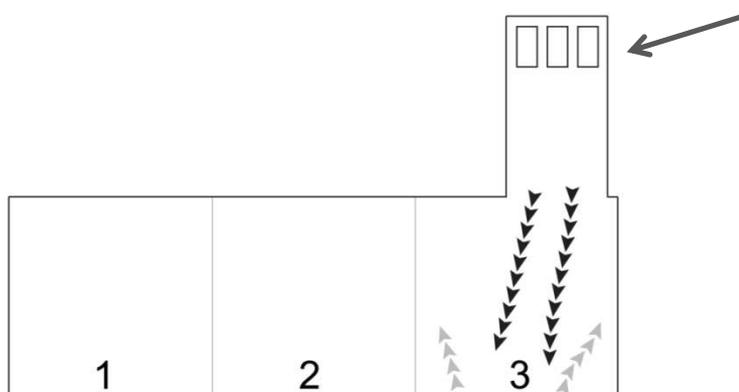


Figura 60 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 13.

Fonte: Autoria própria.

No teste 13 foi possível constatar que a corrente atinge o interior do protótipo, praticamente, paralela ao sentido da torre e com baixa intensidade, perdendo carga ao chocar-se com o fundo do protótipo, dissipando a fumaça lentamente na região 3. Constata-se ainda que o fluxo de ar não atinge a parte central do protótipo com intensidade, apresentando lentidão na dissipação da fumaça, que ocorre de forma homogênea, da região 3 até a 1.

ii. Teste 14

O teste 14 recebeu ventos incididos com velocidade de 3,0 m/s e o comportamento do fluxo de ar é demonstrado pela Figura 61. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 97 segundos.

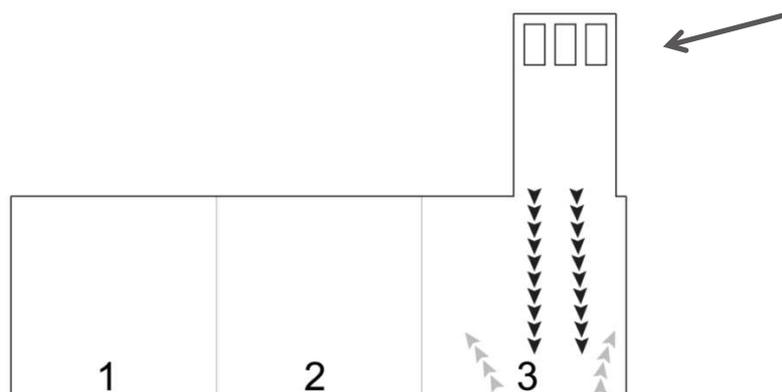


Figura 61 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 14.
Fonte: Autoria própria.

Analisando o teste 14, foi possível observar que o ângulo de incidência da corrente de ar com o fundo do protótipo proporciona uma grande perda de carga, não permitindo uma boa reflexão ao chocar-se com o fundo. Assim, o fluxo não atinge com intensidade a parte central da região 2, ocorrendo lentidão na dissipação da fumaça. Conseqüentemente, a região 1 e as partes superiores do protótipo tem a dissipação lenta.

iii. Teste 15

O comportamento do fluxo de ar gerado pela velocidade de 4,5 m/s, utilizada no teste 15, é descrito pela Figura 62. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo é de 62 segundos.

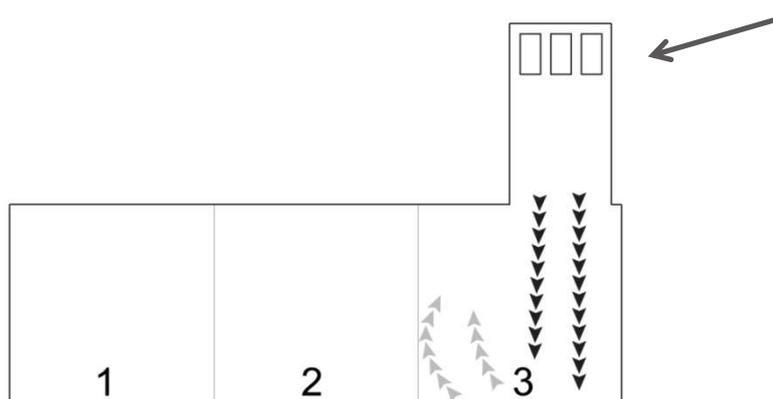


Figura 62 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 15.
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar o teste 15, foi possível verificar que a corrente entra no protótipo e perde intensidade ao chocar-se com o fundo da região 3, fazendo com que seja direcionada para a parte inferior da região 2 sem intensidade. Assim, a região central do protótipo não recebe a incidência de forte corrente de ar, diminuindo as chances

de trocas e por consequência, dissipando a fumaça das regiões 2 e 1 de forma menos intensa.

4.2.3. Análise para ventos incididos a 180°

i. Teste 16

No teste 16, a velocidade dos ventos incididos sobre o protótipo foi de 1,5 m/s e o comportamento do fluxo de ar gerado é apresentado na Figura 63. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 32 segundos.

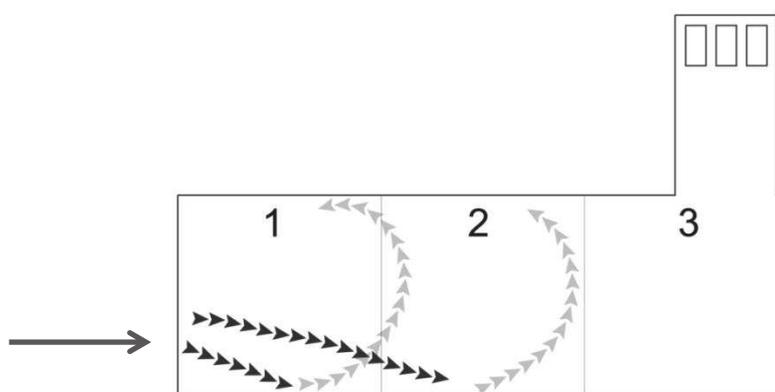


Figura 63 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 16.

Fonte: Autoria própria.

No teste 16 foi possível observar que a corrente de ar propagou-se no interior do protótipo de duas formas mais explícitas. Em um primeiro momento, atinge a zona de transição das regiões 1 e 2, chocando-se com o fundo e gerando alta turbulência, permitindo a rápida dissipação da fumaça nas regiões 1 e 2. Em um segundo momento, atinge a parede da região 3, acelerando a dissipação da parte central das regiões 1 e 2. O fluxo, após chocar-se com a parede da região 3, se torna aleatório e dissipa a região com facilidade.

ii. Teste 17

No teste 17, o vento de incidência sobre o protótipo apresentou velocidade de 3,0 m/s e o comportamento da corrente de ar interna é apresentada na Figura 64. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 16 segundos.

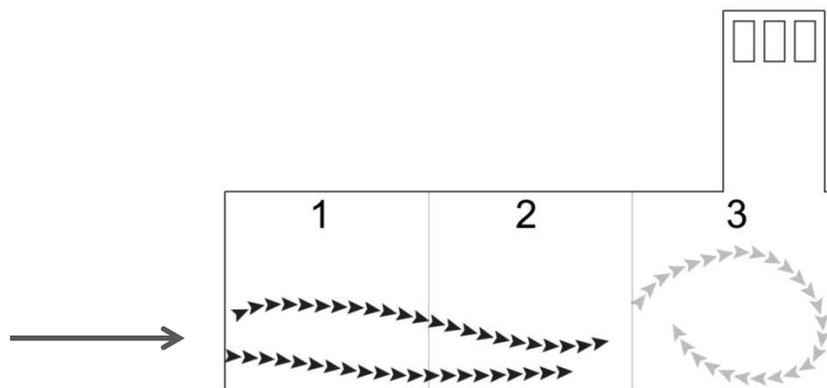


Figura 64 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 17.
Fonte: Autoria própria.

Durante o teste 17 foi possível visualizar que a corrente de ar entra no protótipo sem atingir o fundo, chocando-se diretamente com a parede da região 3, gerando alta turbulência e dissipando rapidamente a fumaça na região. Pelo fato das regiões 1 e 2 serem atingidas com uma corrente forte e bem na parte central, a dissipação tornou-se rápida e bem distribuída.

iii. Teste 18

O teste 18 foi realizado com ventos incididos sobre o protótipo com velocidade de 4,5 m/s e o comportamento do fluxo de ar interno pode ser visualizado na Figura 65. O tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo foi de 13 segundos.

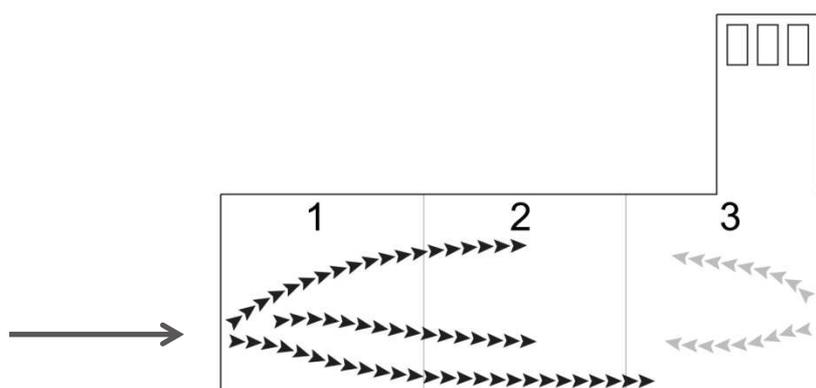


Figura 65 - Representação do comportamento do fluxo interno de ar - Teste 18.
Fonte: Autoria própria.

Durante o teste 18 foi possível constatar que a corrente de ar entra com alta intensidade e de forma bem distribuída no protótipo, atingindo as extremidades superior e inferior, onde converge para a parede da região 3, promovendo alta turbulência e dissipando a fumaça rapidamente da região e auxiliando na dissipação das partes superior e inferior das regiões 1 e 2. E ainda, pelo meio do protótipo, onde

o fluxo atinge a parte central da região 1 e 2 com alta intensidade, induzindo a fumaça diretamente para a torre de vento de forma acelerada, dissipando rapidamente a fumaça no interior do protótipo.

4.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

4.3.1. Ângulo de incidência do vento

A Figura 66 apresenta o tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo para as velocidades de 1,5 m/s, 3,0 m/s e 4,5 m/s, obtidos pelos testes 01, 02, 03, 10, 11 e 12, com o vento incidindo a 0° nas duas estratégias bioclimáticas de ventilação natural.

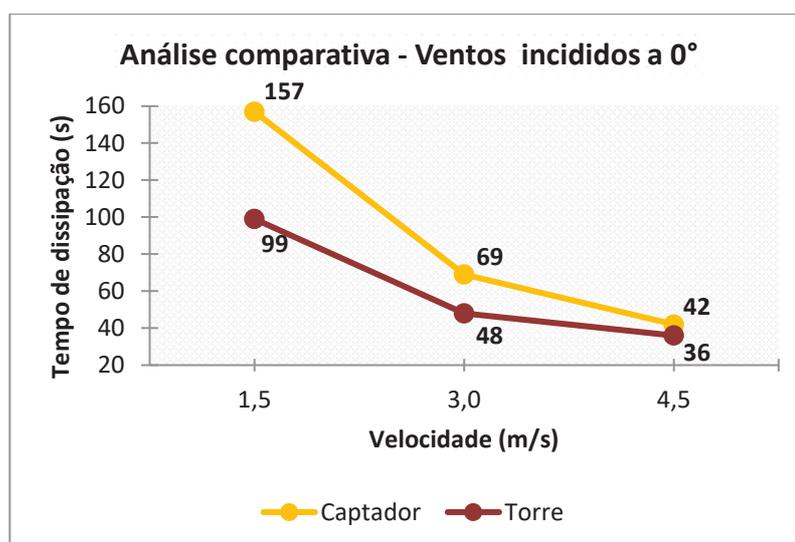


Figura 66 - Resultado dos testes realizados com a incidência de ventos a 0°.

Fonte: Autoria própria.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 66, é possível constatar que como estratégia bioclimática de ventilação natural, a torre de vento dissipou em menos tempo a fumaça no interior do protótipo. Para a velocidade de 1,5 m/s, o teste demonstra que a torre de vento dissipou a fumaça 37% mais rapidamente que o captador, o equivalente a 48 segundos. Para a velocidade de 3,0 m/s a torre de vento apresentou um percentual de dissipação cerca de 30% mais rápido que o captador de vento. Nos testes com velocidade de 4,5 m/s a dissipação da fumaça com a torre foi de 6 segundos, o equivalente a 15% em relação ao captador de vento.

Contendo as informações dos testes 04, 05, 06, 13, 14 e 15, onde as estratégias bioclimáticas de ventilação natural receberam a incidência de ventos a 45°, a Figura 67 apresenta os tempos de dissipação da fumaça no interior do protótipo, para as velocidades incididas de 1,5 m/s, 3,0 m/s e 4,5 m/s.

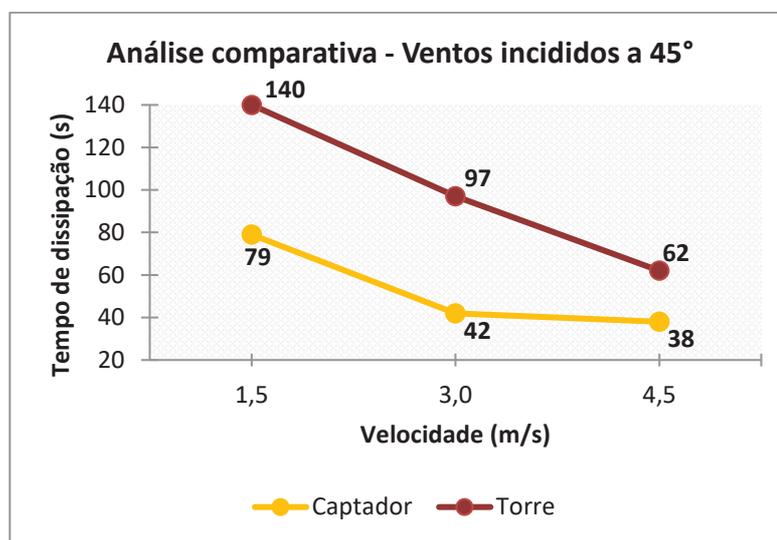


Figura 67 - Resultado dos testes realizados com a incidência de ventos a 45°.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados contidos na Figura 67 demonstram que o tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo, para essa direção de vento, foi maior para a torre de vento. Para ventos de 1,5 m/s a diferença foi de 61 segundos, demonstrando que o captador dissipou cerca de 40% mais rápido que a torre. Na comparação com ventos incididos de 3,0 m/s, o captador é 57% mais rápido na dissipação em relação à torre, o equivalente a 55 segundos. Na terceira situação, com ventos incidindo o protótipo com velocidade de 4,5 m/s, o captador é 39% mais rápido na dissipação, apresentando 24 segundos de diferença entre os testes.

A Figura 68 apresenta os tempos de dissipação da fumaça no interior do protótipo, de acordo com os testes 07, 08, 09, 16, 17 e 18. Nessa configuração, as estratégias bioclimáticas de ventilação natural foram incididas por ventos em 180°, trabalhando como extratores de ar.

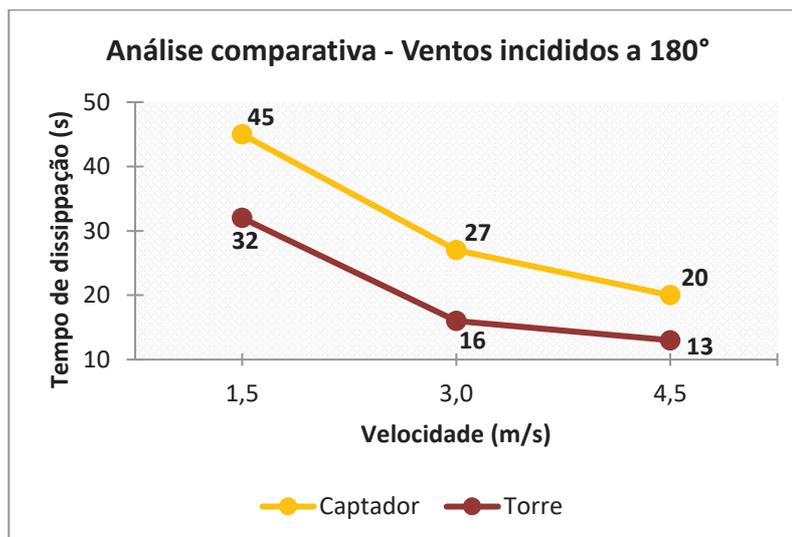


Figura 68 - Resultado dos testes realizados com a incidência de ventos a 180°.

Fonte: Autoria própria.

De forma geral, os dados contidos na Figura 68 demonstram que a torre de vento dissipou mais rapidamente a fumaça no interior do protótipo, comparada com o captador. Para a velocidade de 1,5 m/s incidida sobre o protótipo, foi possível verificar uma diferença de 13 segundos, em que a torre dissipou a fumaça 29 % mais rápido. Para a velocidade de 3,0 m/s a vantagem no tempo de dissipação da fumaça com a torre chega a 40%, apresentando diferença de 11 segundos. Com a velocidade incidida de 4,5 m/s, foi possível observar que a torre de vento apresentou um tempo de dissipação 35% menor comparado com o captador, apontando uma diferença de 7 segundos.

Assim, é possível constatar que variando a velocidade de incidência dos ventos, o comportamento das curvas de ambas as estratégias para os ângulos 0°, 45° e 180° apresentam uma mesma tendência, sendo possível obter um padrão de linearidade entre os testes realizados.

4.3.2. Velocidade de incidência do vento

A Figura 69 apresenta o tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo dos testes 01, 04, 07, 10, 13 e 16, nas direções de incidência de 0°, 45° e 180°, com a velocidade de ventos incididos sobre as estratégias bioclimáticas de 1,5 m/s.

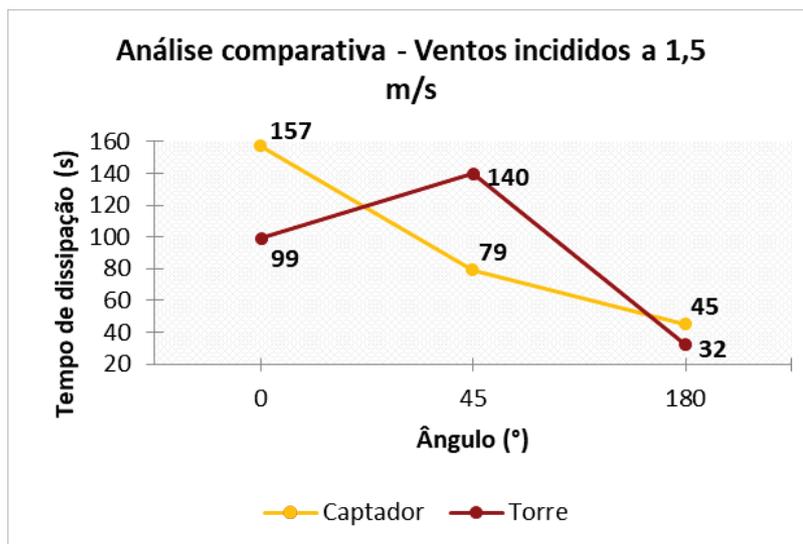


Figura 69 - Resultado dos testes realizados com vento incidido com velocidade de 1,5 m/s. Fonte: Autoria própria.

Analisando os valores da Figura 69 é possível verificar que para o ângulo de incidência do vento de 0°, a torre de vento apresentou um tempo menor de dissipação da fumaça no interior do protótipo em 58 segundos, o equivalente a 37%, em relação ao captador. Analisando o ângulo de incidência a 45°, os dados demonstram que o captador dissipou a fumaça 61 segundos mais rápido, em relação à torre. Ainda de acordo com os testes, para a incidência de ventos a 180°, a torre de vento apresentou um tempo inferior de dissipação da fumaça, comparado com o captador, o corresponde a 29% ou 13 segundos.

Com os dados obtidos nos testes 02, 05, 08, 11, 14 e 17, a Figura 70 apresenta o tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo com ventos incididos sobre as estratégias bioclimáticas com velocidade de 3,0 m/s, nas direções de incidência do vento a 0°, 45° e 180°.

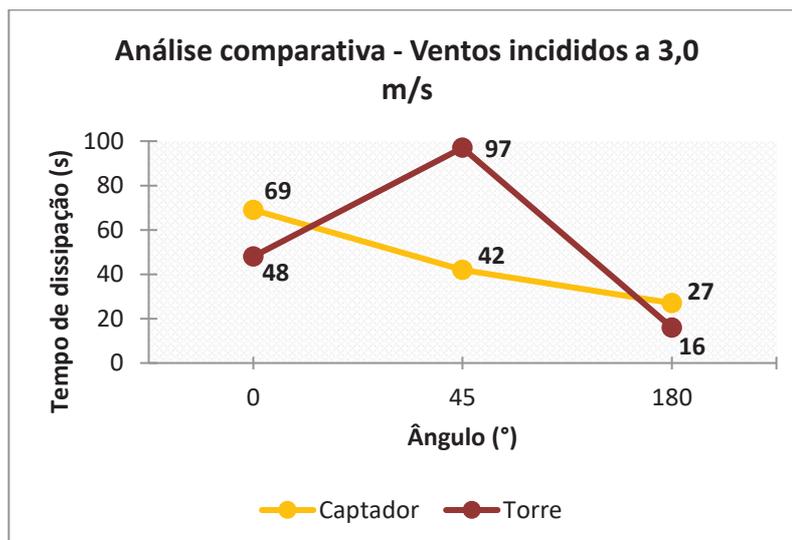


Figura 70 - Resultado dos testes realizados com vento incidido com velocidade de 3,0 m/s.
Fonte: Autoria própria.

Com ventos incididos na direção de 0°, pôde-se constatar que as torres apresentam tempo de dissipação da fumaça cerca de 30% menor que os captadores, o correspondente a 21 segundos. Para o ângulo de incidência do vento de 45°, o captador apresentou um tempo de dissipação menor em 55 segundos, comparado com a torre, em torno de 55% de diferença. Os testes ainda demonstram que para o ângulo de incidência de 180°, as estratégias apresentaram uma diferença de 11 segundos, sendo a torre de vento mais rápida na dissipação em cerca de 40%.

Demonstrando os dados dos testes 03, 06, 09, 12, 15 e 17, a Figura 71 apresenta o tempo de dissipação da fumaça no interior do protótipo para ventos incididos com sobre as estratégias bioclimáticas com velocidade de 4,5 m/s, para os ângulos 0°, 45° e 180° de incidência.

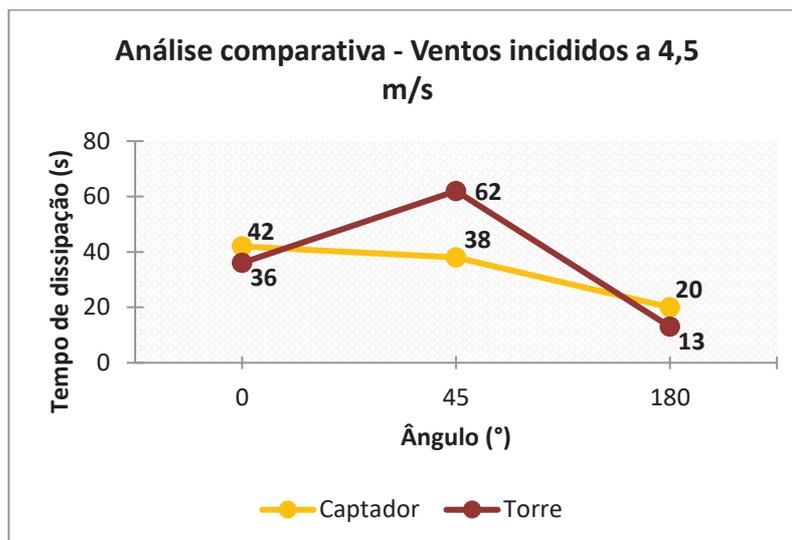


Figura 71 - Resultado dos testes realizados com vento incidido com velocidade de 4,5 m/s.
Fonte: Autoria própria.

Para ventos com ângulo de incidência de 0° , a torre apresentou tempo menor de dissipação da fumaça perante o captador, em torno de 15%, o equivalente a 6 segundos. Para ventos a 45° , constatou-se que o captador apresenta tempo inferior de dissipação da fumaça em relação a torre de cerca de 40%, o correspondente a 24 segundos. Ainda, foi possível observar que para ângulos de incidência do vento de 180° , a torre apresentou um tempo menor em 7 segundos em relação ao captador, o que se equivale a 35%.

Desta forma, é possível constatar nos gráficos que para os ângulos de incidência do vento 0° e 180° , a torre de vento apresentou tempo de dissipação menor em relação ao captador, que tem um tempo de dissipação inferior para o vento incidido a 45° .

5. CONCLUSÃO

O uso de elementos arquitetônicos que auxiliam na melhoria da ventilação interna de edificações, proveniente da arquitetura vernacular, tem um potencial imensurável para um futuro sustentável na construção civil. Através do estudo dessas técnicas, foi possível conhecer a magnitude do assunto e o quanto vem sendo aprofundada a busca para se conhecer e descobrir técnicas que contribuam para o desenvolvimento da construção civil, a fim de oferecer ao usuário, edificações com conforto ambiental e eficiência energética.

A partir da pesquisa proposta, foi possível concluir que ambas as estratégias bioclimáticas de ventilação natural apresentaram resultados satisfatórios, variando o tempo de dissipação, de acordo com o ângulo e a velocidade de incidência a que foram submetidas. No entanto, foi possível observar que a dissipação da fumaça se tornou mais eficaz, quando o fluxo de ar atingiu, principalmente, a região central do protótipo, e quando criou alta turbulência ao atingir as paredes do protótipo, sendo esse um fator importante, especialmente, para a potencialização das estratégias, ao desenvolver projetos de ventilação natural em edificações de forma eficiente.

Exceto para os testes em que o vento foi incidido a 45° sobre as estratégias bioclimáticas, foi possível constatar que a torre de vento é mais eficiente que o captador em relação ao aumento no fluxo de ar interno, apresentando tempos menores de dissipação da fumaça para os ângulos de incidência do vento a 0° e 180° .

Analisando o comportamento da corrente de ar para ventos com direção de 0° , é possível concluir que a torre de vento apresentou tempo menor de dissipação em função do ângulo em que o fluxo de ar atinge o fundo do protótipo. Assim, é possível verificar que nos testes 10, 11 e 12, a corrente atingiu a região transitória das regiões 2 e 3, conseqüentemente, constatando que para melhorar a dissipação interna, é necessário que a corrente de ar atinja a região mais central do protótipo. Em tempo, o captador, para os ventos incididos a 0° , de acordo com os testes 01, 02 e 03, apresentou momentos em que a corrente de ar atingia sem força a cobertura do protótipo, perdendo intensidade e não contribuindo para a melhoria do fluxo interno, resultando em tempos maiores na dissipação da fumaça no interior do protótipo.

De acordo com a análise do fluxo de ar interno para o ângulo de incidência de vento com direção de 45° , o captador se torna mais eficiente que a torre, podendo ser

motivado pelo ângulo em que a corrente de ar que adentra o protótipo. No caso da torre de vento, constatou-se que para os ventos de 45° , a corrente entra de forma reta, e ao atingir o fundo, não conseguindo refletir com intensidade para o interior do protótipo, diferentemente do captador, que penetra com a corrente de ar mais inclinada.

Para o ângulo de incidência de 180° dos ventos, sobre o protótipo, analisando os fluxos gerados pelos testes, é possível constatar que ambas as estratégias apresentaram tempos inferiores na dissipação da fumaça contida no interior do protótipo, podendo ser influenciado pela dimensão da abertura proposta. Dessa forma, apresentaram comportamento semelhante na comparação dos testes, tendo momentos de turbulência na transição da região 1 e 2, e na região 3, ao chocar-se com a parede do protótipo. Assim, por apresentarem um comportamento muito aproximado, constatou-se que o modelo de torre utilizado é um extrator mais eficaz que o *shed*, de acordo com os tempos de dissipação da fumaça no interior do protótipo.

Por fim, conclui-se que a torre de vento é mais eficiente no aumento de fluxo de ar interno para ventos incididos de forma frontal, trabalhando como captador, e como extrator, ao receber a incidência de ventos opostos. E ainda, que o *shed* é mais recomendável para ventos dominantes que incidam a edificação a 45° para o aumento da circulação de ar interno.

5.1. SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Devido ao fato do experimento conter muitas variáveis, fica como sugestão para estudos futuros:

- Analisar com outras ferramentas como mesas d'água, CFD e túnel de vento de laboratório, comparando com a metodologia apresentada;
- Analisar diferentes dimensões e posicionamentos para a saída de ar, de acordo com a ISO 7726;
- Realizar o procedimento, com a presença de paredes no interior do protótipo;
- Realizar o procedimento verificando a aplicação simultânea de mais elementos durante os testes.

6. REFERÊNCIAS

A'ZAMI, A. **Badgir in traditional Iranian architecture**. In: International Conference Passive And Low Energy Cooling For The Built Environment, 1. 2005, Santorini. **Anais...** Santorini: Heliotospos Conferences, 2005. Disponível em: <http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/palenc/2005/Azami2.pdf>. Acesso: 9 abr 2018.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Relatório de 2006. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2006.pdf>>. Acesso em: 22 mar 2018.

ADAM, R. S. **Princípios do Ecoedifício: Interação entre Ecologia, Consciência e Edifício**. São Paulo: Aquariana, 2001.

AL-SHAALI, R.S. **Maximizing natural ventilation by design in low rise residential buildings using wind catchers in the hot arid climate of UAE**. 2002. Thesis (Master of Building Science), Faculty of the School of Architecture, University of Southern California, Los Angeles. Disponível em: <<http://digitallibrary.usc.edu/cdm/ref/collection/p15799coll16/id/300280>>. Acesso em: 28 mar 2018.

ANDRADE, L. M. **Agenda verde x Agenda marrom: Inexistência de princípios ecológicos para o desenho de assentamentos urbanos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília.

ANDRADE, N. C. **Estudo da ventilação natural em edificações com captadores de vento multidirecionais por meio de ensaios em túnel de vento e simulações computacionais**. 2013. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.

ARAÚJO, C. V. de A. **Análise de componentes arquitetônicos para potencialização da ventilação natural com ênfase em captadores de vento**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. ABNT: Rio de Janeiro, Brasil, set, 2003.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: qualidade do ambiente construído**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. EDUFAL: Maceió, 2008.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. **Ventilação natural em edificações**. Rio de Janeiro: UFAL, 2010.

BITTENCOURT, L. S.; LÔBO, D. G. F. **O potencial dos captadores de vento para incrementar a ventilação natural em edificações localizadas em climas quentes e úmidos**. In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 8. 2000, Salvador. **Anais...** Salvador, 2000.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60 p.

CAMARGO, R. M. et al. **Realização de testes para a ventilação natural em túnel de vento para analisar a eficiência dos sheds em hospitais da rede Sarah**. In: ENTAC - Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 13. 2010, Canela. **Anais...** Canela, 2010.

CHEN, Q. **Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recente applications**. *Buildind and environment*, 44(4), p. 848-858, 2009.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. São Paulo: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CÔRTEZ, R. G. et al. **Contribuições para a sustentabilidade na construção civil**. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão*, v. 6, n. 3, 2011, p. 384-397.

COSTA, L. **Aproveitamento da ventilação natural nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.

DEHGHANI-SANIJ, A. R.; SOLTANI, M.; RAAHEMIFAR, K. **A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 182-195, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.018>>. Acesso em: 2 abr 2018.

EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade.** Traduzido por Cláudia Ardións Espasandin. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

EL-SHORBAGY, A.M. **Design with nature: windcatcher as a paradigm of natural ventilation device in buildings.** *International Journal of Civil & Environmental Engineering*. v. 10, n. 3, p. 26-31, 2010. Disponível: <<http://www.ijens.org/105403-6868%20ijcee-ijens.pdf>>. Acesso em 10 abr 2018.

FERNANDES, J. T. **Código de obras e edificações do DF: Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética.** 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília.

FREITAS, A. F. M. **Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade Ambiental no Revestimento de Fachadas.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Porto, Portugal.

FREIXANET, V. A.; VIQUEIRA M. R. **Clima y arquitectura.** México: UAM, 2004.

FROTA, A. B.; SHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GHAEMMAGHAMI, P.S.; MAHMOUDI, M. **Wind tower a natural cooling system in Iranian traditional architecture.** In: International Conference Passive And Low Energy Cooling For The Built Environment, 1. 2005, Santorini. Anais... Atenas: Heliotos Conferences, 2005. Disponível em:<http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/inive/palenc/2005/ghaemmaghami.pdf>. Acesso em: 11 abr 2018.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** London: Applied Science Publishers, 1976.

GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. M. **Conceitos bioclimáticos para edifícios em Portugal.** Lisboa, 2004.

JUNIOR, J. A. F. **O uso de estratégias bioclimáticas para benefício do conforto térmico e economia energética das edificações.** 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis.** Porto Alegre: Bookman, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2014. 3ª ed.

LATORRACA, G. **João Filgueiras Lima, Lelé.** São Paulo: Lina Bo e P. M. Bardi Institute, 1999.

LÔBO, D.G.F.; BITTENCOURT, L.S. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos.** *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, 2003.

LUKIANCHUKI M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para a indução da ventilação natural em edificações.** 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, São Carlos.

MACHADO, R.C.; TIBIRIÇÁ, A.C.G.; JENTZSCH, R. **Projeto de túnel de vento a baixas velocidades para estudos de arquitetura e engenharia.** In: ENTAC - Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 12. 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2008.

MARQUES DA SILVA, F. V. **Ventilação natural de edifícios: turbulência atmosférica.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

MONTEIRO, A. C. de O. **A arquitectura bioclimática: Experiência e aplicação em Portugal.** 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – FCTUC. Coimbra, Portugal.

NEVES, L. D. O. **A arquitetura de Severiano Porto sob o enfoque bioclimático: ventilação natural no campus da Universidade do Amazonas, Manaus – AM.** In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11. 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

NEVES, L. O; RORIZ M. **Procedimentos estimativos do potencial de uso de chaminés solares para promover a ventilação natural em edificações de baixa altura.** *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012.

OLIVEIRA, A. M.; SILVA, G. P.; CARVALHO, R. R. B. **Park Hotel: o regionalismo crítico de Lúcio Costa e o desafio da rearquitetura em obras modernas.** In: Seminário Docomomo Brasil, 7. 2008, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2008.

PEDRINI, A.; TRINDADE, S. C. (2010). **Aplicação de Conceitos da Arquitetura Bioclimática como exemplo de Eficiência Energética no Clima Quente e Úmido.** Disponível em: <<http://goo.gl/lglJa>>. Acesso em: 27 mar 2018.

PRATA, A.R.; FROTA, A.B. **Caracterização climática – estudo de caso na cidade de Santos, São Paulo.** In: ENCAC - Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, 9. 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

QUEIROGA, A. T. D.; MARTINS, M. **Indicadores para a construção sustentável: estudo em um condomínio vertical em cabedelo, Paraíba.** Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, v. 8, Ed. Especial XVI ENGEMA, p. 114-130, 2015.

RECH, V. C.; NUNES, M. F. de O. PEDONE, C. E. **Ventilação natural em ambiente interno: estudo para os vestiários de um clube de futebol.** In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11. 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

RODRIGUES, L. S. **Ventilação natural induzida pela ação combinada do vento e da temperatura em edificações.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** São Paulo: ProEditores, 2000.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. B.; CARDOSO, A. C. F. **Gestão de resíduos da construção civil.** In: Cobrac – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 4. 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004.

SILVA, V. G. **Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica.** FINEP: São Paulo, 2007. Disponível em <http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5_metodologias_de_avaliacao.pdf>. Acesso em: 22 mar 2018.

SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L. S. **Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações.** Rev. Esc. Minas [online], v.65, n.2, p.189-194, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672012000200007>> Acesso: 08 mai 2018.

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

TRINDADE, C. S. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise corporativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

VAN LENGEN, J. **Manual do arquiteto descalço**. Traduzido por Valdo de Freitas Felinto. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2004.

VAZQUEZ, E. G.; ROSSI, A. M. R.; BOZZETTI, M. P. **Aspectos da construção sustentável na arquitetura organicista de Frank Lloyd Wright**. In: ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12. 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2008.

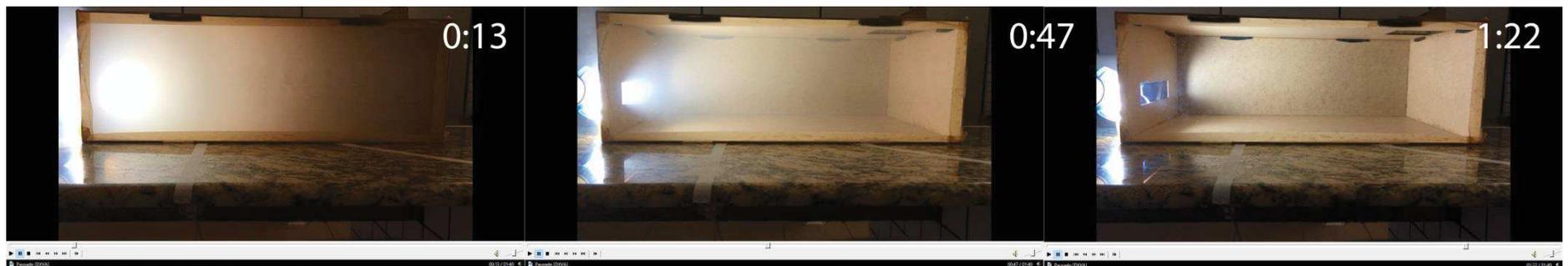
VIEIRA, C C. **Conforto térmico e iluminação natural no edifício administrativo da escola de engenharia de São Carlos/ USP – O bloco E1**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC, São Carlos.

APÊNDICE A – GRAVAÇÕES DOS INSTANTES INICIAL, INTERMEDIÁRIO E FINAL DAS GRAVAÇÕES REALIZADAS DURANTE OS TESTES

- **TESTE 01**



- **TESTE 02**



- **TESTE 03**



- **TESTE 04**



- **TESTE 05**



- **TESTE 06**



- **TESTE 07**



- **TESTE 08**



• TESTE 09



• TESTE 10



- **TESTE 11**



- **TESTE 12**



- **TESTE 13**



- **TESTE 14**



- **TESTE 15**



- **TESTE 16**



- **TESTE 17**



- **TESTE 18**

