

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**VENTILAÇÃO NATURAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DE
ALTERNATIVAS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS**

Rodrigo Spinelli

Lajeado/RS, setembro de 2015

Rodrigo Spinelli

**VENTILAÇÃO NATURAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DE
ALTERNATIVAS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento do Centro Universitário UNIVATES, como exigência parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado/RS, setembro de 2015

Rodrigo Spinelli

VENTILAÇÃO NATURAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS

A Banca examinadora abaixo aprova a dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento:

Prof. Dr. Odorico Konrad (orientador) – UNIVATES – RS

Prof. Dr. Leandro Dalla Zen – UNISINOS – RS

Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira – UNIVATES - RS

Prof. Dr. Eduardo Rodrigo Ramos de Santana – UNIVATES – RS

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Odorico, por todo o apoio, ensinamento, e confiança que passou durante todo o período da pesquisa, e principalmente por acreditar no potencial do tema estudado.

A UNIVATES, pela acolhida, confiança, e o apoio que foi dado pela instituição, a equipe do LATEC, e ao Setor de Engenharia e Manutenção, nas pessoas do Robledo e Michele, que em reuniões conjuntas auxiliaram na seção da área para desenvolvimento da pesquisa e poder executar os protótipos. As coordenações dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, ao apoiar e incentivar para que se desenvolva pesquisa na área de sustentabilidade ambiental.

A equipe do Centro De Informações Hidrometeorológicas (CIH), pelo envio das informações coletadas pela estação meteorológica instalada no campus da UNIVATES.

As empresas Conpasul, Cerâmica Bruxel, Cerâmica Winter, Redemac Morelli, Pretto Materiais de Construção, e Areia do Vale, que auxiliaram com o fornecimento de materiais de construção para a execução dos protótipos, o que sem este apoio a pesquisa teria se tornado mais complexo o seu acontecimento.

Os alunos Carlos Eduardo, Javan (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) e Marciano (Faculdade de Engenharia Civil), que voluntariamente auxiliaram na execução dos protótipos, e instalações. Também aos alunos Maiqui e Fabrício (Faculdade de Engenharia de Controle e Automação), por auxiliar com seus conhecimentos no desenvolvimento dos equipamentos eletrônicos e sensores utilizados nos protótipos para coleta dos dados.

Ao PPGAD, por reafirmar a importância da visão interdisciplinar na resolução de questões ambientais, sociais e tecnológica. Pela qualidade curricular, aos professores pelas discussões realizadas com afinco, tanto em sala de aula, como nas saídas de campo, a dedicação e paixão mostrada pelos temas abordados em aula.

Os colegas de mestrado, por todos momentos de convivência, trabalho e descontração, ao qual se criou um laço de amizade, em especial ao Edson, pelo auxílio no desenvolvimento das planilhas de dados em Excel.

Dedico
a meus pais, Inez e Enory,
à minha esposa Fabiana e meu filho Enrico,
pelo apoio incondicional.

RESUMO

Nos últimos anos tem se ampliada a preocupação com o planejamento adequado da construção civil e o aproveitamento das características climáticas do local onde será executada uma edificação. Com o problema energético surgido nas últimas décadas, os sistemas de climatização artificial, um dos elementos que mais demandam a utilização de energia elétrica, demonstram a necessidade de serem repensados. O objetivo da pesquisa foi de avaliar a viabilidade de utilização de um sistema de climatização natural, com capacidade de resfriamento do ar captado, em protótipos localizados na área de atuação de clima subtropical. Foram executados quatro protótipos com sistemas de ventilação natural, diferentes entre si, porém com materialidade similar a executada comercialmente em larga escala. A pesquisa exploratória desenvolveu-se a partir da medição de dados em quatro protótipos executados para o estudo, localizados na cidade de Lajeado/RS. Foi possível concluir que os sistemas possuem um limite de eficiência, e que para atender de forma adequada padrões de conforto, dependem da análise da influência do entorno próximo (edificações, vegetação, relevo, etc.), análise da utilização de outros elementos de isolamento térmico, elementos construtivos e de climatização natural para se atingir temperatura adequada no interior das edificações para se alcançar níveis de conforto do ambiente construído.

Palavras-chave: Ventilação Natural. Clima. Subtropical. Climatização. Conforto. Ambiente Construído.

ABSTRACT

NATURAL VENTILATION/COOLING IN CONSTRUCTIONS: ANALYZING ALTERNATIVES TO IMPLEMENT SYSTEMS IN SUBTROPICAL CLIMATE AREAS.

In recent years there has been an increasing concern for the proper planning of construction and the optimal use of climate characteristics of the site where a construction is built. With the emergence of the energy issue in the last few decades, the artificial air conditioning ventilation systems, one of the elements that require the use of electricity, point that needs a rethinking. The purpose this study was to assess the feasibility of using a natural ventilation/cooling system with the capacity of cooling captured air in prototypes located in subtropical climate areas. Four prototypes were built with natural ventilation systems, one different from the other, though all with the same material which was also the one used commercially on a large scale. This exploratory research was based on measuring data of prototypes developed for the study, which were made in the city of Lajeado/RS (Southern Brazil). It was concluded that the systems have a limited efficiency and to meet adequately standards of comfort depend on the analysis of the influence of the immediate surroundings (buildings , vegetation , relief, etc.) , analysis of the use of other insulating elements thermal, structural elements and natural cooling to achieve adequate temperature inside the buildings to achieve comfort levels of the built environment.

Keywords: Natural Ventilation. Climate. Subtropical. Air Cooling. Comfort. Space Built.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocupação das edificações na cidade de Hong Kong, com adensamento extremo	24
Figura 2 - Participação dos Equipamentos no Consumo de uma Residência Típica	25
Figura 3 – Foto Panorâmica do San Francisco Federal Building	26
Figura 4 – Projeto do sistema de captação e distribuição de ventilação natural do San Francisco Federal Building	27
Figura 5 – Zoneamento bioclimático Brasileiro	31
Figura 6 – Perfil do fluxo e da temperatura do ar interno	33
Figura 7 – Perfil do fluxo e da temperatura do ar interno	33
Figura 8 - Corte esquemático de uma chaminé solar inclinada	34
Figura 9 – Representação em Planta Baixa e Corte de Simulação de Torre de Vento em CFD	35
Figura 10 – Localização dos protótipos	37
Figura 11 – Estação Meteorológica da UNIVATES	40
Figura 12 – Painel de comando da Estação Meteorológica UNIVATES	40
Figura 13 – Estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080, e painel de leitura de dados coletados	40
Figura 14 – Sensor de temperatura e umidade DHT03, e Arduino Uno	41
Figura 15 – Sensor modelo PT 100, equipamento Data Logger, e USB-i485 ...	41
Figura 16 – Padrão de Ventos Lajeado/RS, período dos anos 2003 a 2010	42

Figura 17 – Mapa do Rio Grande do Sul com predominância de vento	42
Figura 18 – Materiais utilizados na execução dos protótipos	43
Figura 19 – Projeto Arquitetônico Protótipo 1 – sem sistema de distribuição de ventilação natural	44
Figura 20 – Projeto Arquitetônico Protótipo 2 – distribuição de ventilação natural por efeito chaminé	45
Figura 21 – Projeto Arquitetônico Protótipo 3 - distribuição de ventilação natural por efeito de torre de vento	46
Figura 22 – Projeto Arquitetônico Protótipo 4 - distribuição de ventilação natural por efeito de torre de vento com aspersão de água	47
Figura 23 – Execução das fundações	48
Figura 24 – Concretagem das fundações	48
Figura 25 – Aplicação de impermeabilizante e execução de alvenarias	49
Figura 26 – Execução de alvenarias e vergas	50
Figura 27 – Execução das lajes	50
Figura 28 – Sistema de aspersão Protótipo 4	51
Figura 29 – Protótipos Finalizados e grelhas instaladas	51
Figura 30 – <i>No break</i>	52
Figura 31– Instalação de Chapas de Isopor na cobertura	52
Figura 32– Influência do entorno próximo dos protótipos na direção de ventos	59
Figura 33– Imagens de Satélite para os dias 06 e 21/03/2015	74
Figura 34 – Possibilidades de adequações na materialidade do Protótipo 2 ...	113
Figura 35 – Possibilidades de adequações na materialidade nas Torres de Ventilação nos Protótipo 3 e 4	116
Figura 36 – Ocorrência de Patologias nas alvenarias do Protótipo 4	117
Figura 37 – Possibilidades de adequações na materialidade na Torre de Ventilação no Protótipo 4	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Padrão de Ventos Lajeado/RS, período dos anos 2010 a 2014	57
Gráfico 2 – Padrão de Ventos Lajeado/RS (CIH), período novembro/2014 a março/2015	58
Gráfico 3 – Padrão de Ventos Local Protótipos, período novembro/2014 a março/2015	59
Gráfico 4 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014	61
Gráfico 5 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014	64
Gráfico 6 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015	65
Gráfico 7 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015	66
Gráfico 8 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015	68
Gráfico 9 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014	69
Gráfico 10 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014	71
Gráfico 11 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015	72
Gráfico 12 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015	73

Gráfico 13 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015	75
Gráfico 14 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014	77
Gráfico 15 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014	78
Gráfico 16 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015	80
Gráfico 17 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015	82
Gráfico 18 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015	83
Gráfico 19 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014	84
Gráfico 20 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014	86
Gráfico 21 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015	88
Gráfico 22 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015	89
Gráfico 23 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015	91
Gráfico 24 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 31/11/2014	93
Gráfico 25 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 16/11/2014	94
Gráfico 26 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 27/11/2014	95
Gráfico 27 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 29/11/2014	96
Gráfico 28 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 08/12/2014	97

Gráfico 29 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 06/12/2014	99
Gráfico 30 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 07/12/2014	100
Gráfico 31 – Percentuais de Umidade Relativa do Ar Externo e Interno para o mês de dezembro/2014	101
Gráfico 32 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 13/01/2015	102
Gráfico 33 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 27/01/2015	103
Gráfico 34 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 06/01/2015	104
Gráfico 35 – Percentuais de Umidade Relativa do Ar Externo e Interno para o mês de janeiro/2015	104
Gráfico 36 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 10/02/2015	105
Gráfico 37 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 08/02/2015	106
Gráfico 38 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 13/02/2015	107
Gráfico 39 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 04/03/2015	108
Gráfico 40 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 08/03/2015	109
Gráfico 41 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 02/03/2015	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de Conforto Térmico segundo NBR 16401-2	30
Tabela 2 – Modelo de Medições CIH	38
Tabela 3 – Temperatura média mensais para cidade de Lajeado/RS – 2010/2014	53
Tabela 4 – Amostragem direção de ventos ano 2010	54
Tabela 5 – Amostragem direção de ventos ano 2011	55
Tabela 6 – Amostragem direção de ventos ano 2012	55
Tabela 7 – Amostragem direção de ventos ano 2013	56
Tabela 8 – Amostragem direção de ventos ano 2014	56
Tabela 9 – Médias de Temperaturas Externa e Interna, para o período de medições	60
Tabela 10 – Médias de Percentual de Umidade Relativa do Ar Externa e Interna, para o período de medições	60
Tabela 11 – Comportamento Protótipo 1 período do dia 16/11/2014	62
Tabela 12 – Comportamento Protótipo 2 período do dia 02/03/2015	74
Tabela 13 – Comportamento % Umidade Relativa do Ar Protótipo 3 período do dia 31/01/2015	79
Tabela 14 – Médias de diferenças das temperaturas externa e interna para o Protótipo 4	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – Graus Celsius

ASHRAE - *American National Standards Institute*

CIH - Centro de Informações Hidrometeorológicas

CFD – *Software* de Dinâmica de Flúidos Computacionais

cm – Centímetros

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

L – Leste

LNE – Leste-nordeste

LSE – Leste-sudeste

m – Metros

mm – Milímetros

Mpa – Mega Pascal

N – Norte

NBR – Norma Brasileira

NE – Nordeste

NNE – Norte-nordeste

NNO – Norte-noroeste

NO – Noroeste

O – Oeste

O₂ – Oxigênio

ONO – Oeste-noroeste

OSB - *Oriented Strand Board*

OSO – Oeste-sudoeste

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RS – Rio Grande do Sul

S – Sul

SE – Sudeste

SSE – Sul-sudeste

SSO – Sul-sudoeste

SO – Sudoeste

UNIVATES – Centro Universitário Univates

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Tema	19
1.2 Problema	19
1.3 Hipóteses	19
1.4 Objetivos	20
1.5 Metodologia.....	20
1.6 Justificativa.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 As crises energéticas	23
2.2 Ocorrência de problemas pela ausência de ventilação natural	27
2.3 Conforto ambiental e estratégias de utilização de ventilação natural.....	29
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
3.1 Implantação dos Protótipos.....	37
3.2 Coleta dos Dados.....	38
3.3 Padrão de Ventos Local	41
3.4 Projeto dos Protótipos.....	42
3.5 Execução dos Protótipos.....	48
4 ANÁLISES, RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 Protótipo 1	61
4.2 Protótipo 2.....	69
4.3 Protótipo 3.....	76
4.4 Protótipo 4.....	83
4.5 Análises Comparativas.....	92
4.5.1 Novembro/2014.....	92
4.5.2 Dezembro/2014.....	97
4.5.3 Janeiro/2015	101
4.5.4 Fevereiro/2015	105

4.5.5 Março/2015	107
4.6 Compilação dos Dados	111
5 CONCLUSÃO	122
REFERÊNCIAS.....	125
ANEXOS	128

1 INTRODUÇÃO

Juntamente com o desenvolvimento da humanidade, as formas de moradia também evoluíram a partir das experiências passadas por antigas civilizações, tribos, e muitos outros tipos de culturas de geração em geração, criando elementos arquitetônicos conforme as necessidades climáticas adaptadas para os locais onde elas habitavam. Esta adaptação das suas edificações ao local pode ser denominada de Arquitetura Vernacular¹, sendo que estas características foram passadas por várias gerações, e aperfeiçoadas, conforme as vivências de cada período da população em um determinado local. Com a evolução das cidades e o aprimoramento dos recursos tecnológicos, as características vernaculares das edificações foram caindo em desuso, e gradativamente a utilização dos recursos naturais foram substituídos por recursos artificiais. Estes novos recursos atingem diretamente as características de conforto para o ambiente construído, e ampliam rapidamente a demanda por energia elétrica, principalmente na utilização de sistemas de iluminação e climatização artificial.

Nos últimos anos, é notória a preocupação dos profissionais voltados à construção civil, a execução de edificações mais eficientes, quando é relacionada à questão de economia de energia. Após a crise energética mundial nas décadas de 1960/1970 e os racionamentos energéticos de 2001 no Brasil, tem-se o surgimento de movimentos sociais defendendo a proteção e preservação do meio ambiente. Estes fatos nos remetem ao contexto histórico/antropológico da relação do ser humano com as questões da natureza, sendo que no período do iluminismo ficou muito forte a relação de domínio do ser humano sobre ela. O fortalecimento do antropocentrismo, o conceito de sociedades humanas e não humanas, e a utilização

¹ Denomina-se Arquitetura Vernacular a todo o tipo de arquitetura em que se empregam materiais e recursos do próprio ambiente em que a edificação é construída. Desse modo, ela apresenta caráter local ou regional. (SILVA, 1994).

dos recursos naturais sem controle, com ideia de serem infinitos (SOFFIATI, 2008).

Com este novo contexto, se faz necessário um retorno aos elementos da Arquitetura Vernacular, se adaptar as questões climáticas do local onde se insere uma edificação, não apenas voltado para a questão de eficiência energética de uma edificação, mas fundamentalmente como uma adaptação do ser humano ao local, de conforto do ambiente construído. O uso indiscriminado de sistemas artificiais de climatização tem prejudicado a relação de conforto do ser humano com o ambiente construído.

1.1 Tema

O tema deste trabalho considera o uso racional e a busca de conforto térmico do ambiente construído para edificações, utilizando sistemas de ventilação natural. Diante disso, o estudo e o desenvolvimento dessa dissertação estão centrados na busca de novos elementos arquitetônicos de climatização natural, para características do clima subtropical, que abrange a região sul do Brasil, onde está situada a cidade de Lajeado/RS, local de desenvolvimento do estudo. Parte-se do princípio básico, onde o aproveitamento de ventilação natural para os projetos arquitetônicos locais, que utilizam apenas sistemas primários de ventilação, oferecidos apenas por aberturas em formato de portas e janelas.

1.2 Problema

Surge a situação problema, questiona-se quais seriam os aspectos necessários para a utilização de sistema natural de climatização em edificações localizadas em regiões de Clima Subtropical, segundo NBR 15220-3 (2005), Zona Bioclimática 2, e quais ganhos ambientais ocorreriam com a utilização de sistemas de climatização natural.

1.3 Hipóteses

A hipótese principal é da possibilidade de não implementação de um sistema artificial de climatização, adaptando um sistema natural de captação e resfriamento de ventilação natural não pode ser descartada. Sabe-se que não seja possível um controle sobre as variáveis climáticas, mas espera-se que os sistemas em estudo se viabilizem da adaptação as suas flutuações. Há também a possibilidade de que o

sistema ideal de climatização para residências seja a utilização de um sistema natural de ventilação, com a complementação por sistema artificial de climatização. Assim, ambos podem apresentar uma redução no consumo de energia elétrica, levando à redução nas emissões de CO, de CO₂, e à diminuição de poluentes gerados em ambientes com ampla utilização de equipamento de ar condicionado, com baixos índices de renovação de ar nos ambientes internos (sistema Split).

1.4 Objetivos

Assim, toma-se por objetivo do trabalho, analisar a viabilidade de utilização de sistemas de climatização natural, para aplicação em edificações localizadas na área de abrangência do Clima Subtropical. Foram analisados de forma comparativa quatro sistemas de climatização natural, em protótipos com características similares a edificações, quanto ao sistema construtivo e a materialidade, executadas e comercializadas na região. Executar medições e registrar a temperatura e umidade, externa e internamente, dos protótipos com seus sistemas de climatização natural, e assim analisar a capacidade de resfriamento do ambiente interno com ar exterior captado, gerando gráficos comparativos, buscando a relação com a temperatura de conforto. Por fim, identificar os benefícios na utilização de um sistema de climatização natural para os usuários e quais seriam os benefícios ambientais.

1.5 Metodologia

No que se refere à metodologia, e atrelada ao objetivo geral, a pesquisa foi exploratória, conforme cita Gil (1999), onde:

A pesquisa exploratória têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores [...] são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato. Este tipo de pesquisa é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis (GIL, 1999. p. 27).

Assim, buscou-se uma melhor compreensão em relação à eficiência dos sistemas naturais de climatização, e de seus condicionantes, podendo reforçar as possíveis hipóteses apresentadas ou conduzir ao surgimento de novas. A dissertação está estruturada em quatro momentos fundamentais, iniciando pela

revisão bibliográfica do contexto histórico onde se perde a capacidade de desenvolvimento de projetos capazes de atender a questões climáticas, e a massificação de mecânicos de climatização (capítulo 2); compreensão de onde e como serão coletados os dados climáticos, para o estudo com os elementos propostos pela pesquisa (capítulo 3); análise dos dados coletados com os sistemas de ventilação natural propostos em operação, concluindo com a análise comparativa dos mesmos, buscando uma comprovação de eficiência de climatização dos sistemas estudados (capítulo 4).

Um tema instigante e atual, em que pode-se abrir caminho para novas discussões e questionamentos, podendo contribuir de forma significativa na forma de pensar estratégias de climatização natural em edificações novas e pré-existentes, com a possibilidade de geração de novas tecnologias e serem desenvolvidas, partindo dos parâmetros aqui pesquisados.

1.6 Justificativa

O tema para a dissertação surgiu ao se fazer uma análise de projetos, e de edificações onde se verificou a inabilidade de grande parte dos profissionais de projeto em fazer um aproveitamento adequado e coerente da ventilação natural, apropriando-se das características climáticas pertencentes ao local (terreno e/ou lote), onde se executará o projeto de edificações. Há também a escolha inadequada de materiais de construção civil, que interferem diretamente no desempenho térmico das edificações, que acabam influenciando aos usuários das edificações a instalação de equipamentos de climatização artificial, com um dimensionamento equivocado, e em grande parte das vezes sem a consulta técnica adequada de profissional habilitado para desempenhar tal função, onde o empirismo tem poder de decisão final.

Ao se projetar de forma coerente, seguindo os preceitos técnicos adequados, é possível reduzir de forma consistente a utilização de sistemas artificiais de ar-condicionado, aliando técnicas construtivas com aproveitamento e captação de ventilação natural. Reduzindo a utilização de sistemas artificiais de climatização haverá diminuição no consumo de energia elétrica, podendo acarretar em melhorias nos índices de conforto do ambiente construído, tanto em sensibilidade térmica, como em questões sanitárias, como a não proliferação de bactérias e fungos, assim,

valorizando a utilização de sistemas voltados à sustentabilidade ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 As crises energéticas

Com a crise do petróleo nas décadas de 1960/70, veio à tona o problema energético. As energias fósseis, formadas há 400 milhões de anos, estão sendo rapidamente consumidas. Com isso, impõem-se a preocupação de se construir minimizando o consumo de energia e aproveitando melhor os recursos naturais. Construir com uma preocupação ambiental passa por redescobrir alguns princípios tradicionais de climatização naturais já esquecidos. Mais do que nunca a preocupação dos profissionais da construção civil deve ser “projetar com o clima” e não “contra o clima”, salientando-se a redução de consumo de energia, levando em consideração o emprego de elementos e técnicas construtivas adequadas. Este novo modelo de construção está ligado ao atendimento das necessidades urbanas contemporâneas de forma integrada com as questões ambientais (LAMBERTS et al., 2004).

Soffiati (2008) expõe que a partir da crise energética e ambiental, uma nova percepção em relação à poluição gerada e aos impactos gerados pelo homem, rompendo com o tradicional conceito antropocêntrico das sociedades capitalista e socialista. Surge uma nova forma de pensar, ainda incipiente, fundamentada no naturalismo filosófico, não religioso, de reconstrução da ligação entre natureza não humana com o ser humano. Este pensamento quer que o homem reflita sobre o seu lugar e todos os seres vivos na natureza.

Ao se analisar os atuais contextos urbanos, constata-se que pouco se modificou na forma de pensar a relação entre as edificações e as cidades. Com o crescimento acelerado das populações nos grandes centros, um dos problemas mais evidentes é o grande adensamento de edificações, estas, cada vez mais altas

gerando poços de ventilação e iluminação internos e entre edificações vizinhas, acarretando uma baixa qualidade de iluminação natural e ventilação. A cidade de Hong Kong (Figura 1) é um exemplo desta falta de controle e organização do espaço urbano, que levou grande parcela da população para ocupações desordenadas em áreas periféricas, sem infraestrutura adequada, um retorno ao conceito da Cidade Liberal (BENEVOLO, 1999).

Figura 1 - Ocupação das edificações na cidade de Hong Kong, com adensamento extremo.



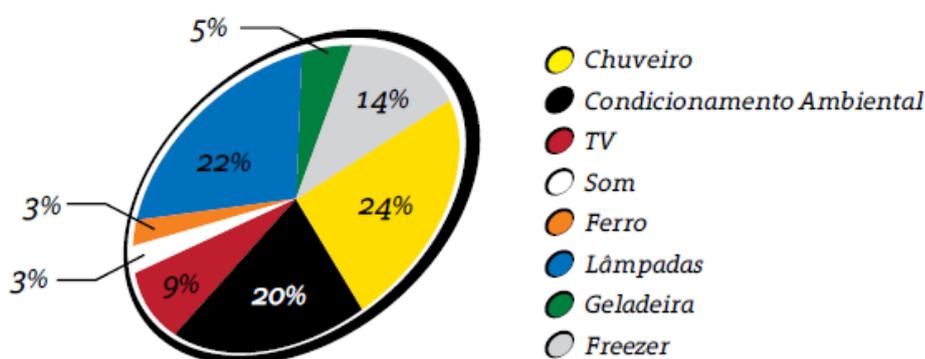
Fonte: JACQUET-LAGRÈZE (2012, p. 27).

Com o surgimento do Estilo Internacional², foi exportado como símbolo de poder, juntamente com os sofisticados sistemas de condicionamento e as técnicas construtivas sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino. A partir das crises energéticas na década de 1960/70, estas em nível global, e especificamente a crise de 2001 no Brasil, aliados ao fator de “edifício estufa”, torna-se fundamental partir o conceito de projeto das características do

² Dá-se o nome de estilo internacional à arquitetura funcionalista praticada na primeira metade do século XX em todo o mundo. Não existe grande rigidez quanto ao uso da expressão em si: não é incomum usá-la ao referir-se ao movimento moderno como um todo. (BENEVOLO, 1994).

clima local onde estará inserida a edificação, para assim, atender ao conceito de eficiência energética. Os sistemas de ar condicionado e iluminação artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima, representando na Figura 2 o percentual de consumo dos sistemas em uma pequena edificação (LAMBERTS et al., 2004).

Figura 2 - Participação dos Equipamentos no Consumo de uma Residência Típica.



Fonte: PROCEL (2007, p. 106).

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS et al., 2004, p. 14).

Com a ampliação dos estudos apresentados em relação ao impacto ambiental da construção civil, começam a surgir os projetos dos *Green Buildings*, como uma iniciativa de reduzir os impactos das construções ao meio ambiente, mais como uma preocupação de economia de energia elétrica e evitar desperdício de água, que em relação a redução nas emissões de CO₂, visto que as edificações são responsáveis por “*mais da metade de todas as emissões das mudanças climáticas*” (ROAF et al., 2009, p. 22) e o mercado da construção civil utiliza aproximadamente 40% dos recursos naturais do planeta (não renováveis) (JOURDA, 2012).

O desenvolvimento de projetos adequados de edificações, considerando as características climáticas do local (terreno), materiais adequados, e seu contexto urbano (em relação aos usos e períodos de ocupação), são fundamentais para a eficiência energética da edificação e funcionamento da cidade. Torna-se necessário uma nova forma de projetar edificações, com foco no conforto do ambiente

construído estreitamente ligado a fatores climáticos e ambientais, rompendo os conceitos de mercado, sendo como um ponto a utilização massiva de elementos de climatização artificial, reforçando a importância da utilização de ventilação natural (ROAF et al., 2009).

Ventilação é o movimento do ar dentro de um prédio e entre uma edificação e o exterior. O controle da ventilação é uma das preocupações mais sutis[...] [...] A questão é como fazer o ar se deslocar dentro de uma edificação de modo a satisfazer, e até mesmo a encantar, o usuário (ROAF et al., 2009, p. 120).

Weimer (2005) apresenta estudo muito particular sobre arquitetura popular (vernacular) brasileira, a capacidade que os imigrantes oriundos de diversas regiões, principalmente imigrantes europeus, em fixar residência no Brasil. A primeira característica seria a “*simplicidade*, por ser resultado da utilização dos materiais fornecidos pela natureza”, porém com o tempo foi se afastando das questões naturais conforme os recursos financeiros foram sendo ampliados pelas famílias. A segunda característica seria a “*adaptabilidade*”, onde imigrantes de climas adversos, por vezes mais frios, adaptaram-se ao clima brasileiro (WEIMER, 2005, p. XLI).

Em entrevista à revista *Época*, o arquiteto Thom Mayne, salienta em seu discurso a importância de uma nova maneira de projetar, em que se deve encontrar novas formas de relacionar as edificações com as cidades, com a utilização eficiente dos recursos naturais e a forma de seus usuários se apropriarem dela, projetar com um “desejo de mudança” (EVELIN, 2013). Este desejo reflete-se fortemente no projeto do *San Francisco Federal Building* (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Foto Panorâmica do *San Francisco Federal Building*.

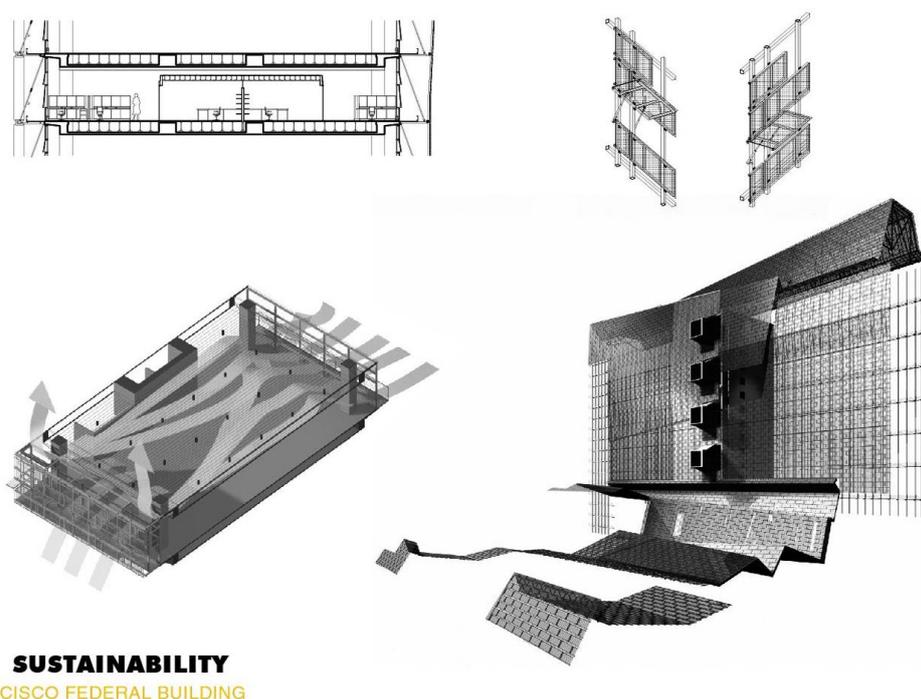


Fonte: Morphosis Architects, Inc. Site: <http://morphopedia.com/files/san-francisco-federal-building->

photo. Acesso em 3 de dezembro de 2013.

Ao projetar o San Francisco Federal Building, um prédio de escritórios do governo federal, tiramos o sistema de ar-condicionado. Abrir o prédio à circulação do ar ambiente foi complicado, por questões de segurança. Mas a economia de energia é suficiente para alimentar 600 lares. Seiscentos lares! Isso pode ser a parte mais importante do projeto. Um arquiteto deveria dar prioridade ao visual do prédio? Não, não, não, não. A decoração é uma escolha pessoal, não traz consequência. Nos importamos com o que o prédio acrescenta à cidade no aspecto social, econômico, cultural, ecológico, urbanístico, de infraestrutura... Nosso edifício não tem estacionamento. Você pode ir de metrô. Estamos desencorajando o carro. As pessoas podem ir até lá dirigindo, mas estacionar é problema delas, não nosso. Voltamos nossas atenções a uma creche para os filhos dos trabalhadores, em vez de ter um saguão bonito ornado com esculturas. Dissemos: "Vamos fazer um lobby com um lugar onde os pais possam descer e ver seus filhos o dia todo, porque 55% da força de trabalho é de mulheres, e elas sentem falta de ver seus filhos. Podemos ter uma creche nesse prédio grande, onde trabalham 4 mil pessoas (EVELIN, 2013).

Figura 4 – Projeto do sistema de captação e distribuição de ventilação natural do *San Francisco Federal Building*.



Fonte: Morphosis Architects, Inc. Site: <http://morphopedia.com/files/san-francisco-federal-building-sustain-7>. Acesso em 3 de dezembro de 2013.

2.2 Ocorrência de problemas pela ausência de ventilação natural

As questões referentes à qualidade do ambiente construído e economia de energia, podem ser também relacionadas a qualidade do ar interno dos espaços

projetados para seus usuários, que segundo Ponsoni e Raddi (2010), há altos índices de poluentes nos ambientes, como o CO₂, e fungos que se proliferam no sistema, por condensação de água.

Jones (1999) apresenta um panorama onde, desde a década de 70, a construção civil vem passando por modificações importantes em relação a climatização dos ambientes, tanto residenciais quanto de escritórios, e juntamente a climatização uma melhora nos elementos de isolamento, e comparando a quantidade de trocas de ar: antes ocorria uma troca a cada hora, destacando a queda nas taxas de renovação de ar, com 0,2 a 0,3 trocas de ar por hora, concentrando consideravelmente os poluentes no ar (JONES, 1999).

A qualidade do ar interno está diretamente atrelada a quantidade de renovações de ar que ocorrem durante o dia, conforme regulamentado pela NBR 16401-3 (2008), porém, constata-se que o baixo índice de renovação é o grande responsável pelo acúmulo de poluentes nos ambientes. “Essa preocupação se justifica uma vez que grande parte das pessoas (em torno de 80-90%) passa a maior parte do seu tempo dentro destes edifícios e, conseqüentemente, exposta aos poluentes destes ambientes” (SCHIRMER et al., 2011). Dados ainda reforçam o estudo de SCHIRMER (2011), e apresentam resultados de que a concentração de poluentes pode ser de duas a cinco vezes maior em ambientes internos que nos externos, “mesmo em cidades altamente industrializadas”, conseqüência dos baixos índices de manutenção dos filtros e equipamentos de sistemas de ar condicionado, causadores assim da Síndrome do Edifício Doente.

Carmo & Pardo apud Schirmer (2011, p. 3584), afirmam que

vários poluentes como monóxido e dióxido de carbono, amônia, óxido de enxofre e nitrogênio, são produzidos dentro do edifício por materiais de construção, materiais de limpeza, mofo, atividades domésticas (cozinhar, lavar e secar roupas), entre outros. Os próprios ocupantes dos edifícios contribuem substancialmente com a poluição de ambientes internos, tanto pela respiração e transpiração, como pelo transporte de microorganismos potencialmente causadores de doenças. Isso sem falar no cigarro, um dos principais vilões de qualquer ambiente.

As conseqüências quanto a estes poluentes são muitas, e

os ocupantes de certos edifícios afetados pela síndrome do edifício doente descrevem repetidamente uma gama complexa de queixas de saúde vagas e muitas vezes subjetivas. Estes são muitas vezes atribuídos a má qualidade do ar. No entanto, muitos casos fornecem informações valiosas

sobre os problemas enfrentados pelos pesquisadores que tentam estabelecer causalidade. Sabe-se muito menos sobre os riscos para a saúde decorrentes da poluição do ar interior do que sobre aquelas atribuíveis à contaminação do ar exterior. Este desequilíbrio deve ser corrigido pela prestação de um financiamento adequado, bem como o desenvolvimento de um forte compromisso com a ação dentro de ambos os setores público e privado (JONES, 1999, p. 4536).

Assim, as questões apresentadas em relação a qualidade do ar interno, reforçam o conceito de que “basta 20% dos ocupantes da edificação apresentar problemas de saúde, para que a edificação seja considerada doente” (SCHIRMER et al., 2011).

2.3 Conforto ambiental e estratégias de utilização de ventilação natural

A ideia de conforto ambiental passa pelas ferramentas executadas para amparar as suas necessidades de adaptação climática, e a sensibilidade do usuário em relação ao ambiente construído da edificação, que segundo a NBR 16401-2 (2008) “a sensação de conforto térmico é essencialmente subjetiva”. Frota & Schiffer (2007), relatam a importância da arquitetura “servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange seu conforto térmico”, como forma de melhorar e ampliar a sua qualidade de vida e de saúde, com seu organismo tendo um funcionamento sem excesso de fadiga e estresse, atrelado a sensibilidade térmica.

A arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas (FROTA; SCHIFFER, 2007, p. 17).

Estas condições físicas do ambiente devem proporcionar ao usuário a sensação de neutralidade (CORBELLA; YANNAS, 2003), em relação a temperatura, umidade relativa do ar, incidência solar e ventilação natural, índices subjetivos atrelados à sensação de conforto térmico. A NBR 16401-2 (2008) cita estes mesmos parâmetros para ambientes com aplicação de sistemas artificiais de climatização como “temperatura operativa, velocidade e umidade relativa do ar”, e assim definem parâmetros de medição da sensibilidade de conforto térmico.

As sensações térmicas são avaliadas numericamente pela escala ASHRAE, em que 0 indica sensação neutra, +1, +2 e +3 sensação de levemente quente a muito quente, e -1, -2 e -3, sensação de levemente frio a muito frio. Avaliação entre -0,5 e +0,5 é considerada indicação aceitável de conforto térmico. (NBR 16401-2, 2008, p. 3).

Baseado na escala de medição apresentada pela NBR 16401-2, define-se padrões de conforto térmico para verão e inverno, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Padrões de Conforto Térmico segundo NBR 16401-2.

Verão	Inverno
22,5°C a 25,5°C e umidade relativa 65%	21,0°C a 23,5°C e umidade relativa 60%
23,0°C a 26,0°C e umidade relativa 35%	21,5°C a 24,0°C e umidade relativa 30%

Fonte: NBR 16401-2 (2008).

As informações normatizadas na NBR 16401-2, complementa-se com as normas definidas na NBR 15220 (ABNT, 2005), onde apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica³ mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática, que caracteriza o território brasileiro em toda sua extensão, conforme apresentado na Figura 5, e apresenta estratégias para obtenção de conforto térmico. Defini os cálculos para obtenção da resistência, capacidade e transmitância térmica de materiais e elementos construtivos e métodos de medição de condutividade térmica também são apontados na referida Norma. Uma segunda opção seria a elaboração da Carta Bioclimática de Givoni (conhecida também como Carta para Ano Climático de Referência⁴ – *TRY*), para a cidade de Lajeado/RS, por se tratar de uma ótima ferramenta para análise de estratégias a serem empregadas nas edificações para adaptação ao clima local.

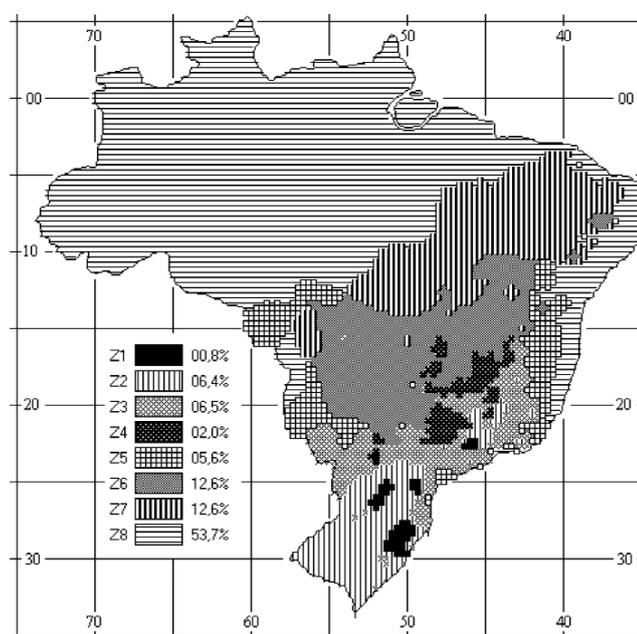
Para atender a estas questões, há um conjunto de estratégias que podem ser definidas no momento da concepção do projeto arquitetônico como a utilização adequada de iluminação natural, com análise de sua incidência conforme os períodos do ano, verão com incidência solar crítica que deve ser controlada com a utilização de “máscaras” de proteção solar (FROTA, 2004, p. 125). Nos períodos de

³ Transmitância térmica é a variável mais importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos. Através desta variável se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente a transmissão de calor, tendo subsídios inclusive para comparar diversas opções de fechamentos (LAMBERTS et al., 2004).

⁴ Através do Ano Climático de Referência, que contém valores horários de temperatura e umidade relativa, entre outros, se podem marcar os dados de diversas cidade brasileiras diretamente sobre a Carta Bioclimática; obtendo-se quais as estratégias mais adequadas para cada período do ano (LAMBERTS et al., 2004).

incidência solar reduzidas, outono e inverno, as propostas de máscaras devem permitir a entrada de iluminação natural direta no interior do ambiente, proporcionando ganho de calor. Este ganho de calor também pode ser controlado a partir da escolha dos materiais com o qual se executa o projeto, sempre tendo como princípio a análise das características como absorvidade⁵, refletância⁶ e transmitância térmica de cada material, para assim ocorrer a troca térmica do ambiente externo com o interno de forma adequada (SANTIAGO, 2007).

Figura 5 - Zoneamento bioclimático Brasileiro.



Fonte: NBR 15220-3, ABNT 2005.

No momento em que se utiliza o recurso de ventilação natural para climatização de edificações, deve-se atentar aos seguintes pontos: 1) tomar partido da forma e da função da edificação, expondo a edificação a brisas do verão, e posicionando-a no lote de forma adequada a orientação solar com as devidas proteções; 2) projetar os espaços fluídos, onde é permitido fluxo de vento nos “ambientes internos e entre os ambientes e o exterior”, de forma horizontal e vertical, com o uso de dispositivos adequados e que possam ser controlados pelo usuários, e que permitam a privacidade no local; 3) utilização de elementos na área externa, que

⁵ Quociente da taxa de radiação solar (ondas longas) que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar (ondas longas) incidente sobre esta superfície (ABNT, 2005).

⁶ Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005).

auxiliem na captação de ventilação, e direcionem para o interior da edificação; 4) projetar de forma adequada um sistema de aberturas eficiente (LAMBERTS et al., 2004).

Este projeto pode contemplar diversas possibilidades de sistemas de captação de ventilação natural, como:

- a) torres de vento, este sistema funciona através de uma torre que se eleva a uma altura suficiente acima da cobertura e capta o vento onde ele é mais intenso e é conduzido a parte baixa do edifício;
- b) ventilação cruzada, conectando os espaços internos da edificação por aberturas, permitindo por pressão a circulação do ar;
- c) efeito chaminé, ocorre ao criar-se uma extração de ar por meio de aberturas conectadas a um duto de extração vertical. Este sistema inclui aberturas inferiores para entrada do ar frio, mais denso;
- d) aspiradores estáticos, forçam uma extração de ar do ambiente interior juntamente com entrada de ar de renovação. Este sistema inclui aberturas inferiores para entrada do ar frio, mais denso.

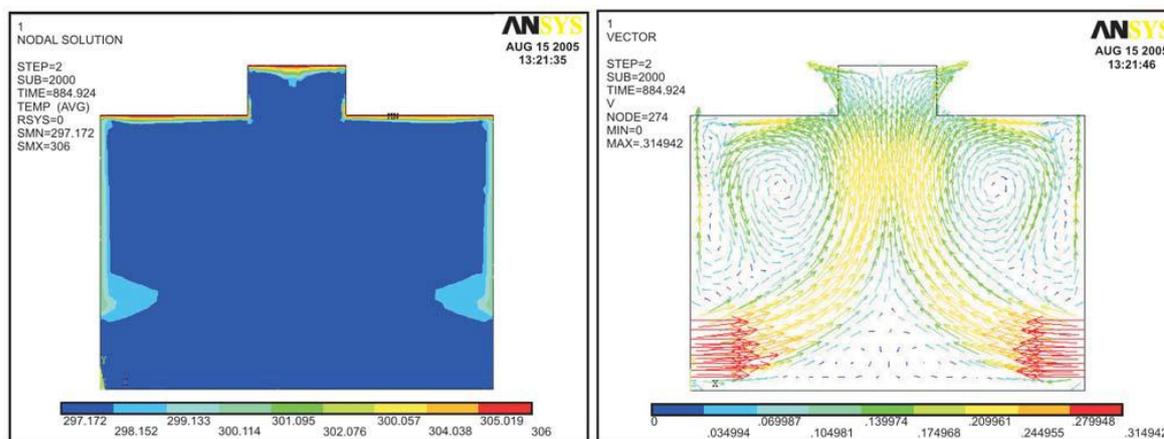
Estes sistemas apresentados podem passar por tratamentos especiais, resfriamento evaporativo com aspersão de água para regiões com climas mais áridos e baixa umidade relativa do ar, ou, sistemas de captação de ar por dutos de ventilação subterrânea, aproveitando a inércia térmica⁷ do solo para resfriamento, adequados para climas com grande oscilação de temperatura durante um período do ano (LAMBERTS et al., 2004).

Em estudos realizados por Mazon et al. (2006) em galpões industriais, ficou comprovado que a utilização de lanternins na cobertura, aumenta a eficiência do sistema de ventilação natural, quando instalado juntamente com aberturas nas paredes laterais, através do efeito chaminé, conforme representado na Figura 6. Esta eficiência foi comprovada com a utilização de um lanternim onde a sua área de abertura é a metade da área de captação de ventilação das aberturas inferiores, e o estudo salienta a movimentação da temperatura interna do ambiente, conforme Figura 7. Destaca-se que as Figuras 6 e 7 são resultados apresentados em

⁷ “À Inércia térmica estão associados dois fenômenos de grande significado para o comportamento térmico do edifício: o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais. A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos internos.” (FROTTA; SCHIFFER, 2007, p. 48).

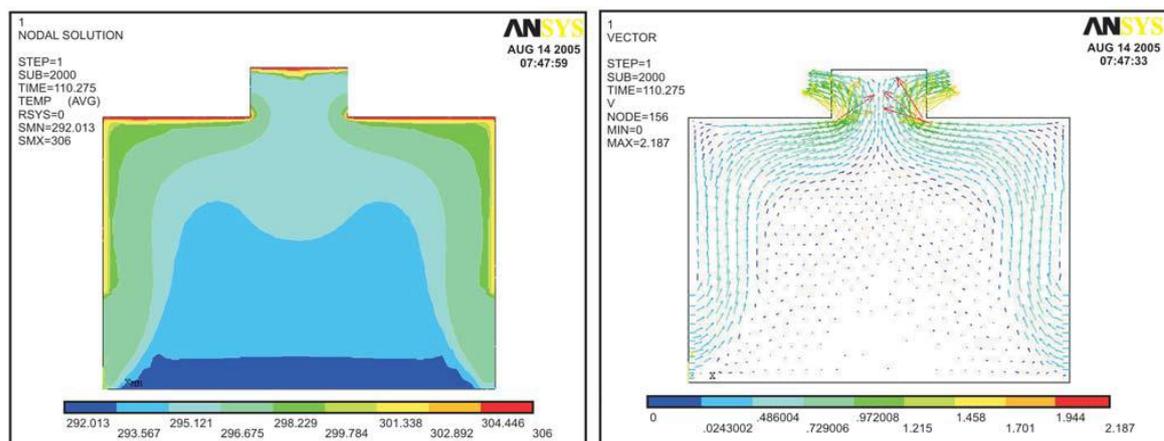
simulações desenvolvidas com a utilização de *Software* de Dinâmica de Flúidos Computacionais (CFD).

Figura 6 – Perfil do fluxo e da temperatura do ar interno



Fonte: MAZON; SILVA; SOUZA (2006).

Figura 7 – Perfil do fluxo e da temperatura do ar interno



Fonte: MAZON; SILVA; SOUZA (2006).

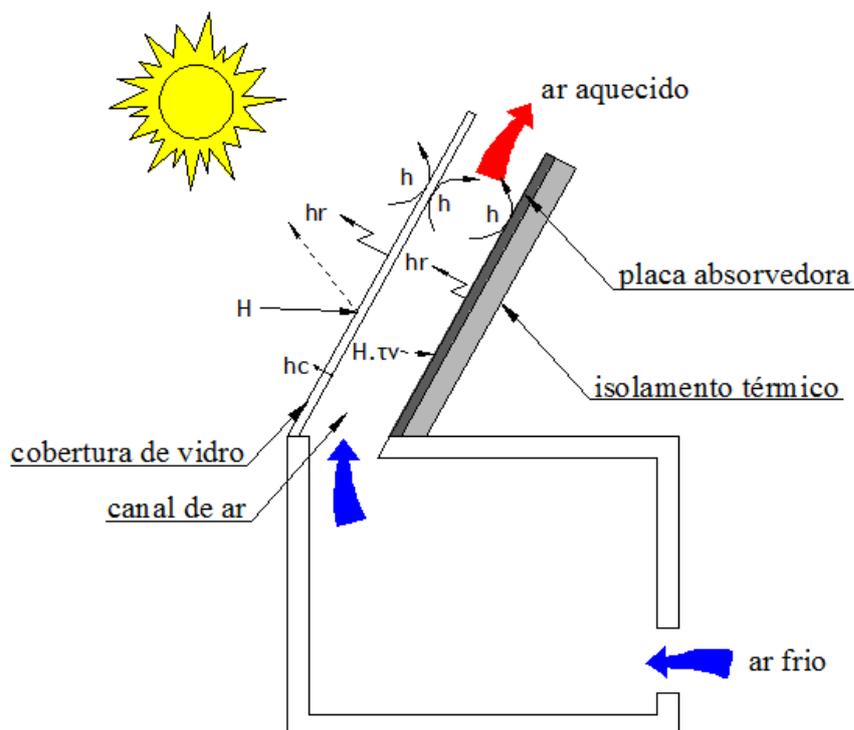
Neves & Roriz (2012) apresentam o sistema de chaminés solares (Figura 8), onde “utiliza a energia proveniente da radiação solar para aquecer o ar e induzir o efeito chaminé, por meio do incremento das diferenças de pressão e temperatura entre a entrada e a saída do ar”, assim, auxiliando na captação de ar frio para o interior da edificação. O sistema é composto por uma cobertura em vidro, uma placa onde o calor é absorvido para fazer o aquecimento da camada de ar, e um isolante térmico para não ocorrer perda do calor gerado, e assim “o aquecimento no canal é incrementado pelo efeito estufa, induzindo o movimento ascendente do ar” (ONG;

CHOW apud NEVES; RORIZ, 2012, p. 178), e o sistema se mostrou eficiente quando a ação dos ventos é muito baixa, ou quase nula.

Há também as estratégias de utilização de ventilação natural unilateral e ventilação cruzada, onde em um exercício de comparação dos dois modelos, comprovou-se que a renovação de ar por ventilação cruzada é 3,5 vezes maior que a ventilação unilateral, e indica também que uma fonte interna de calor pode influenciar o perfil da velocidade do ar, dentro do ambiente, e, conseqüentemente, no perfil da temperatura (SOUZA; RODRIGUES, 2012).

Porém, tão importante quanto o sistema de ventilação natural que será utilizado, é a eficiência do sistema como um todo quanto ao tipo de captador que pode ser previsto em projeto quanto a sua eficiência, e assim, garantindo o funcionamento adequado, tanto quando houver ventos fracos e/ou fortes, devendo ser levado em consideração a qualidade aerodinâmica do elemento captador (SANCHEZ et al., 2012).

Figura 8 - Corte esquemático de uma chaminé solar inclinada.



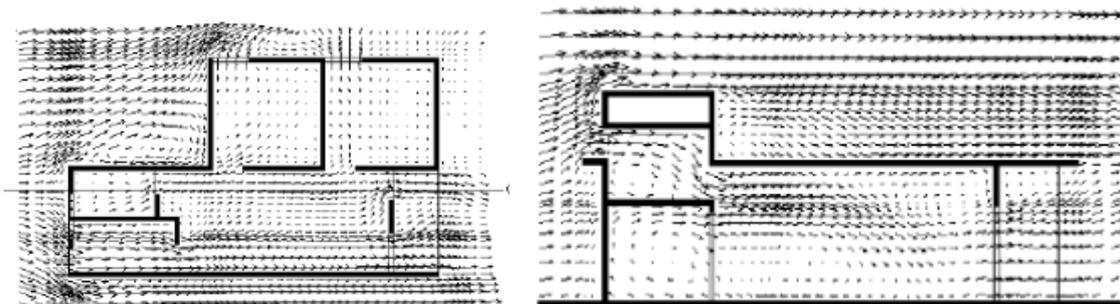
Fonte: NEVES; RORIZ (2012, p. 179).

Com testes realizados para o Nordeste Brasileiro, especificamente para a cidade de Maceió/AL, Lôbo e Bittencourt (2003) apontam a possibilidade de

utilização de captadores/torre de vento em habitações localizadas em climas quentes e úmidos nas regiões mais quentes do Brasil, destacando que este método é utilizado amplamente em regiões desérticas de diversos países, como Irã. Os pesquisadores também salientam que os captadores de vento poderiam ser facilmente adaptados as volumetrias compostas pelos reservatórios superiores, que necessitam de altura considerável para funcionarem adequadamente, sobrando assim espaço livre abaixo deles, para que se possa executar pontos de captação de ventilação natural. Assim, Lôbo e Bittencourt selecionaram edificações populares, transcrevendo os projetos para o computador, e fazendo simulações tridimensionais com o auxílio de tecnologia CFD (Figura 9), onde nas volumetrias dos reservatórios superiores, aplicaram então os captadores de ventilação. Destacam que em alguns ambientes das edificações testadas o incremento de ventilação foi de 100%, e salientam:

Verificou-se que o uso de captadores de vento, posicionados adequadamente em relação aos ventos dominantes, pode gerar um aumento significativo de ventilação natural em de climas quentes e úmidos, chegando a dobrar a velocidade média do fluxo de ar em alguns ambientes, acelerando, assim, as trocas de calor entre o ar e o corpo humano. Esse benefícios são alcançados sem custos adicionais importantes, uma vez que os referidos catadores se constituem em adaptações as torres de caixas d'água já existentes nas edificações examinadas. Melhores resultados poderão ser obtidos em projetos arquitetônicos que considerem a implantação desses dispositivos, em conjunto com as demais aberturas, de forma a explorar ao máximo o potencial dos mesmos para promover uma adequada ventilação nos espaços projetados. (LÔBO; BITTENCOURT, 2003, p. 66)

Figura 9 – Representação em Planta Baixa e Corte de Simulação de Torre de Vento em CFD.



Fonte: LÔBO; BITTENCOURT (2003, p. 64)

Em estudo apresentado por Rupp e Ghisi (2013), salienta-se que a utilização de ventilação natural pode acarretar em uma economia de energia elétrica de

31,9%, dependendo do modelo de abertura, localização da edificação, e a orientação sendo para norte, em estudo realizados em edifícios comerciais localizados em Florianópolis, SC. (RUPP; GHISI, 2013).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Implantação dos Protótipos

A coleta de dados foi desenvolvida em quatro protótipos executados em escala 1:1, com características similares a edificações executadas na região em estudo. Mensurou-se variáveis de temperatura, umidade relativa do ar, e velocidade e direção do vento. Verificou-se se a obtenção da temperatura de conforto do ambiente construído, através de medições realizadas nos protótipos localizados nas proximidades do prédio 17 da UNIVATES, na cidade de Lajeado/RS (Figura 10), com latitude $29^{\circ}26'55''\text{S}$ e longitude $51^{\circ}56'42''\text{W}$, altitude de 44 metros, e dados já apresentados em bibliografias da área técnica.

Figura 10 – Localização dos protótipos.



Fonte: Elaborado por Spinelli (2015), a partir de Google Earth, satélite LANDSAT-8 (2014).

3.2 Coleta dos Dados

Os dados climáticos regionais, foram coletados juntamente ao CIH, que utiliza a estação meteorológica localizada na cobertura do prédio cinco do campus da UNIVATES - Lajeado / RS, cujas coordenadas geográficas são latitude 29°29'13"S, longitude 51°59'50"W, altitude de 85 metros, modelo Vantage Pro 2 wireless, instalada no ano de 2003, e fabricada por Davis Instrumentos (Figura 11 e Figura 12). Foram mensurados os dados de temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, ocorridos durante todos os dias dos anos de 2010 a 2014, com intervalo de 30 minutos entre cada medição, das 0h à 0h30min, 1h às 1h30, completando 24h (Tabela 2), e no ano de 2015, meses de janeiro, fevereiro e março.

Tabela 2 – Modelo de Medições CIH

Data	Hora	Umidade (%)	Vel. Máx. vento (km/h)	Direção predominante do vento
01/01/11	00:00	77	9.7	S
01/01/11	0:30	78	9.7	S
01/01/11	1:00	79	9.7	S
01/01/11	1:30	80	8.0	SSE
01/01/11	2:00	81	9.7	SSE
01/01/11	2:30	83	9.7	SSE
01/01/11	3:00	84	11.3	S
01/01/11	3:30	84	9.7	SSE
01/01/11	4:00	84	8.0	E
01/01/11	4:30	84	8.0	ESE

Fonte: CIH (2014).

Os dados coletados junto aos protótipos foram instalados três componentes distintos:

- a) Estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080 (Figura 13), para coleta de dados de temperatura local, velocidade e direção de vento, e pluviosidade. Optou-se pela instalação de uma estação meteorológica no local, devido às diferenças de altitude da estação do CIH, e do relevo local, para assim, buscar dados mais aproximados do vento.
- b) Para a coleta dos dados no interior dos protótipos, foi desenvolvido

um equipamento, utilizando sensores de temperatura e umidade do tipo DHT03, e conectados a um Arduino⁸, fabricante Uno (Figura 14). A sua programação foi desenvolvida com linguagem C/C++, e os dados armazenados em um cartão de memória SD, no formato de arquivo TXT, e posteriormente convertidos para planilha eletrônica;

- c) Foram utilizados sensores de temperatura do tipo PT 100, conectados a um equipamento Data Logger, juntamente com o transmissor USB-i485, todos fabricados pela Novus (Figura 15), em paralelo ao sistema desenvolvido com o Arduino, em caso de ocorrência de falhas, porém, apenas para medição de temperatura do ar externo e interno.

Sensores do tipo DHT03 e PT100 foram instalados em cinco pontos para medição dos dados: internamente nos quatro protótipos, e externamente protegido de chuva e vento direto, junto ao Protótipo 2. Os dados mensurados pelos sensores instalados nos protótipos, e pela estação meteorológica foram: 1) Temperatura e umidade relativa externa nos protótipos, e protegidos das intempéries e fortes rajadas de ventos; 2) Temperatura e umidade relativa interna em cada protótipo, suspensos a um metro de altura do piso; 3) Velocidade e direção do vento no período, e no local de distribuição, e foram armazenados em planilhas eletrônicas para serem analisados. Os equipamentos foram sincronizados por data e hora, para assim haver fidelidade na comparação dos dados e poder comparar a análise de temperatura interna com a velocidade e direção de vento no momento de atuação junto aos protótipos.

Para os protótipos três e quatro, os dados coletados formaram um quadro comparativo, onde o sistema de aspersão de água utilizado no Protótipo 4 pode-se tornar o sistema de Captação por Torre de Vento, mais eficiente que o sistema sem aspersão de água, conforme do Protótipo 3.

⁸ Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele (Figura 1.1). O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (McROBERTS, 2011).

Figura 11 – Estação Meteorológica da UNIVATES.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 12 – Painel de comando da Estação Meteorológica UNIVATES.



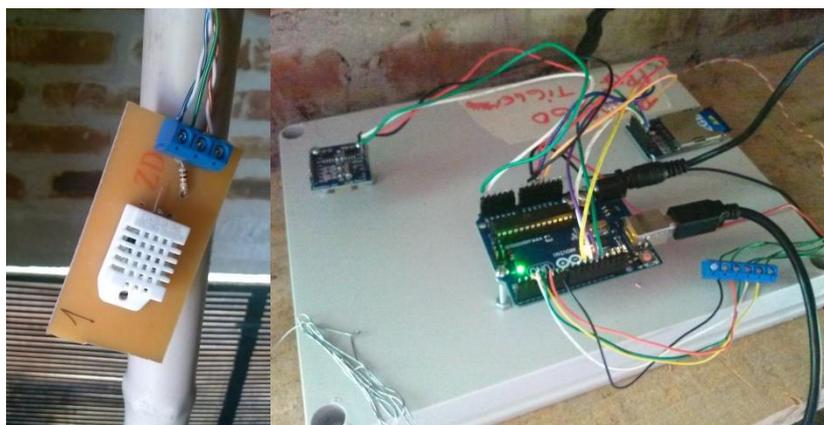
Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 13 – Estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080, e painel de leitura de dados coletados.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 14 – Sensor de temperatura e umidade relativa DHT03, e Arduino Uno.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 15 – Sensor modelo PT 100, equipamento Data Logger, e USB-i485.



Fonte: SPINELLI (2014).

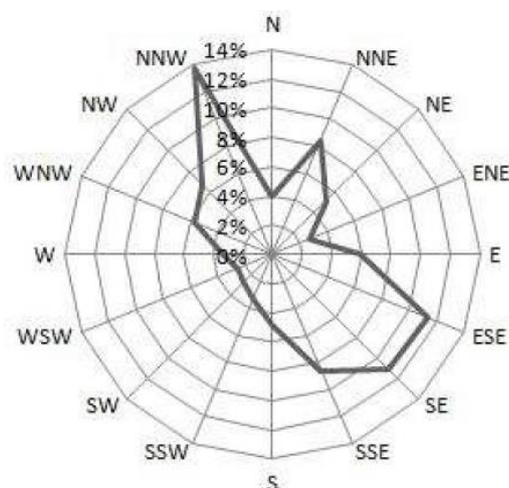
3.3 Padrão de Ventos Local

Segundo Machado apud TOMASINI (2011),

em estudo sobre o clima do RS verificou que, para todas as regiões climáticas do Estado do Rio Grande do Sul, direção predominante dos ventos é de quadrante leste: NE, L e SE.

TOMASINI (2011) revisa o padrão de ventos para a cidade de Lajeado/RS, com dados coletados na estação meteorológica da UNIVATES para o período que abrange os anos de 2003 a 2010, apresentou uma predominância de ventos NNW de 13,79% de ocorrência, ESE de 11,28%, e NNE de 11,03%, aplicado os percentuais na rosa dos ventos (Figura 16). O Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014) apresenta como direções predominantes de vento para a região da cidade de Lajeado, a predominância de direção NNE, N, LSE, SE e SSE. (Figura 17). Salienta-se que o Atlas não indica percentuais de predominância, apenas as direções com mais intensidade.

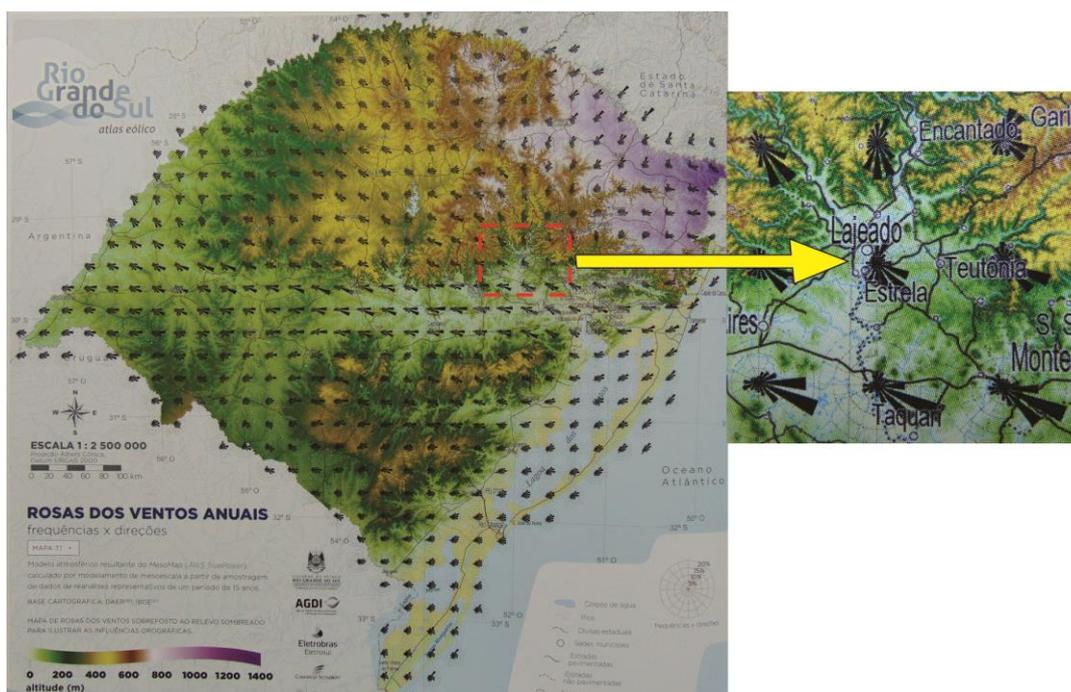
Figura 16 – Padrão de Ventos Lajeado/RS, período relativo aos anos 2003 a 2010.



OBS.: % de predominância de ocorrência de vento.

Fonte: Tomasini (2011, p. 31).

Figura 17 – Mapa do Rio Grande do Sul com predominância de vento.



Fonte: Elaborado por Spinelli (2015), a partir de ATLAS eólico (2014, p.68).

3.4 Projeto dos Protótipos

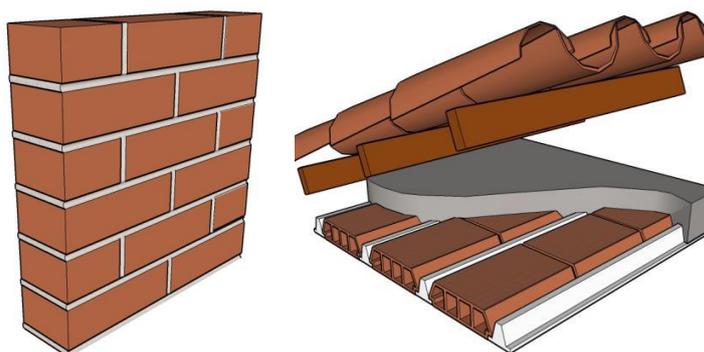
Os protótipos desenvolvidos para a coleta dos dados, e que utilizam os sistemas de captação de ventilação, foram executados em alvenaria. Optou-se por esta modalidade de edificação, pois, em grande parte dos estudos já desenvolvidos por Mazon et al. (2006), e Lôbo e Bittencourt (2003), utilizaram como parâmetro a

simulação por computador, através do software de CFD, com poucos dados coletados em escala real. A coleta e distribuição de ventilação natural ocorreu por meio de vãos nas alvenarias de 1,00 x 0,50 m (base x altura).

Segundo o zoneamento bioclimático brasileiro apresentado na NBR 15220-3 (2005), a cidade de Lajeado/RS está localizada na Zona Bioclimática 2, em que se destaca a utilização das estratégias: 1) Vedações externas: paredes com alvenarias de materiais leves, e cobertura leve e isolada; 2) Aberturas com dimensões médias para ventilação natural, e protegidas da radiação solar em período de verão, captando sol para o ambiente interno no inverno. Estratégias nem sempre utilizadas, principalmente referente as alvenarias.

Assim, quanto à materialidade dos protótipos, as alvenarias foram executadas em blocos cerâmicos maciços, sem aplicação de reboco e pintura, laje com sistema pré-moldado (vigota e tavela cerâmica), e a cobertura com instalação de telha cerâmica na face externa (sem camada de ar), todos elementos utilizados comercialmente em larga escala na região (Figura 18). Os vão de captação e distribuição de ventilação receberam grelhas fabricadas em compensado naval com proteção plástica, com frisos de três milímetros de espessura, espaçados a cada dois centímetros. As portas para os acessos foram executadas em chapas de OSB.

Figura 18 – Materiais utilizados na execução dos protótipos.



Bloco cerâmico maciço. Laje sistema vigota-tavela e telha cerâmica.

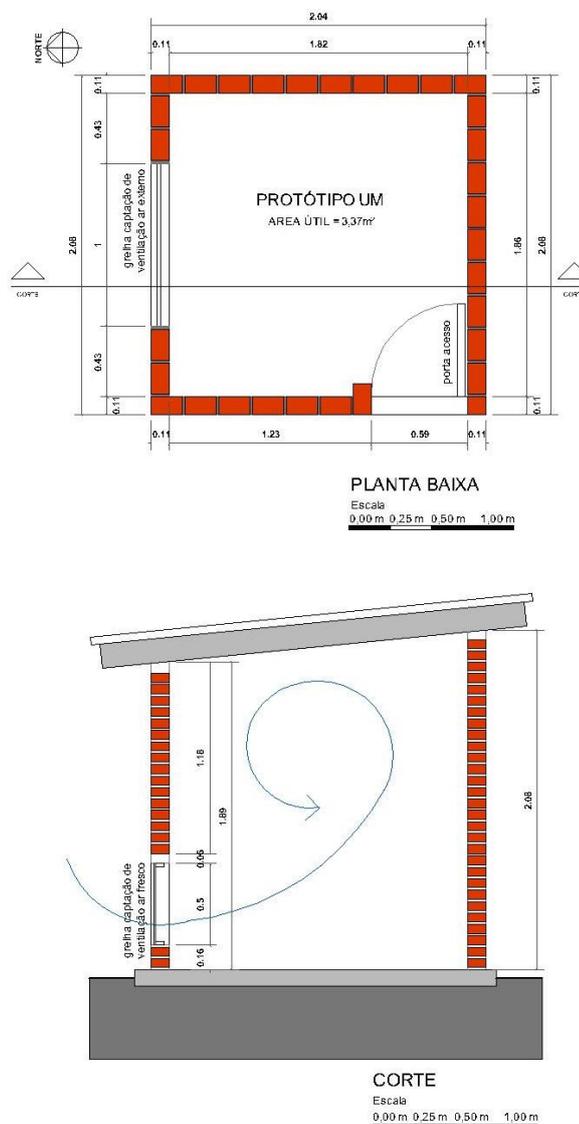
Fonte: Anexo Geral V - Portaria INMETRO Nº 50 / 2013.

Os protótipos estão denominados conforme a característica de captação de ventilação natural: 1) Protótipo 1 – sem sistema de distribuição de ventilação (Figura 19); 2) Protótipo 2 – distribuição de ventilação por efeito chaminé (Figura 20); 3) Protótipo 3 - distribuição de ventilação por efeito de torre de vento (Figura 21); 4)

Protótipo 4 - distribuição de ventilação por efeito de torre de vento com aspersão de água (Figura 22). O Protótipo 1 serve como modelo de edificação sem sistema de distribuição de ventilação natural, e assim, fornecerá dados referenciais de construções atualmente produzidas em larga escala, na região onde se desenvolveu o estudo.

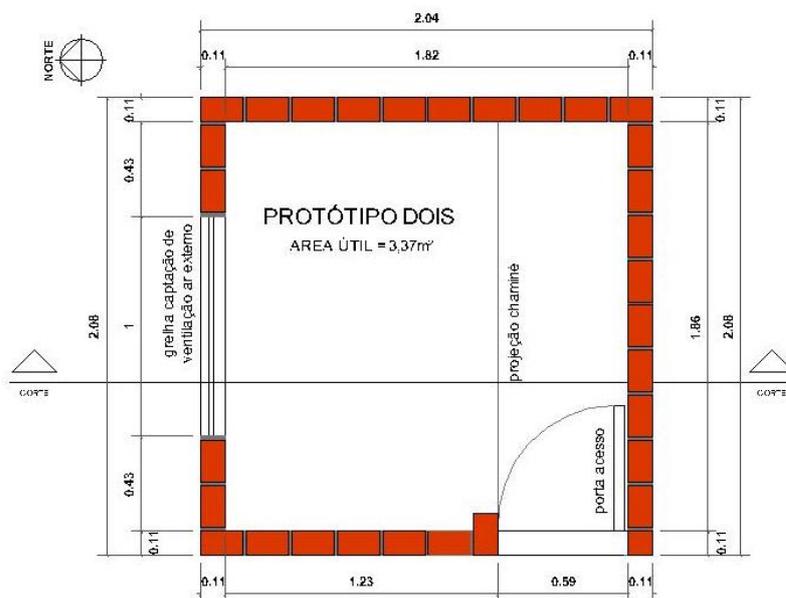
Os protótipos foram posicionados levando-se em conta a orientação solar, sendo assim todas as fachadas frontais posicionadas para norte, fazendo com que a distribuição de luz natural e radiação solar tenham distribuição idêntica em todas as fachadas dos quatro protótipos.

Figura 19 – Projeto Arquitetônico Protótipo 1 – sem sistema de distribuição de ventilação natural.



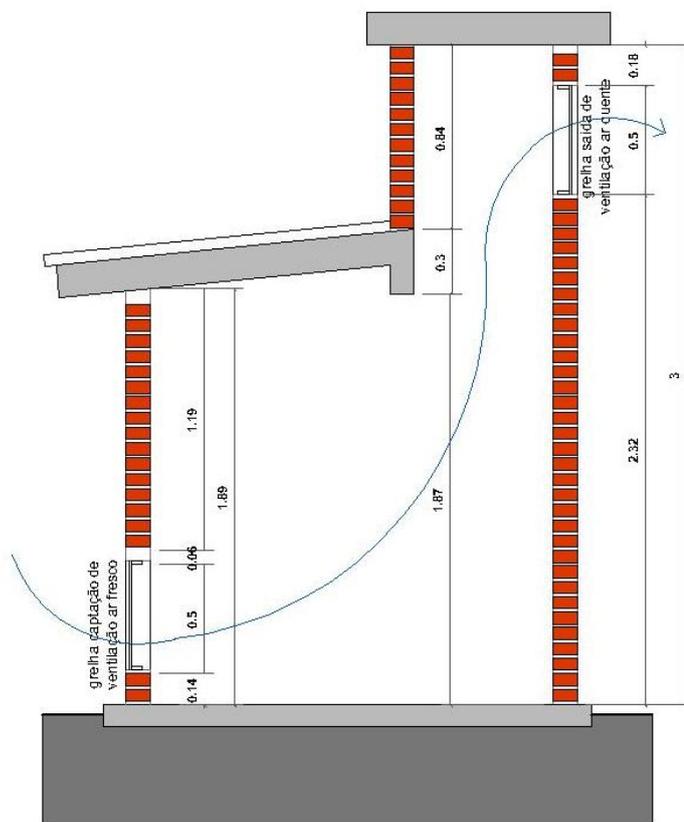
Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 20 – Projeto Arquitetônico Protótipo 2 – distribuição de ventilação natural por efeito chaminé.



PLANTA BAIXA

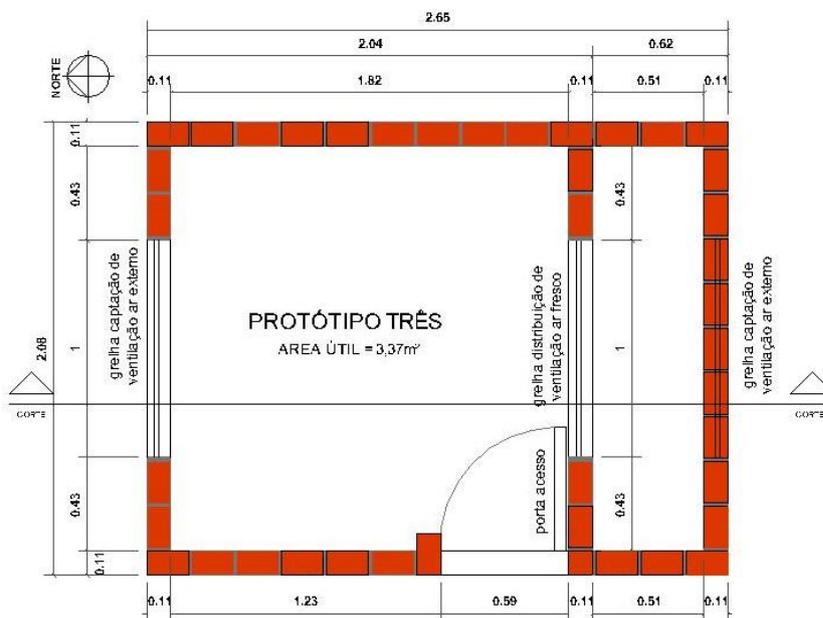
Escala
0,00 m 0,25 m 0,50 m 1,00 m



CORTE

Escala
0,00 m 0,25 m 0,50 m 1,00 m

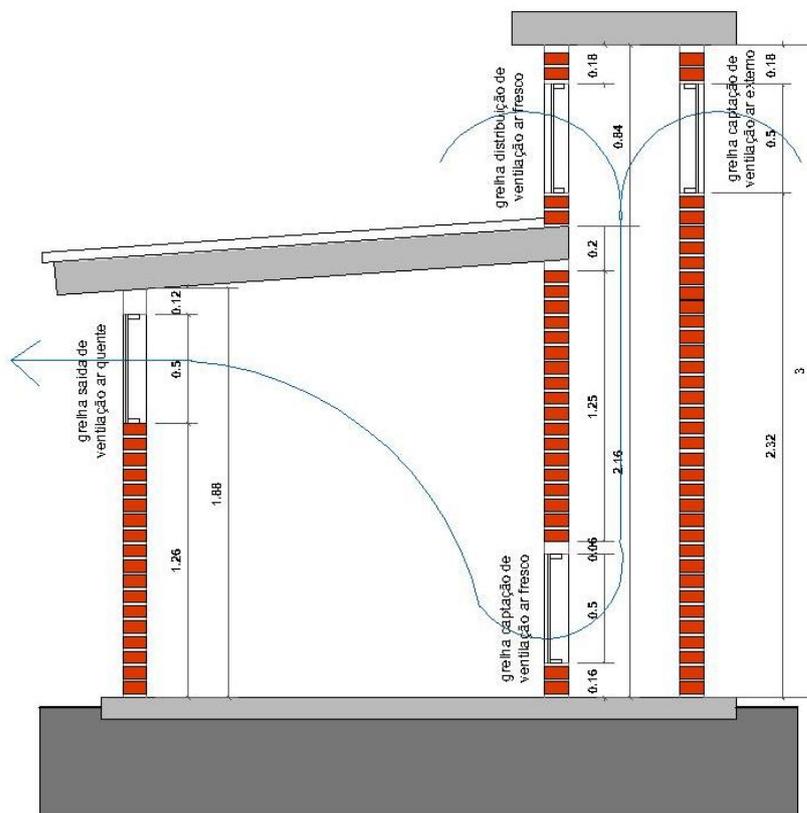
Figura 21 – Projeto Arquitetônico Protótipo 3 - distribuição de ventilação natural por efeito de torre de vento.



PROTÓTIPO TRÊS
AREA ÚTIL = 3,37m²

PLANTA BAIXA

Escala
0,00 m 0,25 m 0,50 m 1,00 m



CORTE

Escala
0,00 m 0,25 m 0,50 m 1,00 m

3.5 Execução dos Protótipos

Os protótipos foram executados de forma tradicional, com mão de obra local. Inicialmente foram executadas as fundações, um radier⁹, com o preparo do terreno utilizando ferramentas manuais. Foram utilizadas formas em madeira de reflorestamento (Figura 23), armadura de tela em aço CA-60 nervurado de 3,4 mm com espaçamento de 20 cm entre as barras, e concreto usinado com resistência de 13 MPa¹⁰ (Figura 24).

Figura 23 – Execução das fundações.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 24– Concretagem das fundações.



Fonte: SPINELLI (2014).

⁹ O radier é um tipo de fundação superficial ou direta que distribui todas as cargas da edificação uniformemente ao solo. São uma base executada em concreto armado, feita sobre o solo. (VELOSO; LOPPES, 2012).

¹⁰ Mega Pascal (MPa) é a medida de resistência utilizada para o cimento. Como unidade de conversão utiliza-se a igualdade: 01Mpa = 10 kgf/cm² (quilogramas força por cm²). Na prática, por exemplo, isso significa que um cimento que possui 32 Mpa resiste a até 320 kgf/cm². (VELOSO; LOPPES, 2012). Para o caso das fundações dos protótipos, a resistência do concreto utilizado nos raders são de 13MPa resiste até 130 kgf/cm².

Após o processo de cura das fundações, foi executada a impermeabilização da superfície com aplicação de três camadas de Hidroasfalto Líquido, com composição básica de Emulsão asfáltica modificada com elastômeros. Este foi aplicado para que não ocorresse a infiltração de umidade em excesso para dentro dos protótipos, e não interferisse nos dados a serem levantados no interior de cada protótipo. Com a impermeabilização finalizada, foi iniciada a demarcação e posicionamento dos blocos cerâmicos, para nivelamento e início da execução das alvenarias (Figura 25).

Para a execução das alvenarias foi utilizado massa de assentamento com traço convencional, de uma porção de cimento, para três porções areia, e duas de água. Para haver segurança estrutural nos vãos onde ocorre a captação e distribuição de ventilação natural e portas de acesso, foram executadas vergas em concreto armado, tornando a estrutura das alvenarias segura (Figura 26).

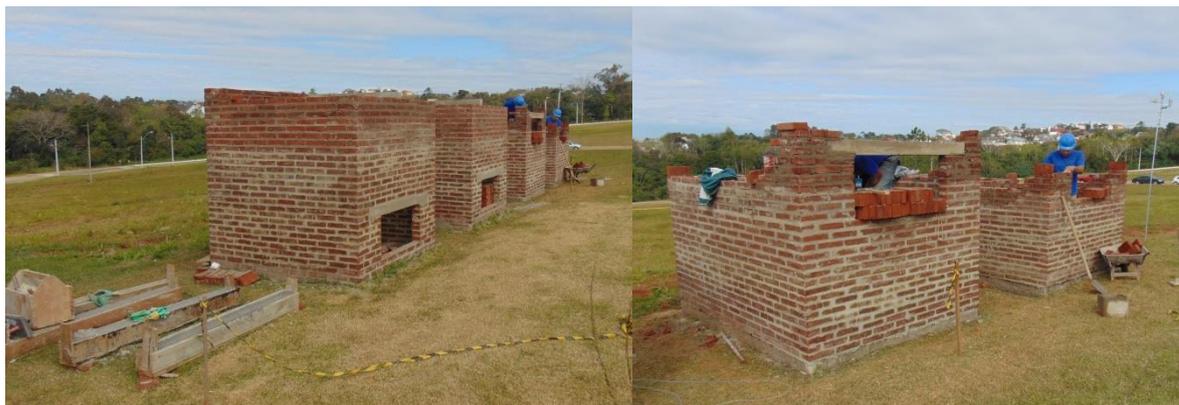
Com a finalização da base em alvenarias dos protótipos, a laje foi executada apoiando as vigotas e tabelas no perímetro dos protótipos um, três e quatro, e no Protótipo 2 foi construída uma viga para apoio e execução da alvenaria de captação de ventilação natural (Figura 27). Com a conclusão das lajes de coberturas, foram executadas as torres de captação e distribuição de ventilação natural, e o seu fechamento em laje em concreto armado, preparado *in loco*, com resistência de 13 MPa, e armadura de tela em aço CA-60 Nervurado de 3,4 mm com espaçamento de 20 cm entre as barras.

Figura 25 – Aplicação de impermeabilizante e execução de alvenarias.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 26 – Execução de alvenarias e vergas.



Fonte: SPINELLI (2014).

No Protótipo 4 foram instalados aspersores de água, com tubulação de PVC rígido soldável de 6,00 mm, e conectada com uma torneira de jardim instalada próxima aos protótipos através de uma mangueira rígida. A mangueira foi protegida pela vegetação do solo, para que ela mantivesse a temperatura da água inferior a temperatura do ar, e não aquecer com a radiação solar durante o dia. Dentro do duto de ventilação do Protótipo 4 foi prevista a instalação de três pontos para instalação de aspersores, mas os testes iniciais comprovaram que a abrangência de apenas um aspersor instalado seria suficiente para a dimensão do duto de ventilação natural, e assim não haveria consumo em excesso de água (Figura 28). Foi instalado um ponto de saída da água resultante do processo de aspersão, para assim não gerar alto índice de umidade relativa do ar no interior do Protótipo 4. Ao término da execução da obra civil, foram fixadas as grelhas fabricadas em compensado naval, nos vãos de captação e distribuição de ventilação natural. Nos acessos dos protótipos, foram instaladas as portas executas em chapas de OSB (Figura 29).

Figura 27 – Execução das lajes.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 28 – Sistema de aspersão Protótipo 4.



Fonte: SPINELLI (2014).

Os equipamentos eletrônicos foram posicionados dentro do Protótipo 2, onde foi instalado um ponto de energia. No período das medições de teste dos equipamentos, verificou-se que ocorreram períodos de desligamento da energia, em períodos maiores de duas horas em alguns momentos. Devido à fragilidade dos equipamentos, e para não ocorrer perda de dados, foi instalado no local um *no break*, para manter em operação todos os equipamentos mesmo com ausência de energia elétrica (Figura 30).

Figura 29 – Protótipos Finalizados e grelhas instaladas.



Fonte: SPINELLI (2014).

Com dados já mensurados para os períodos de novembro, dezembro/2014, e janeiro/2015, no mês de fevereiro foram instalados nos Protótipos Três e Quatro, no espaço livre entre a laje e as telhas cerâmicas, chapas de isopor (EPS) de 20,00 mm de espessura, buscando um melhor isolamento térmico da cobertura, e assim verificar uma possibilidade de ocorrência de melhora na eficiência do sistema de

ventilação natural (Figura 31).

Figura 30 – *No break*.



Fonte: SPINELLI (2014).

Figura 31– Instalação de Chapas de isopor na cobertura.



Fonte: SPINELLI (2015).

4 ANÁLISES, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão da execução dos protótipos, e dos testes iniciais dos equipamentos, o levantamento dos dados oficiais, iniciou no primeiro dia de novembro/2014, período em que se inicia a ocorrência de temperaturas mais elevadas, conforme Tabela 3. As medições permaneceram sendo efetuadas em dezembro, salientando que no dia 22 ocorre o solstício de verão, até o último dia do mês de março/2015, mês em que se inicia o período do outono, equinócio com início em 20 de março, optando-se fazer o levantamento de dados até o fim deste mês, por haver ocorrência de períodos quentes ainda no início do outono.

Tabela 3 – Temperaturas médias mensais para cidade de Lajeado/RS – 2010/2014.

MÊS	ANO				
	2010	2011	2012	2013	2014
Jan	24,9	25,9	24,7	23,9	26,7
Fev	26,1	24,5	26,3	24,4	26,0
Mar	23,7	22,7	23,4	21,5	23,3
Abr	19,8	20,2	19,4	20,3	21,1
Mai	16,6	16,3	18,3	16,8	17,0
Jun	15,0	13,7	14,9	15,3	15,8
Jul	14,6	13,2	13,2	14,4	16,0
Ago	14,8	14,9	19,8	14,3	17,1
Set	17,7	17,3	-	17,9	19,3
Out	18,4	19,9	-	20,1	21,8
Nov	21,1	22,2	23,4	23,5	23,7
Dez	23,7	23,1	25,4	25,4	24,6

OBS.1.: Os meses com o símbolo (-) estão sem dados, pois a estação meteorológica CIH estava em manutenção; OBS.2: Unidade das médias em °C.

Fonte: CIH (2015).

Optou-se por elaborar uma revisão do padrão de ventos para este estudo, a partir dos dados coletado pelo CIH, assim analisou-se o padrão de ventos para os anos de 2010 a 2014. Foram mais de 16.000 (dezesesseis mil) medições para cada ano. Para o cálculo utilizou-se a expressão:

$$f(x) = \frac{n}{N} \cdot 100$$

onde,

$f(x)$: frequência de ocorrência de vento em uma determinada direção;

n : número de ocorrências de uma determinada direção;

N : número total de ocorrências coletadas.

Todos esses dados foram separados e contados com a utilização de planilha eletrônica, e calculados os percentuais de ocorrência para cada orientação em relação às estações de cada ano (verão, outono, inverno e primavera), e a respectiva média anual (Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8).

Tabela 4 – Amostragem direção de ventos ano 2010.

2010									
ORIENTAÇÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO	
		OCORRÊNCIAS POR PERÍODO	%						
LESTE	L	195,00	5%	236,00	5%	181,00	4%	256,00	6%
LESTE-NORDESTE	LNE	138,00	3%	190,00	4%	96,00	2%	168,00	4%
LESTE-SUDESTE	LSE	434,00	10%	367,00	8%	519,00	12%	568,00	14%
NORTE	N	187,00	4%	301,00	7%	155,00	4%	248,00	6%
NORDESTE	NE	475,00	11%	400,00	9%	200,00	5%	336,00	8%
NORTE-NORDESTE	NNE	312,00	7%	417,00	10%	162,00	4%	309,00	7%
NORTE-NOROESTE	NNO	343,00	8%	352,00	8%	238,00	6%	265,00	6%
NOROESTE	NO	324,00	8%	338,00	8%	237,00	6%	265,00	6%
SUL	S	258,00	6%	191,00	4%	356,00	8%	227,00	5%
SUDESTE	SE	434,00	10%	439,00	10%	649,00	15%	577,00	14%
SUL-SUDESTE	SSE	413,00	10%	269,00	6%	538,00	13%	380,00	9%
SUL-SUDOESTE	SSO	165,00	4%	171,00	4%	203,00	5%	88,00	2%
SUDOESTE	SO	209,00	5%	185,00	4%	178,00	4%	122,00	3%
OESTE	O	128,00	3%	127,00	3%	128,00	3%	84,00	2%
OESTE-NOROESTE	ONO	143,00	3%	168,00	4%	168,00	4%	148,00	4%
OESTE-SUDOESTE	OSO	160,00	4%	213,00	5%	191,00	5%	94,00	2%

Fonte: SPINELLI (2014).

Tabela 5 – Amostragem direção de ventos ano 2011.

2011									
ORIENTAÇÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO	
		OCORRÊNCIAS POR PERÍODO	%						
LESTE	L	162,00	4%	145,00	3%	202,00	5%	245,00	6%
LESTE-NORDESTE	LNE	186,00	4%	130,00	3%	130,00	3%	119,00	3%
LESTE-SUDESTE	LSE	395,00	9%	436,00	10%	511,00	12%	678,00	16%
NORTE	N	282,00	7%	233,00	5%	165,00	4%	129,00	3%
NORDESTE	NE	464,00	11%	319,00	7%	234,00	6%	180,00	4%
NORTE-NORDESTE	NNE	384,00	9%	392,00	9%	168,00	4%	159,00	4%
NORTE-NOROESTE	NNO	577,00	13%	382,00	9%	300,00	7%	178,00	4%
NOROESTE	NO	348,00	8%	346,00	8%	240,00	6%	243,00	6%
SUL	S	185,00	4%	214,00	5%	316,00	8%	259,00	6%
SUDESTE	SE	443,00	10%	488,00	11%	641,00	15%	829,00	20%
SUL-SUDESTE	SSE	312,00	7%	431,00	10%	520,00	12%	594,00	14%
SUL-SUDOESTE	SSO	119,00	3%	149,00	3%	150,00	4%	116,00	3%
SUDOESTE	SO	134,00	3%	196,00	4%	166,00	4%	138,00	3%
OESTE	O	119,00	3%	141,00	3%	116,00	3%	103,00	2%
OESTE-NOROESTE	ONO	121,00	3%	212,00	5%	151,00	4%	131,00	3%
OESTE-SUDOESTE	OSO	94,00	2%	187,00	4%	169,00	4%	88,00	2%

Fonte: SPINELLI (2014).

Tabela 6 – Amostragem direção de ventos ano 2012.

2012									
ORIENTAÇÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO	
		OCORRÊNCIAS POR PERÍODO	%						
LESTE	L	144,00	3%	142,00	4%	538,00	7%	209,00	5%
LESTE-NORDESTE	LNE	149,00	3%	144,00	4%	234,00	3%	140,00	3%
LESTE-SUDESTE	LSE	316,00	7%	309,00	9%	1057,00	14%	499,00	12%
NORTE	N	295,00	7%	276,00	8%	239,00	3%	220,00	5%
NORDESTE	NE	243,00	6%	326,00	9%	289,00	4%	322,00	8%
NORTE-NORDESTE	NNE	268,00	6%	349,00	10%	407,00	5%	254,00	6%
NORTE-NOROESTE	NNO	584,00	14%	365,00	11%	394,00	5%	322,00	8%
NOROESTE	NO	540,00	13%	241,00	7%	1257,00	16%	335,00	8%
SUL	S	242,00	6%	195,00	6%	161,00	2%	225,00	5%
SUDESTE	SE	404,00	9%	350,00	10%	919,00	12%	582,00	14%
SUL-SUDESTE	SSE	443,00	10%	284,00	8%	289,00	4%	493,00	12%
SUL-SUDOESTE	SSO	79,00	2%	92,00	3%	128,00	2%	102,00	2%
SUDOESTE	SO	152,00	4%	59,00	2%	201,00	3%	82,00	2%
OESTE	O	118,00	3%	91,00	3%	329,00	4%	71,00	2%
OESTE-NOROESTE	ONO	151,00	4%	85,00	2%	981,00	13%	129,00	3%
OESTE-SUDOESTE	OSO	147,00	3%	131,00	4%	225,00	3%	116,00	3%

Fonte: SPINELLI (2014).

Tabela 7 – Amostragem direção de ventos ano 2013.

2013									
ORIENTAÇÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO	
		OCORRÊNCIAS POR PERÍODO	%						
LESTE	L	271,00	6%	294,00	7%	351,00	8%	409,00	11%
LESTE-NORDESTE	LNE	156,00	4%	144,00	3%	163,00	4%	124,00	3%
LESTE-SUDESTE	LSE	263,00	6%	227,00	5%	481,00	11%	497,00	14%
NORTE	N	172,00	4%	285,00	6%	182,00	4%	143,00	4%
NORDESTE	NE	305,00	7%	356,00	8%	289,00	7%	227,00	6%
NORTE-NORDESTE	NNE	326,00	7%	380,00	8%	239,00	6%	252,00	7%
NORTE-NOROESTE	NNO	319,00	7%	290,00	6%	148,00	3%	172,00	5%
NOROESTE	NO	702,00	16%	622,00	14%	310,00	7%	355,00	10%
SUL	S	217,00	5%	211,00	5%	231,00	5%	118,00	3%
SUDESTE	SE	316,00	7%	313,00	7%	592,00	14%	563,00	15%
SUL-SUDESTE	SSE	272,00	6%	270,00	6%	403,00	9%	271,00	7%
SUL-SUDOESTE	SSO	123,00	3%	113,00	3%	109,00	3%	69,00	2%
SUDOESTE	SO	172,00	4%	140,00	3%	112,00	3%	94,00	3%
OESTE	O	233,00	5%	244,00	5%	202,00	5%	111,00	3%
OESTE-NOROESTE	ONO	358,00	8%	399,00	9%	203,00	5%	174,00	5%
OESTE-SUDOESTE	OSO	184,00	4%	218,00	5%	245,00	6%	90,00	2%

Fonte: SPINELLI (2014).

Tabela 8 – Amostragem direção de ventos ano 2014.

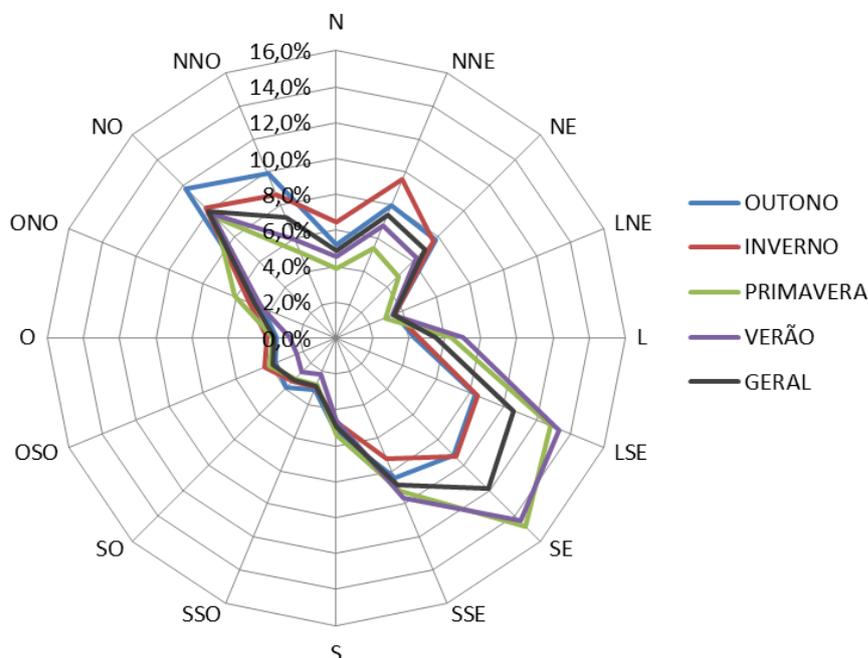
2014									
ORIENTAÇÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO	
		OCORRÊNCIAS POR PERÍODO	%						
LESTE	L	167,00	4%	156,00	3%	320,00	8%	282,00	7%
LESTE-NORDESTE	LNE	129,00	3%	121,00	3%	100,00	2%	134,00	3%
LESTE-SUDESTE	LSE	394,00	9%	442,00	10%	611,00	14%	456,00	11%
NORTE	N	188,00	4%	255,00	6%	183,00	4%	180,00	4%
NORDESTE	NE	192,00	4%	188,00	4%	136,00	3%	210,00	5%
NORTE-NORDESTE	NNE	456,00	10%	489,00	11%	353,00	8%	389,00	9%
NORTE-NOROESTE	NNO	322,00	7%	420,00	9%	172,00	4%	264,00	6%
NOROESTE	NO	651,00	15%	663,00	15%	524,00	12%	776,00	19%
SUL	S	240,00	5%	170,00	4%	141,00	3%	105,00	3%
SUDESTE	SE	398,00	9%	376,00	8%	742,00	17%	358,00	9%
SUL-SUDESTE	SSE	391,00	9%	282,00	6%	329,00	8%	225,00	5%
SUL-SUDOESTE	SSO	199,00	4%	106,00	2%	68,00	2%	66,00	2%
SUDOESTE	SO	179,00	4%	154,00	3%	109,00	3%	107,00	3%
OESTE	O	120,00	3%	222,00	5%	118,00	3%	148,00	4%
OESTE-NOROESTE	ONO	200,00	5%	284,00	6%	231,00	5%	332,00	8%
OESTE-SUDOESTE	OSO	208,00	5%	160,00	4%	120,00	3%	86,00	2%

Fonte: SPINELLI (2015).

Tabelados, e finalizada a análise dos dados disponibilizados pelo CIH, elaborou-se o Gráfico 1, com a configuração da rosa dos ventos, e se distribuiu os percentuais relativos a direção do vento, separado pelas estações do ano, e a distribuição média anual. Comparando-se os dados mensurados, com o levantamento de Tomasini (2011), e o mapa apresentado pelo ATLAS Eólico do Rio Grande do Sul (2014), confirma-se para a cidade de Lajeado a predominância a de ventos para as orientações NNO, NO, NNE, LSE e SE. Porém, para este estudo fica clara a mudança de direção de vento conforme as estações climáticas, onde outono e inverno há predominância para ventos NNO, NO, NNE, e nos períodos de verão e

primavera, o vento predominante de LSE e SE.

Gráfico 1 – Padrão de Ventos Lajeado/RS, período relativo aos anos 2010 a 2014.



OBS.: % de predominância de ocorrência de vento.

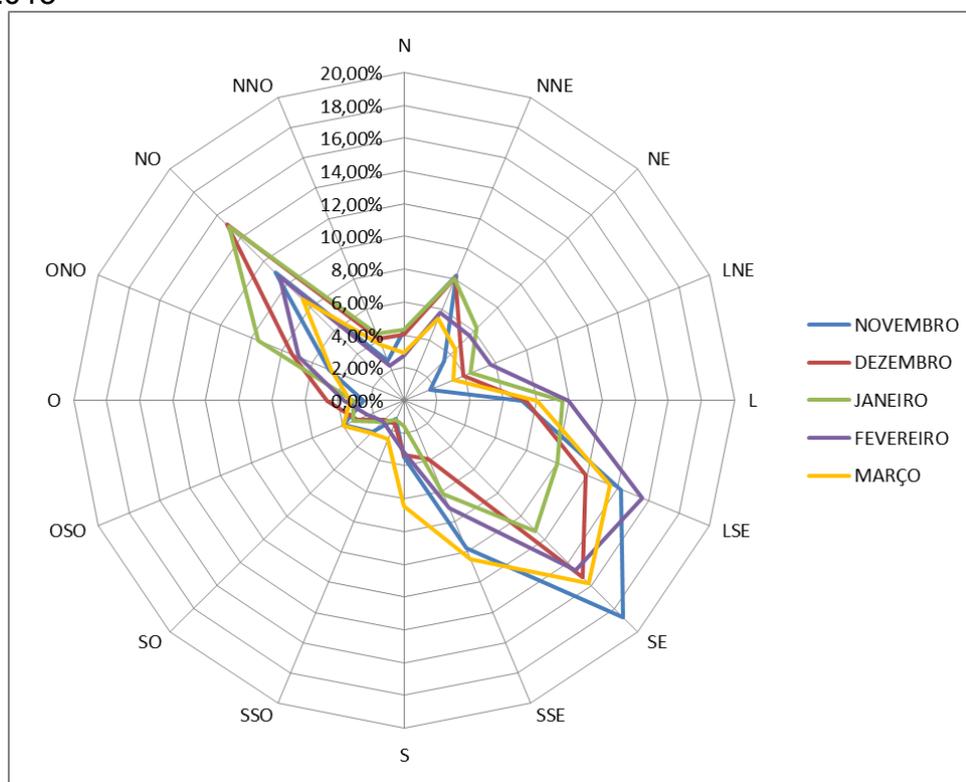
Fonte: Spinelli (2015).

A contagem separada por estações climáticas, gerando a carta de ventos qualificada possibilita uma ferramenta que auxilia na determinação de utilização de estratégias arquitetônicas diferentes para cada um dos períodos, tanto para coleta de ventilação natural em épocas de temperaturas elevadas, bem como para projetos de elementos de proteção de edificações em períodos de baixa temperatura, onde o vento frio não promove a retirada do calor interno de uma edificação, auxiliando na manutenção da temperatura de conforto (LAMBERTS et al., 2004).

Definido o período de medições, fez-se um comparativo da predominância de ocorrência de vento, mensurados pela estação do CIH, e os dados da estação meteorológica instalada junto aos protótipos. Verificou-se que os dados do CIH apresentam um comportamento padronizado, similar ao apresentado no Gráfico um, com uma distribuição mais abrangente do vento, destacando-se algumas predominâncias. O Gráfico dois apresenta-as: 1) novembro/2014 orientação SE (19%); 2) dezembro/2014 orientações LSE (12%), SE (15%) e NO (15%); 3) janeiro/2015 orientações L (10%), LSE (10%), SE (11%), ONO (10%) e NO (15%); 4) fevereiro/2015 orientações L (10%), LSE (16%), SE (15%) e NO (11%); e 5)

março/2015 orientações NO (8%), E (8%), LSE (13%), SE (16%) e SSE (11%) (Anexo 1).

Gráfico 2 – Padrão de Ventos Lajeado/RS (CIH), período novembro/2014 a março/2015



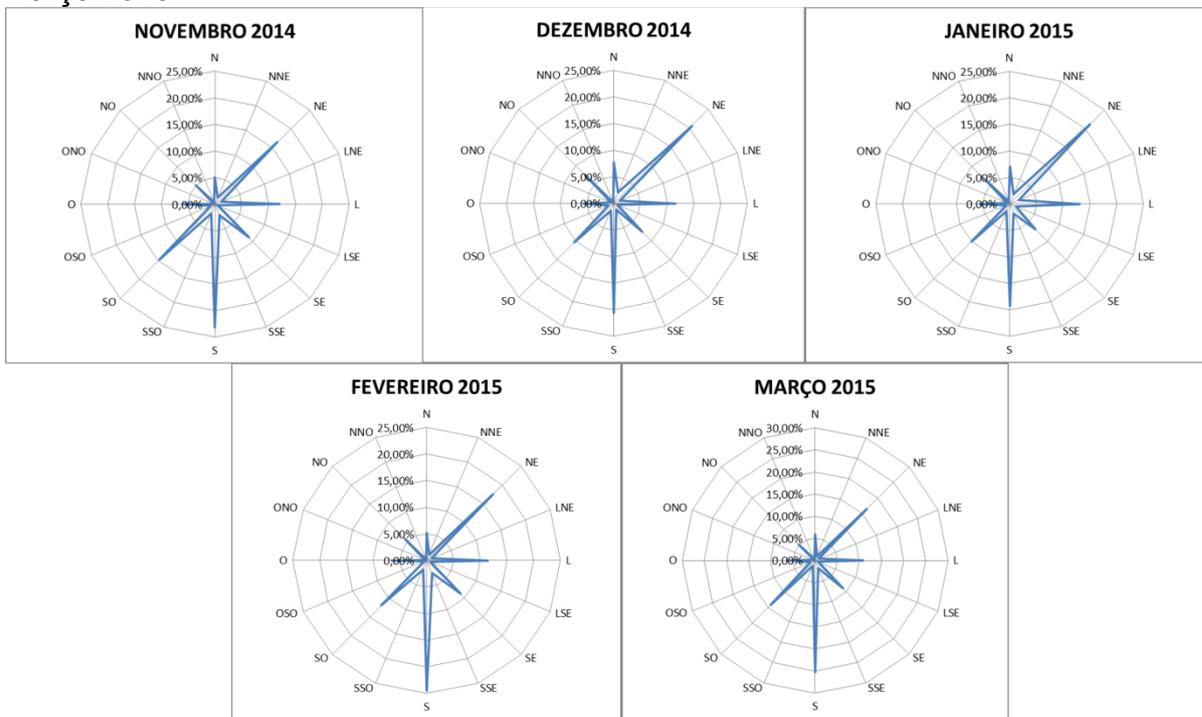
OBS.: % de predominância de ocorrência de vento.

Fonte: SPINELLI (2015).

Os dados mensurados pela estação meteorológica instalada no ponto de execução dos protótipos, verifica-se que não ocorre situação similar a apresentada nos Gráficos 1 e 2, certamente muito influenciado pela proximidade dos protótipos a uma área de vegetação (orientação S), a edificação da TECNOVATES (orientação SE, e aproximadamente 25,00m de altura), ao Prédio 17 e seu anexo, do campus da UNIVATES (orientação N, e aproximadamente 10,00m de altura), e o relevo do terreno que pode contribuir para o deslocamento de vento, e a altura que foi instalada a estação, que ficou na cota do ponto mais alto dos protótipos (3,00 m), sendo altura inferior a dos obstáculos próximos, mas fundamental para se verificar o funcionamento dos sistemas propostos (Figura 32). O Gráfico Três apresenta a forte predominância, para os cinco meses estudados, das orientações NE, L, S, SE e SO. As orientações LSE, NNO, ONO e OSO houve ocorrência de ventos inferiores a

1,00% (Anexo 2).

Gráfico 3 – Padrão de Ventos no Local dos Protótipos, período novembro/2014 a março/2015



OBS.: % de predominância de ocorrência de vento.

Fonte: SPINELLI (2015).

Figura 32 – Influência do entorno próximo dos protótipos na direção de ventos.



LEGENDA: ■ PROTÓTIPOS ● PRÉDIO 17 ● ANEXO PRÉDIO 17
● ESTACIONAMENTO ● TECNOVATES
➔ VENTOS PREDOMINANTES CIH (ESE, SE e NO)
➔ VENTOS PREDOMINANTES ESTAÇÃO PROTÓTIPOS (NE e S)

Fonte: Elaborado por Spinelli (2015), a partir de Google Earth, satélite LANDSAT-8 (2014).

Com problemas ocorridos no mês de novembro na operação do equipamento específico para o estudo (Arduino), foram utilizados os dados mensurados com a utilização do Data Logger, para assim não perder a possibilidade de análise no mês de temperatura elevada. Ao final do mês corrente o Arduino operou para um novo período de teste de 15 dias, e os dados mensurados de temperatura e umidade relativa do ar, foram utilizados a partir do mês de dezembro/2014. A Tabela 9 apresenta as médias de temperaturas externa e interna, e a Tabela 10 as médias de umidade relativa do ar externa e interna, comparando com os quatro protótipos. Ao se comparar os dados de temperatura externa com a Tabela 8, verifica-se que há proximidade nos valores analisados, mesmo com a utilização de equipamentos diferentes para efetuar as medições.

Tabela 9 – Médias de Temperaturas (°C) Externa e Interna, para o período de medições.

PERÍODO	TEMP. EXTERIOR	TEMP. PROTÓTIPO 1	TEMP. PROTÓTIPO 2	TEMP. PROTÓTIPO 3	TEMP. PROTÓTIPO 4
NOV/2014*	23,7	< 24,2 >	23,6	> 22,9 >	22,1
DEZ/2014	25,0	< 26,1 >	25,5	> 25,0 >	23,7
JAN/2015	26,0	< 27,0 >	26,5	> 26,0 >	25,2
FEV/2015	25,3	< 26,8 >	26,2	> 25,7 >	24,6
MAR/2015	24,8	< 26,5 >	25,8	> 25,5 >	24,3

OBS.: (*) período onde as medições foram efetuadas com o equipamento Data Logger.

Fonte: SPINELLI (2015).

Tabela 10 – Médias de Umidade Relativa do Ar Externa e Interna, para o período de medições.

PERÍODO	UMID. EXTERIOR	UMID. PROTÓTIPO 1	UMID. PROTÓTIPO 2	UMID. PROTÓTIPO 3	UMID. PROTÓTIPO 4
NOV/2014	75,77*	-	-	-	-
DEZ/2014	76,89	66,55	73,49	70,67	91,83
JAN/2015	77,41	69,32	75,49	73,40	91,88
FEV/2015	74,92	65,95	72,43	72,03	-
MAR/2015	74,37	60,43	68,00	68,16	-

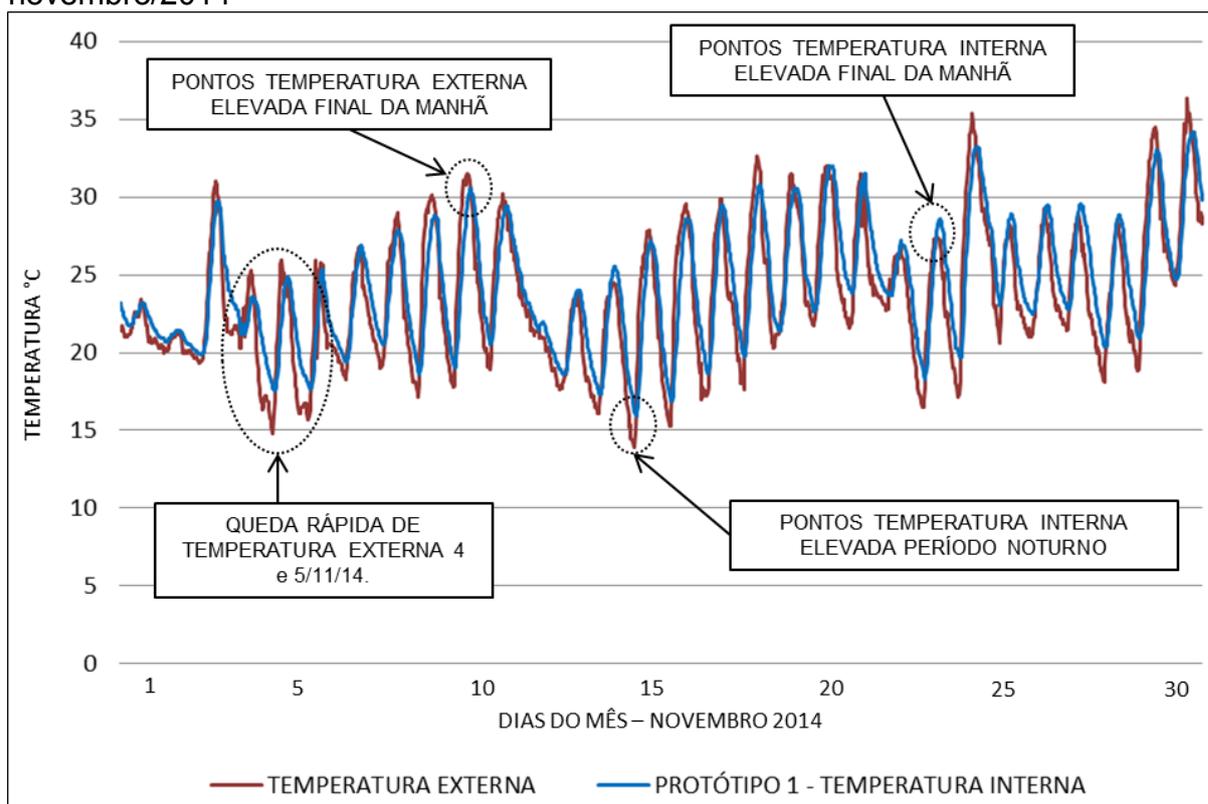
OBS.: (*) período onde a medição de umidade relativa do ar foi feita com a Estação Meteorológica Instrutemp ITWH-1080. Os meses com o símbolo (-) estão sem dados, pois os sensores DHT03 não estavam em operação.

Fonte: SPINELLI (2015).

4.1 Protótipo 1

Partindo dos dados coletados e planejados para o Protótipo 1, os registros iniciais analisados demonstram que a ausência de um sistema de ventilação natural na edificação contribuiu significativamente para a manutenção de temperaturas elevadas no ambiente interno. Para o mês de novembro/2014, a média de temperatura, externa foi de 23,66°C, e 24,21°C para a interna, já destaca a ineficiência com relação ao isolamento térmico da materialidade, e acentua o problema de ausência de ventilação natural. O Gráfico quatro apresenta claramente as equivalências de temperatura externa e interna nas curvas ascendentes, onde apenas a materialidade da edificação não faz o isolamento adequado do ambiente interno.

Gráfico 4 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014



Fonte: SPINELLI (2015).

Estas ascendentes quando atingem o pico máximo de temperatura externa, ocorre por volta das 14 horas durante o dia, a temperatura interna se mantém inferior dentro de um intervalo entre 0°C e 6°C. Porém, esta diferença de 6°C

ocorreu no período da manhã, as 10h27 min, do dia 16/11/2014, a temperatura no início da manhã era de aproximadamente 15°C, com predominância de ventos N e NE, o que contribuiu para a manutenção de temperatura interna baixa. Porém, com o aumento da temperatura, no mesmo dia ao atingir o máximo de 29,1°C às 15h27min, a temperatura interna chega a 28,6°C, uma diferença muito pequena. Neste momento a mudança de orientação do vento para o turno da tarde neste dia é oposta ao horário da manhã, com direção S e SO, o que favoreceu a manutenção do calor no ambiente interno. No restante do período da tarde, até a manhã do dia seguinte, a temperatura interna se mostrou sempre superior à externa, ressaltando a dificuldade de retirada do ar aquecido conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Comportamento Protótipo 1, período do dia 16/11/2014

DADOS ESTAÇÃO METEOROLÓGICA				DADOS DATA LOGGER	
DATA	HORA	VELOCIDADE VENTO - km/h	DIREÇÃO VENTO	TEMPERATURA EXTERNA	PROTÓTIPO 1 - TEMPERATURA INTERNA
16/11/2014	11:27:00	2,52	SE	27	22,6
16/11/2014	11:57:00	1,08	SE	27,4	23,6
16/11/2014	12:27:00	7,20	S	27,8	24,6
16/11/2014	12:57:00	2,52	NEE	28,2	25
16/11/2014	13:27:00	7,20	SW	28,2	25,8
16/11/2014	13:57:00	5,04	SE	28,7	26,4
16/11/2014	14:27:00	1,08	E	28,8	27
16/11/2014	14:57:00	7,20	S	29	27,7
16/11/2014	15:27:00	2,52	E	29,3	28,1
16/11/2014	15:57:00	5,04	SW	29,4	28,3
16/11/2014	16:27:00	7,20	S	29,6	28,5
16/11/2014	16:57:00	7,20	S	29,1	28,6
16/11/2014	17:27:00	11,16	SW	29,1	28,6
16/11/2014	17:57:00	5,04	S	28,7	28,5
16/11/2014	18:27:00	8,64	SSW	28,3	28,5
16/11/2014	18:57:00	5,04	S	27,4	28,5
16/11/2014	19:27:00	1,08	S	27,6	28,5
16/11/2014	19:57:00	0,00	SW	26,9	28,1
16/11/2014	20:27:00	1,08	W	26,1	27,4
16/11/2014	20:57:00	0,00	W	24,2	26
16/11/2014	21:27:00	2,52	NEE	23,5	25,6

Fonte: SPINELLI (2015).

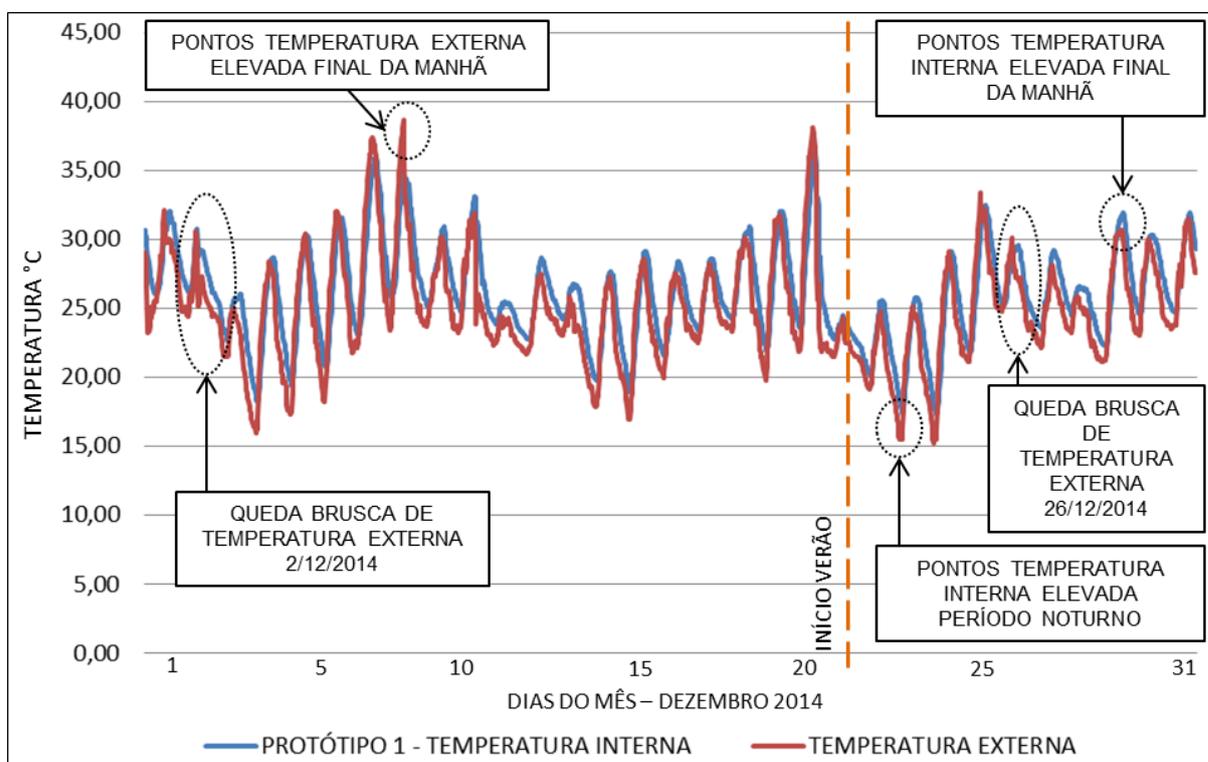
Para os dias 4 e 5/11/2014 ocorreu queda brusca de temperatura devido a ocorrência de chuvas no período, e verifica-se no Gráfico 4, que a temperatura interna não acompanha a queda, acumulando calor no interior do protótipo. Destacam-se também os momentos em que o resfriamento do ar interno torna-se

muito lento devido a ausência de sistema de ventilação, e durante o período noturno, o protótipo continua com grande quantidade de calor armazenado, mantendo a temperatura interna mais alta que a externa, ocorrendo a inversão apenas nas primeiras horas da manhã, quando se inicia nova incidência solar sobre a edificação. Também destacam-se poucos momentos em que a temperatura externa se apresenta inferior a interna, porém apenas para o período do final da manhã. Alguns destes momentos apresentaram medições de pluviosidade, o que indica que houve nebulosidade no momento da medição, e assim menor incidência de radiação solar, causando diminuição de temperatura externa, porém, mantendo o calor acumulado internamente no protótipo. A maior diferença de temperatura registrada para o período do mês de novembro foi de $6,00^{\circ}\text{C}$, no dia 16/11/2014, as 10h30 da manhã, mesmo com uma ocorrência de vento de baixa velocidade, com velocidade de $3,60\text{ km/h}$, e predominância de ventos de orientações variando de N para L.

Para o período do mês de dezembro/2014, registraram-se as médias externas de temperatura de $25,00^{\circ}\text{C}$, e de umidade relativa do ar de $76,90\%$. As médias internas de temperatura e umidade relativa do ar ficaram em $25,48^{\circ}\text{C}$ e $66,46\%$. Quanto ao comportamento de troca de calor interno, segue o padrão idêntico a do mês de novembro, conforme apresentado no Gráfico 5, onde as curvas ascendentes apresentam em sua maioria a predominância de temperatura externa mais elevada que a interna para o período diurno, e para o período noturno a perda de calor interno é lenta.

Salienta-se que na ocorrência de quedas bruscas de temperatura externa, a temperatura interna acompanha a queda, porém de forma lenta. Esta descendente aconteceu devido à ocorrência de chuvas e fortes rajadas de ventos, conforme apontado pela estação meteorológica, onde dia 2/12/2014, ventos de até $29,52\text{ km/h}$ de direção N e NE, e chuva acumulada de $23,1\text{ mm}$ no período de 30 minutos. Situações similares ocorreram em outros períodos do mês, com presença de vento e chuva, porém no dia 26/12 houve a queda de temperatura externa e interna, com presença de vento, com presença de chuva no período da noite, o que indica a ocorrência de nebulosidade, que auxiliou na queda de temperatura no período da manhã. Mesmo com o início da estação de verão no dia 21/12/2014, não se constata uma mudança de comportamento nos índices de temperatura, mantendo-se um padrão de comportamento similar ao início do mês.

Gráfico 5 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

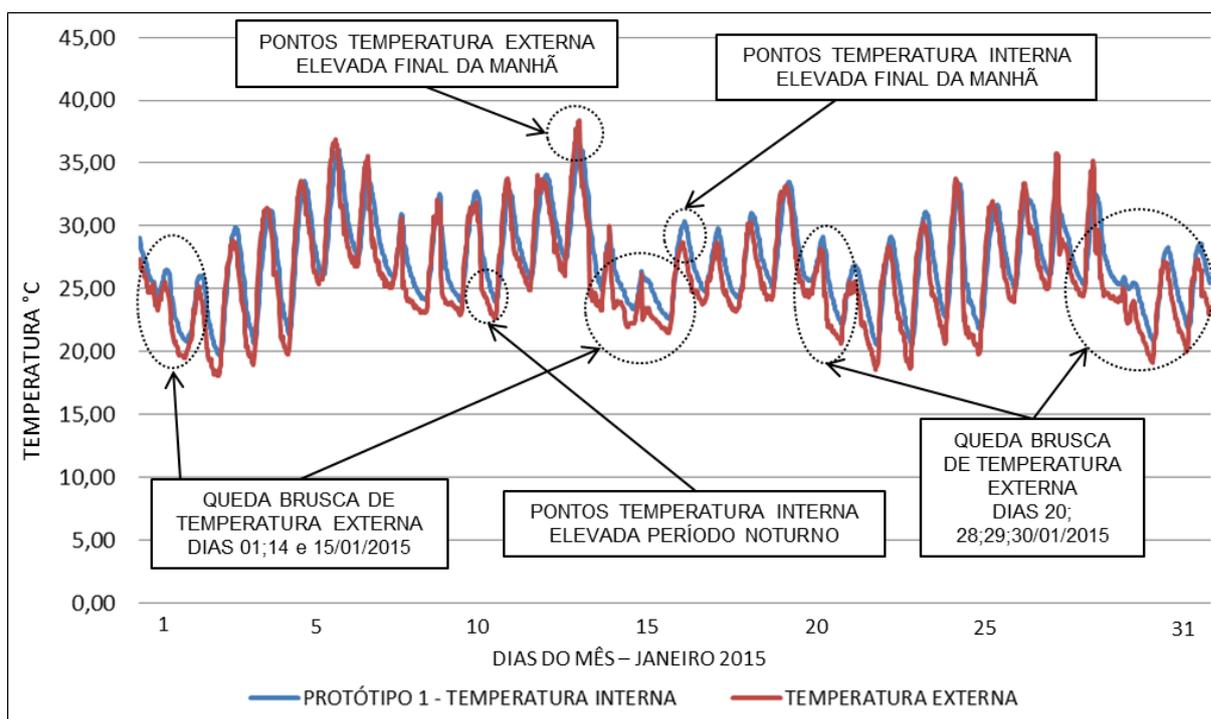
Para o mês de janeiro/2015 registraram-se as médias de temperatura externa de 25,97°C, e interna de 27,03°C, com índices médios de umidade relativa do ar externa de 77,42% e interna de 69,32%, muito superiores aos aceitáveis como temperatura de conforto. Conforme o Gráfico 6, o comportamento mostrou-se similar ao apresentado no mês de dezembro, porém ocorrência de mais picos de quedas da temperatura externa acentuados, devido a ocorrência de chuvas e ventos com predominância de direção N e NE. Em dias com predominância de radiação solar direta, constatou-se a prevalência da temperatura externa sempre mais elevada em relação à interna.

Porém, para os dias onde a ocorrência de rápidas quedas de temperatura externa, foi devido à ocorrência de chuva. Para o dia primeiro de janeiro, registrou-se um acumulado de 5,4 mm de precipitação, em um intervalo de quatro horas, justamente no período do meio dia.

O ponto de temperatura mais elevada ocorreu em 13/01/2015, às 18h, atingindo 38,40°C, contra 36,60°C para temperatura interna. No intervalo de 30

minutos, registrou-se a ocorrência de vento de orientação S com velocidade de 14,76 km/h, ocasionando uma queda brusca de temperatura para 34,6°C, e por não apresentar sistema de ventilação no Protótipo 1, não houve registro de queda determinante de temperatura interna, mantendo-se praticamente estável com 36,1°C.

Gráfico 6 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015



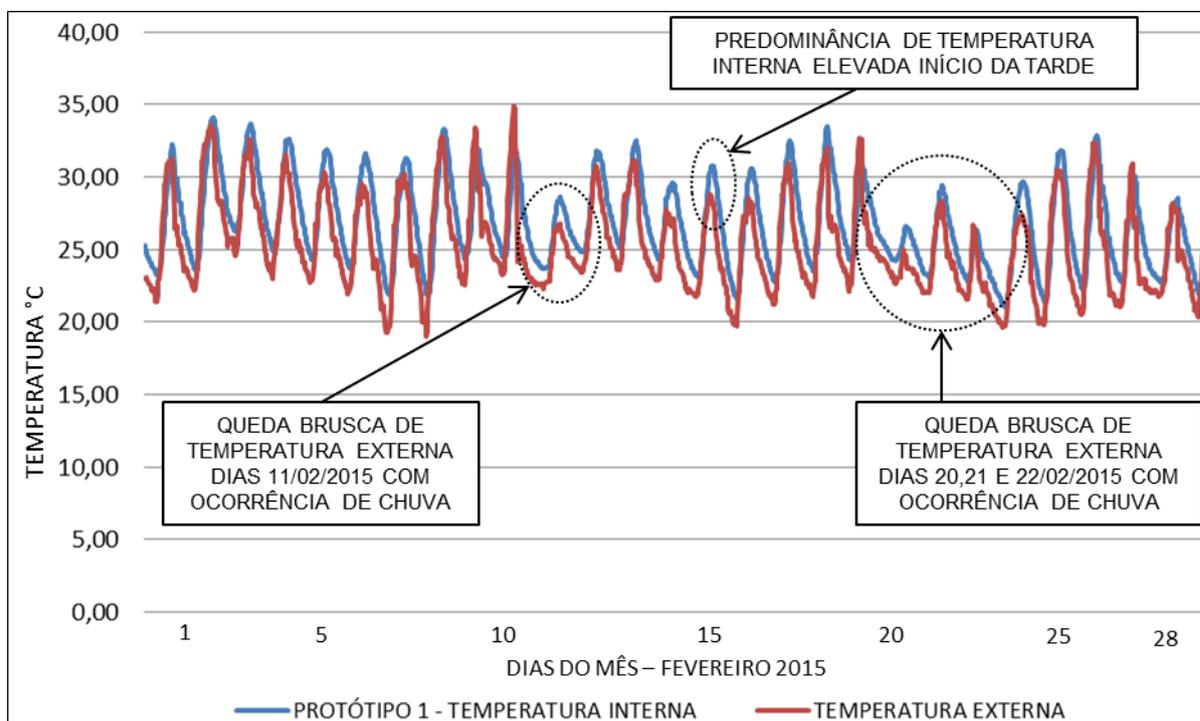
Fonte: SPINELLI (2015).

Os dias 14 e 15 de janeiro apresentaram chuvas em diversos períodos do dia (um total acumulado de 123,6 mm), o que indica também a possibilidade de ocorrência de grandes períodos de nebulosidade, assim causando a manutenção da temperatura externa baixa. A predominância de ocorrência de ventos de orientação S para L, reforça que a queda de temperatura foi gradualmente mais lenta, por não ter sido coletado pela abertura do protótipo na fachada N. O dia 16 aponta para o final da manhã a temperatura interna superior à externa, mas não foi registrada ocorrência de chuvas neste período, que voltou a ocorrer no dia 17, onde a curva apresenta a equivalência das temperaturas, mostrando que houve acúmulo de calor interno intenso para estes dois dias. O Gráfico Seis também apresenta semelhança

para o período dos dias 20, 28, 29 e 30, com pancadas de chuvas distribuídas durante o período (19,3mm dia 20, e para os demais dias um total acumulado de 63,00mm). Para os dias 28 e 29 a predominância de vento foi a variação de orientações no intervalo entre L e N, e no dia 30 predominando as orientação de S, fazendo assim a manutenção do calor no interior do protótipo.

Durante o mês de fevereiro/2015, a temperatura média externa apresentada foi de 25,34°C, com umidade relativa do ar média de 74,92%, contra médias de 26,86°C para temperatura interna, e 65,95% de umidade relativa do ar no interior do protótipo. Segundo o CIH, a maior média para o mês de fevereiro foi registrada no ano de 2012, atingindo 26,3°C. Conforme pode-se verificar no Gráfico 7, fevereiro apresentou uma constância de altas temperaturas, com poucas variações de baixas. Analisando as medições, as baixas registradas foram motivadas pela ocorrência de chuva, combinado com ventos de orientações predominantes de NE para S, com 62,82% de ocorrência, e não auxiliaram na amenização do calor interno.

Gráfico 7 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015



Fonte: SPINELLI (2015).

Assim, compreende-se o comportamento do Protótipo 1 para o período,

conforme apresentado no Gráfico 7, onde dos 28 dias do mês, 23 dias a temperatura interna foi mais alta que a externa, devido a quantidade de calor armazenado. Os pontos mais elevados de temperatura durante o dia ocorreram entre as 14h e às 16h30min, e atingiu a temperatura externa máxima de 34,9°C em 10/02/2015, com temperatura interna de 32,4°C. Porém, a temperatura máxima interna ocorreu em 02/02/2015, atingindo 34,2°C, contra 33,2°C de temperatura externa.

Para março/2015, os índices médios de temperatura externa e interna foram 24,81°C e 26,54°C, e umidade relativa do ar atingindo médias de 74,37% e 60,43%, respectivamente. Comparando com os dados da CIH, o mês de março/2015 apresentou a maior média de temperatura dos últimos anos para este período (24,40°C), assim, demonstrando que houve uma considerável elevação de temperatura. Segundo o apontamento de HACKBART (2014), houve um alerta para a possibilidade de ocorrência do fenômeno climático *El Niño*, o que pode ser reflexo da alta média de temperatura para o mês de fevereiro. Segundo HACKBART (2014),

O boletim de ontem (16/11/2014) do NOAA, o órgão de previsão climática do governo dos Estados Unidos, indicou probabilidade perto de 60% de que o verão nosso se dê com a presença do El Niño. O fenômeno, em regra, traz mais chuva para o Rio Grande do Sul, mas não é garantia por si só de verão chuvoso. O verão de 2005, por exemplo, ocorreu com El Niño e teve estiagem forte.

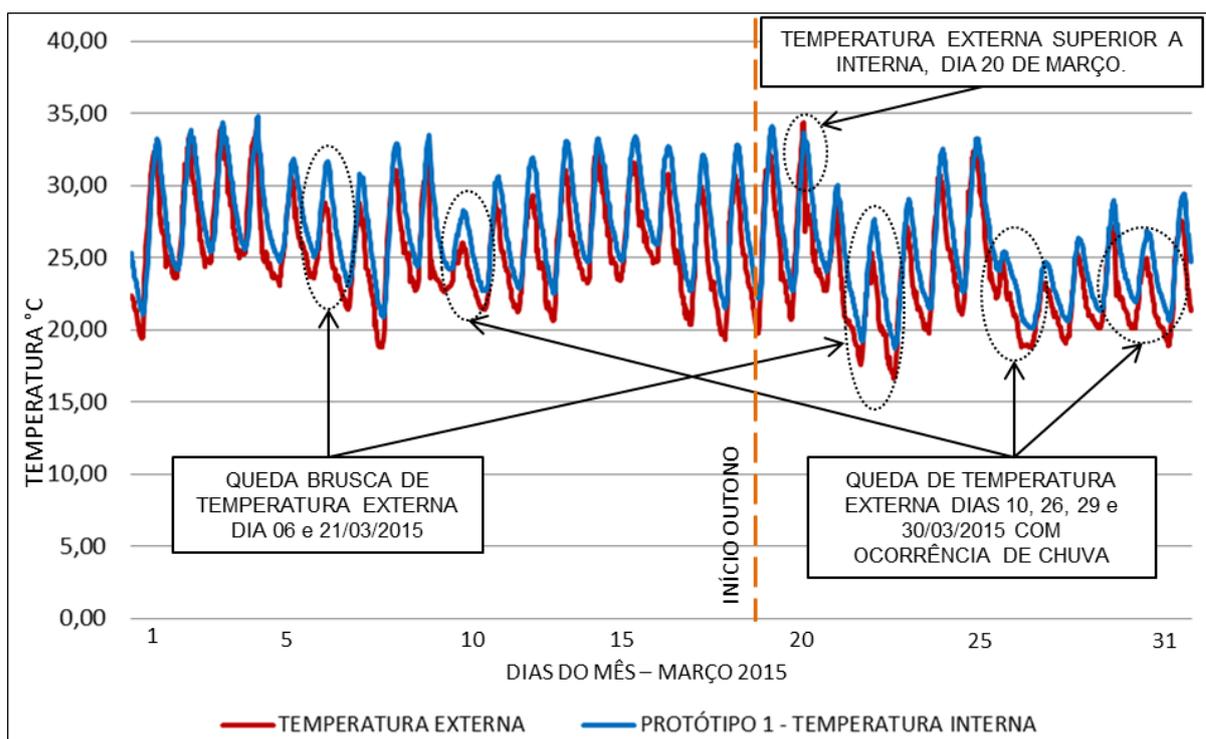
O Gráfico 8 apresenta claramente um reflexo destes índices apresentados no Protótipo 1, onde dos 31 dias do mês, apenas em um momento de pico de temperatura externa ficou superior à temperatura interna, no dia 20/03/2015, no intervalo de 9h (8h até as 16h). Para esta data, ocorreu registro de pluviosidade, iniciando as 16h30min, o que indica uma probabilidade de ocorrência de nebulosidade que auxiliou na queda da temperatura interna.

No dia 06/03/2015 registrou-se o crescimento da temperatura externa até atingir o ponto de 28,70°C, e num período de 3h a temperatura interna continua subindo gradativamente até atingir 31,7°C, mesmo com a temperatura externa em queda. Neste período não foram registradas ocorrências de chuva, mas houve ocorrência de ventos com velocidade moderada, de até 20,9 km/h, com direção predominante de S, sendo um possível agente ocasionador da queda de temperatura. A queda registrada no dia 21/03/2015, analisou-se comportamento similar, com ocorrência de ventos de até 29,00 km/h. Acredita-se que pode ser

causado pela ocorrência de uma frente fria.

Analisando também no Gráfico 8, verifica-se diferenças dos índices de temperaturas para os dias 10, 26 e 29/03/2015, porém, foram ocasionadas devido à ocorrência de chuvas, retardando o acúmulo de calor. Dias 10 e 26 foi um baixo registro de chuvas (respectivamente 3,55 mm e 12,68 mm), porém com ocorrência de ventos mais intensos. Dia 29 houve o registro de vento com velocidade de 25,70 km/h de orientação NNE, e 10,16 mm de chuva, auxiliando na queda brusca das temperaturas no final da tarde, e o manteve-se a nebulosidade para o dia 30 com baixa de chuva (1,00 mm), auxiliando na manutenção da temperatura mais amena, mas com armazenamento de calor no interior do protótipo.

Gráfico 8 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015



Fonte: SPINELLI (2015).

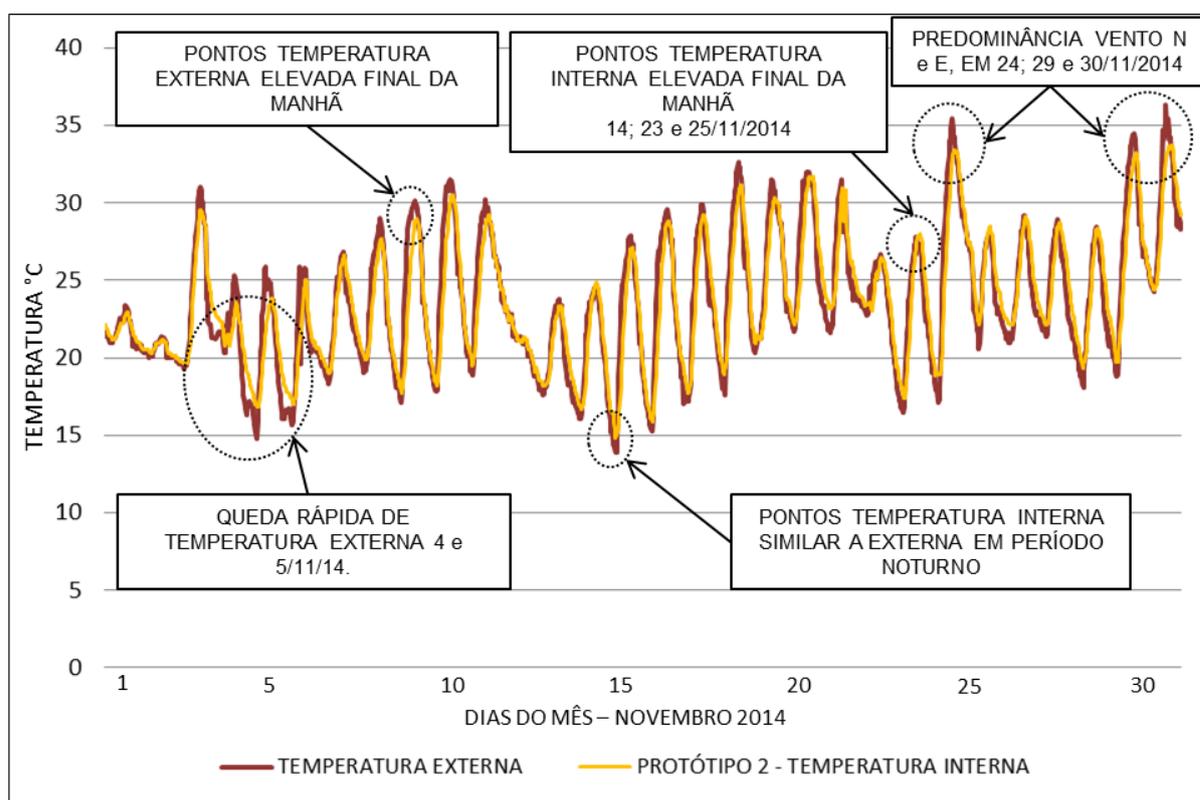
Todas as curvas descendentes representadas no Gráfico 8, apresentam a queda da temperatura externa mais rápida que a interna, com comportamento similar aos meses anteriores analisados, queda lenta, devido à ausência do sistema de ventilação natural. Leva-se em conta o início do período do outono no dia 20 para o dia 21, que de forma coincidente, fica bem registrada no gráfico, com atuação de

temperaturas mais amenas, ocorrendo quatro dias com temperaturas superiores a $30,0^{\circ}\text{C}$.

4.2 Protótipo 2

Executado com um sistema de captação de ventilação natural, o Protótipo 2 apresenta dados interessantes na relação de temperatura externa e interna, com o padrão de ventos do local de execução. Logo no mês de novembro/2014, a temperatura interna média ficou em $23,6^{\circ}\text{C}$, inferior em $0,1^{\circ}\text{C}$ em relação à média externa ($23,7^{\circ}\text{C}$), podendo-se concluir que ocorreu um equilíbrio térmico.

Gráfico 9 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

O Gráfico 9 representa as temperaturas similares para os períodos de forte calor no início da tarde, e para o período da noite que se mostraram mais próximas. A ocorrência de períodos com queda brusca da temperatura externa, nos dias 4 e 5 de novembro, mostra que a temperatura interna não acompanhou a descendente, pois houve predominância de vento com orientação L e S, diferente da captação do

protótipo, que é orientação N. Houve a ocorrência de chuvas (acumulado de 8,4 mm) durante estes dias, em turnos intercalados, o que é um indicativo de nebulosidade, fazendo que não tenha um elevado acúmulo de calor por radiação solar.

Salienta-se também no Gráfico 9 momentos de forte alta na temperatura externa em relação à interna, onde nos dias 24, 29 e 30 de novembro, atingem respectivamente diferenças de temperatura de 3,9°C, 2,7°C e 3,5°C, devido a forte predominância de vento com variação de orientações L e N, onde no dia 24 ocorreu vento com velocidade de 8,64km/h. Para o dia 29 ocorreu um ponto de medição de velocidade de 17,28 km/h, e no dia 30 registrou-se velocidade de 12,24km/h. Esses fatores certamente auxiliaram na queda de temperatura interna, atingindo uma média de 3,00°C inferior a externa. A maior diferença de temperatura registrada para o período do mês de novembro foi de 5,60°C, no dia 16/11/2014, as 10h30 da manhã, mesmo com uma ocorrência de vento de baixa velocidade, com velocidade de 3,60 km/h, e predominância de ventos de orientações variando de N para L.

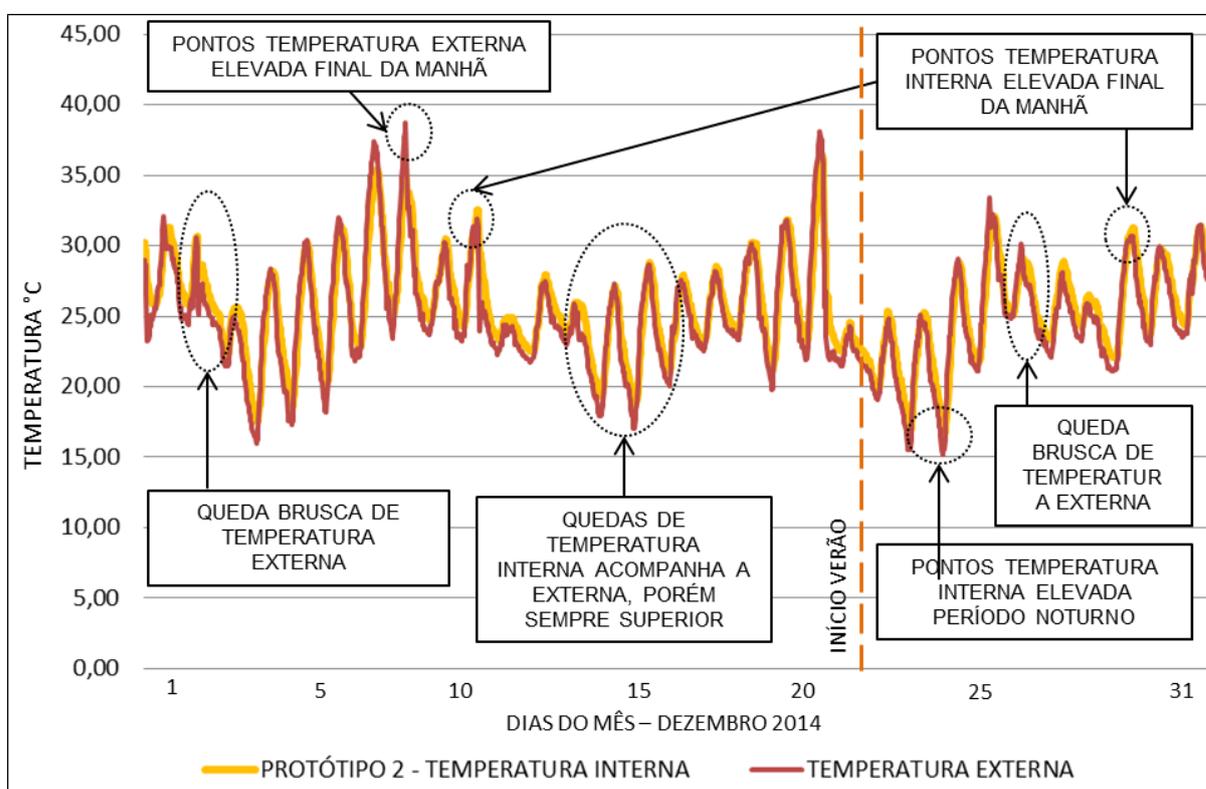
As medições de temperatura interna relativas ao mês de dezembro para o Protótipo 2 registraram média de 25,56°C, maior que a média da temperatura externa, que ficou em 25,00°C, diferença mínima em relação à sensibilidade térmica. A umidade interna manteve uma média alta, de 73,41%, nível alto para os padrões de conforto do ambiente interno. O Gráfico 10 apresenta uma manutenção da temperatura no interior do protótipo, e na maior dos momentos em que a temperatura externa atinge o ponto máximo do dia, a temperatura interna se manteve inferior, e em poucos momentos no mês, a temperatura máxima interna superou a temperatura máxima externa, devido a não ocorrência de ventos com predominância de orientação N.

Houve a ocorrência de períodos com queda brusca de temperatura, ocasionados pela ocorrência de chuvas. Porém, fica evidente no Gráfico 10 que nos momentos de redução da temperatura externa, períodos do final da tarde para o início da noite, a temperatura interna ficando sempre similares, salientando o funcionamento da coleta de ventilação natural com orientação N para o interior do protótipo, a possibilidade de utilização do sistema de ventilação por efeito chaminé auxiliou para a redução de temperatura interna, mesmo que lentamente.

No período de janeiro/2015, o Protótipo 2 apresentou temperatura interna de

26,50°C e umidade relativa do ar interna de 75,49%, sendo assim 0,53°C maior que a temperatura externa, e 2,07% inferior a umidade relativa externa. A maior ocorrência de quedas de temperatura externa foi devido a maior ocorrência de chuvas no período. Porém, os picos de temperatura externa máxima superior à temperatura interna no período mais crítico dos dias, ocorreram com menor frequência, conforme apresentado no Gráfico 11. A maior predominância de ventos com direção de E para N, pode ter auxiliado na redução de temperatura externa.

Gráfico 10 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014.

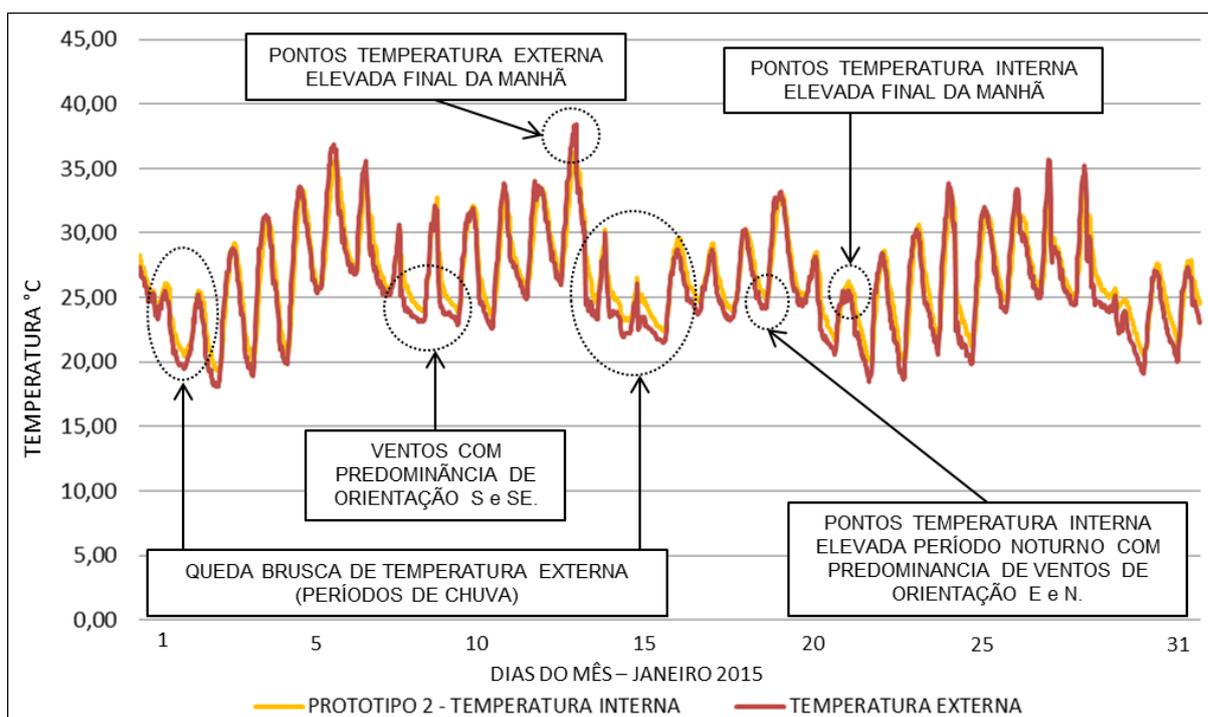


Fonte: SPINELLI (2015).

Bem como ocorrido no período de dezembro/2014, a temperatura interna acompanhou as quedas de temperatura externa, pouco mais acentuada, causada pela circulação de ventilação natural no interior do protótipo. Em alguns momentos ocorreram diferenças superiores a 1,0°C, períodos que registrou ventos predominantes de orientação S e SE. Salienta-se o ponto de temperatura mais elevada ocorreu em 13/01/2015, às 18h, atingindo 38,40°C, contra 36,5°C para temperatura interna. No intervalo de 30 minutos, registrou-se a ocorrência de vento

de orientação S com velocidade de 14,76 km/h, ocasionando uma queda brusca de temperatura para 34,6°C. O sistema apresentou-se ineficiente no Protótipo 3, registrando uma queda de temperatura interna para 35,1°C.

Gráfico 11 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015.



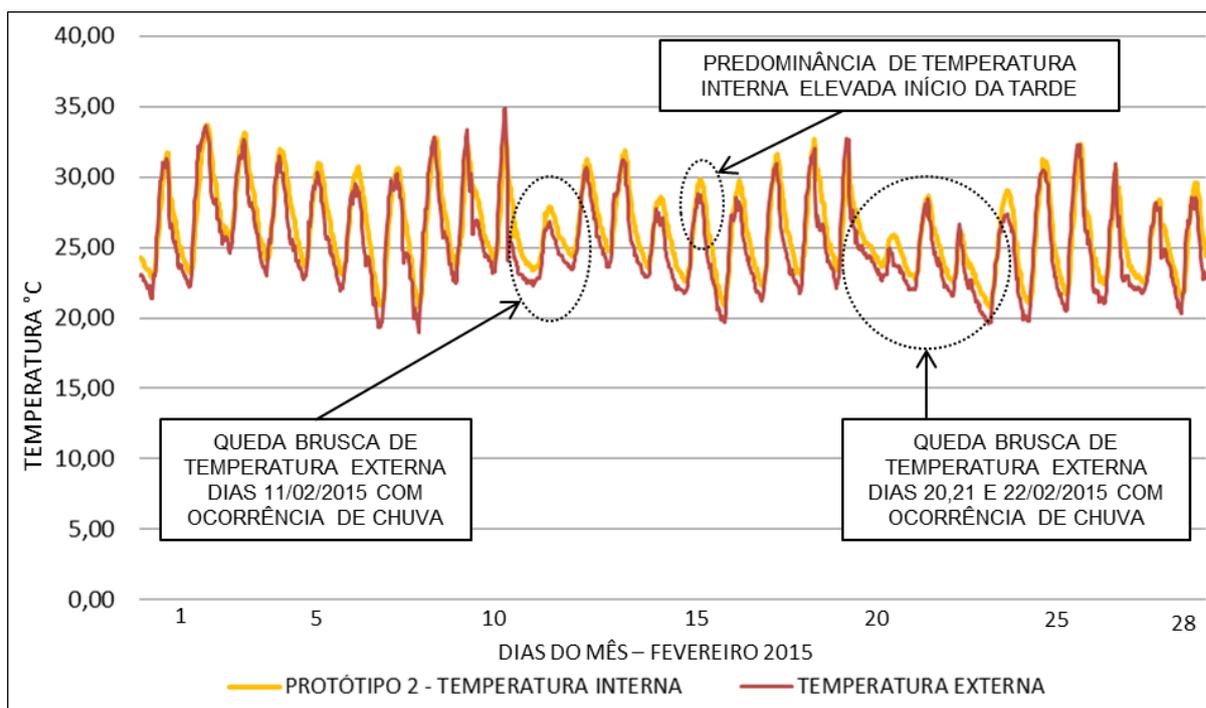
Fonte: SPINELLI (2015).

Fevereiro apresentou médias de temperatura interna de 26,2°C, com umidade relativa do ar média de 72,43%, superior em 0,9°C da temperatura externa, e 2,49% inferior a umidade relativa externa. Como já verificado na análise do Protótipo 1, o mês apresentou poucos períodos de ocorrência de chuvas, estes podem ser verificados nos poucos pontos registrados de queda de temperatura, com predominância de ventos NE, o pode ter contribuído para a queda, conforme representado no Gráfico 12. Os períodos de picos de temperatura interna maior que a externa, ocorreram em 21 dias do mês, e salienta-se que no momento em a temperatura externa inicia a descendente, a interna acompanha em índices muito próximos a queda.

As medições mais elevadas de temperatura ocorreram durante o período da tarde, onde o pico de temperatura externa foi de 34,9°C em 10/02/2015, onde a

temperatura interna foi de 32,7°C. Porém, a temperatura máxima interna ocorreu em 02/02/2015, atingindo 33,7°C, contra 33,6°C de temperatura externa. Neste caso, a temperatura interna se manteve em um intervalo de três medições, um período de 1h30min.

Gráfico 12 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015.



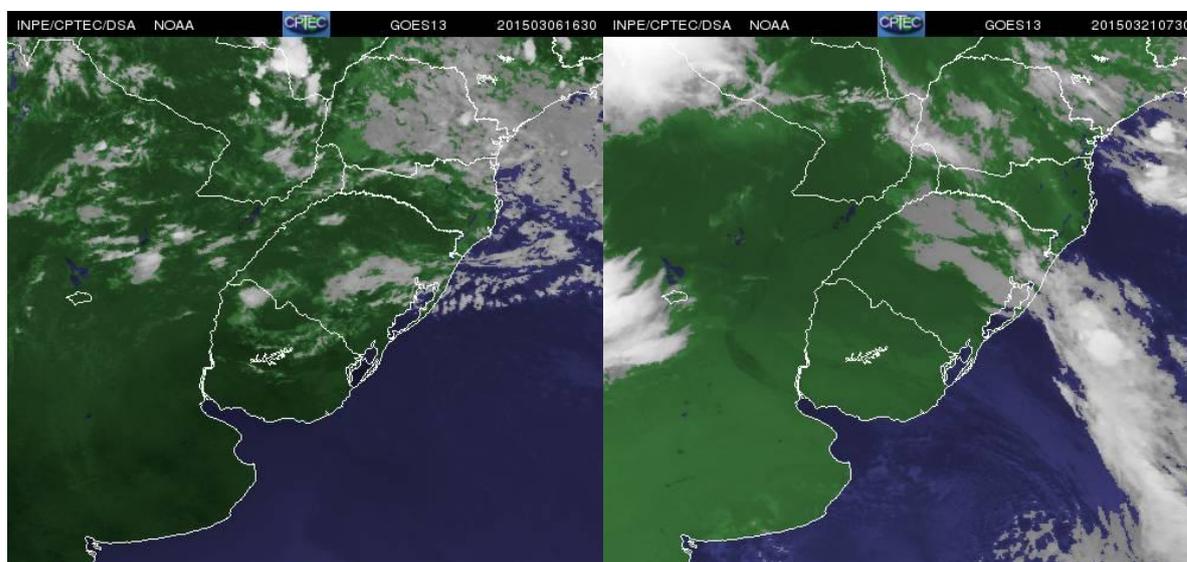
Fonte: SPINELLI (2015).

Para o período do mês de março, a temperatura interna apresentou a média de 25,9°C, ainda assim superior em relação à temperatura externa (24,8°C). Porém, conforme representado no Gráfico 13, ocorreram mais momentos de temperatura interna inferior à externa, quando esta atingiu o pico máximo. O dia 2/03/2015 atingiu a máxima de 33,5°C, e neste momento a temperatura interna (33,2°C) se equivale a externa. Antes deste momento a temperatura interna sempre se apresentou inferior a externa em uma média de 1,0°C, salientando-se a predominância de ventos NW, N, NE e NNE, salientando uma boa velocidade, atingindo até 11,16 km/h (Tabela 12).

Os dias 3, 4 e 20/03/2015, apresentaram temperatura máxima interna inferior à externa, respectivamente em 1,4°C; 1,5°C e 1,1°C. Os dois primeiros momentos principalmente devido à ocorrência de ventos de predominância N. Para o dia 20, a

indicação de chuva no período da tarde indica possível nebulosidade durante o dia, auxiliando na queda de temperatura, similar ao ocorrido no Protótipo 1 (Gráfico 8). Os dias 06 e 21/03/2015 apresenta forte queda de temperatura externa devido à ocorrência de ventos com orientação predominantemente S. Ventos de, respectivamente, 20,9 km/h e 29,00 km/h. Não ocorreram chuvas neste período, mas pode-se constatar na Figura 33, gerada pelo satélite Goes 13, a ocorrência de uma possível frente fria ou nebulosidade, que podem ter auxiliado na redução da temperatura.

Figura 33 – Imagens de Satélite para os dias 06 e 21/03/2015.



OBS.1: Imagem à esquerda registra instabilidade para o dia 06/03/2015, às 16h30min.

OBS.2: Imagem à direita registra instabilidade para o dia 21/03/2015, às 7h30min.

Fonte: Elaborado por Spinelli (2015), a partir de INPE, satélite GOES 13 (2015).

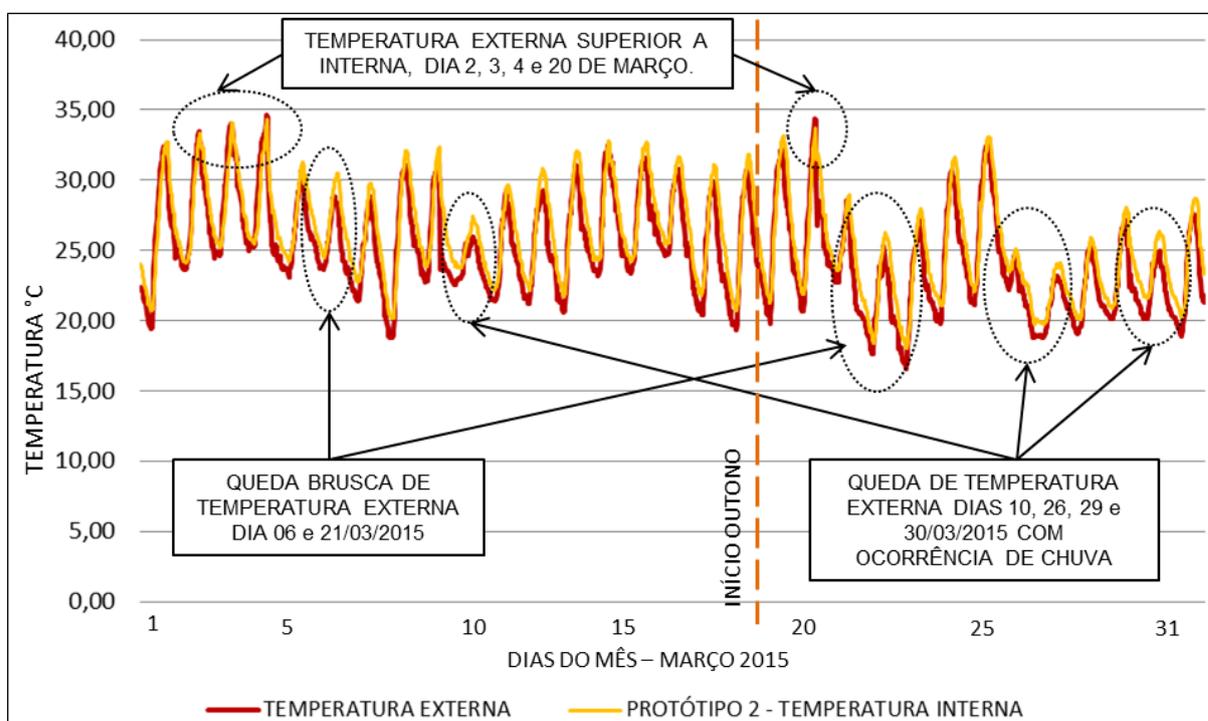
Tabela 12 – Comportamento Protótipo 2, período do dia 02/03/2015.

DADOS ESTAÇÃO METEOROLÓGICA				DADOS ARDUINO	
DATA	HORA	VELOCIDADE VENTO – m/s	DIREÇÃO VENTO	TEMPERATURA EXTERNA	PROTÓTIPO 2 - TEMPERATURA INTERNA
02/03/2015	09:13:00	6,12	NW	24,20	24,20
02/03/2015	09:43:00	5,04	NW	24,60	24,40
02/03/2015	10:13:00	2,52	S	24,90	24,60
02/03/2015	10:43:00	7,20	NNE	25,20	24,80
02/03/2015	11:13:00	7,20	E	26,00	25,30
02/03/2015	11:43:00	8,64	E	27,00	26,00
02/03/2015	12:13:00	11,16	NE	28,50	26,80
02/03/2015	12:43:00	11,16	NE	28,80	27,50
02/03/2015	13:13:00	3,60	N	29,60	28,30
02/03/2015	13:43:00	3,60	E	30,50	29,20

02/03/2015	14:13:00	3,60	E	31,50	30,00
02/03/2015	14:43:00	7,20	NE	31,10	30,20
02/03/2015	15:13:00	2,52	S	32,00	30,80
02/03/2015	15:43:00	6,12	NE	32,60	31,70
02/03/2015	16:13:00	3,60	NE	32,70	32,30
02/03/2015	16:43:00	6,12	ENE	33,20	33,00
02/03/2015	17:13:00	1,08	E	33,50	33,30
02/03/2015	09:13:00	6,12	NW	24,20	24,20
02/03/2015	09:43:00	5,04	NW	24,60	24,40
02/03/2015	10:13:00	2,52	S	24,90	24,60
02/03/2015	10:43:00	7,20	NNE	25,20	24,80

Fonte: SPINELLI (2015).

Gráfico 13 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

Os demais momentos do mês de março/2015, representados no Gráfico 13, apresentaram temperatura interna superior à externa nos momentos mais críticos dos dias. Períodos com quedas acentuadas de temperatura, nos dias 10, 26, 29 e 30/03/2015, houve a ocorrência de chuvas, mantendo assim a temperatura inferior a 28,00°C. Porém, salienta-se que em todos os dias do mês, a temperatura interna baixou de forma mais rápida, certamente pela utilização do sistema de ventilação natural, acompanhando de forma mais eficaz a queda da temperatura interna.

Salienta-se também o início do período de outono no dia 20, mostrando-se claramente no Gráfico 13 uma mudança significativa nos picos de temperatura extrema no período.

4.3 Protótipo 3

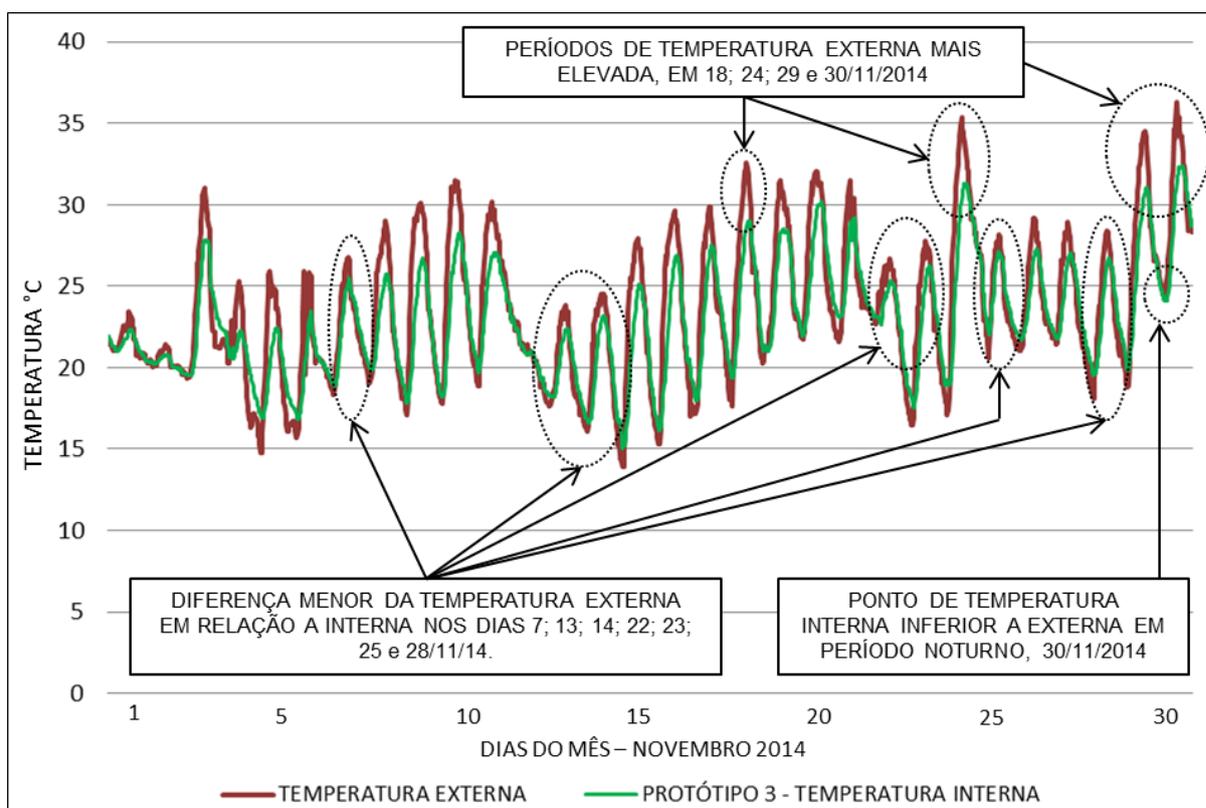
O Protótipo 3 surge como alternativa para os sistemas convencionais ventilação natural que é utilizado de forma massiva nas edificações. Executado com o sistema de distribuição de ventilação por Efeito de Torre de Vento, os vãos para captação são orientados para N e S, apresenta dados expressivos quando comparadas às temperaturas externa e interna. No primeiro mês de medições, novembro/2014, a temperatura média interna ficou em 22,90°C, inferior em 0,76°C em relação a média da temperatura externa (23,66°C).

O Gráfico 14 apresenta diferenças de temperaturas consistentes, principalmente nos momentos de picos de calor para o período da manhã, ocorrendo todos os dias do mês a temperatura interna inferior a externa, independente da ocorrência de nebulosidade e chuvas. Buscando como referência os dias com temperatura mais elevadas, pode-se verificar que em 18/11/2014 a temperatura externa atingiu 32,6°C, enquanto a temperatura interna chegou a 28,6°C, diferença de 5,6°C para este momento, porém, no mesmo dia chegou-se a diferenças superiores, mas com temperatura externa mais baixa. Houve a predominância de ventos de orientação N, e atingindo uma velocidade de 9,72 km/h, contribuindo para a redução da temperatura interna. Ocorrência de comportamento similar, foram registrados nos dias 24, 29, e 30/11/2014, este dia em destaque, pois ocorreu o momento de temperatura mais alta do mês, com 36,3°C, onde a temperatura interna atinge 31,5°C, diferença de 4,8°C.

Para os dias 7, 13, 14, 22, 23, 25 e 28/11/2014, estas diferenças são inferiores e se apresentam pequenas devido à baixa velocidade do vento, porém apresentando eficiência no sistema proposto, mesmo sem um vento constante, independente da orientação de vento para cada período. A maior diferença de temperatura registrada para o período do mês de novembro foi de 7,20°C, no dia 16/11/2014, as 10h30 da manhã, mesmo com uma ocorrência de vento de baixa velocidade, com velocidade de 3,60 km/h, e predominância de ventos de orientações variando de N para L. Salienta-se que nos momentos em que ocorre a queda da temperatura externa, a diminuição da temperatura interna é mais rápida,

acompanhando de forma mais eficiente a externa. Para o período da noite, o calor interno se mantém superior ao exterior. Apenas no início da madrugada do dia 30/11/2014, foi registrada temperatura interna inferior a externa, o que pode ser creditado ao vento de predominância de orientação N, que atingiram um pico de velocidade de 18,36 km/h, contribuindo para a retirada do calor interno.

Gráfico 14 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014.



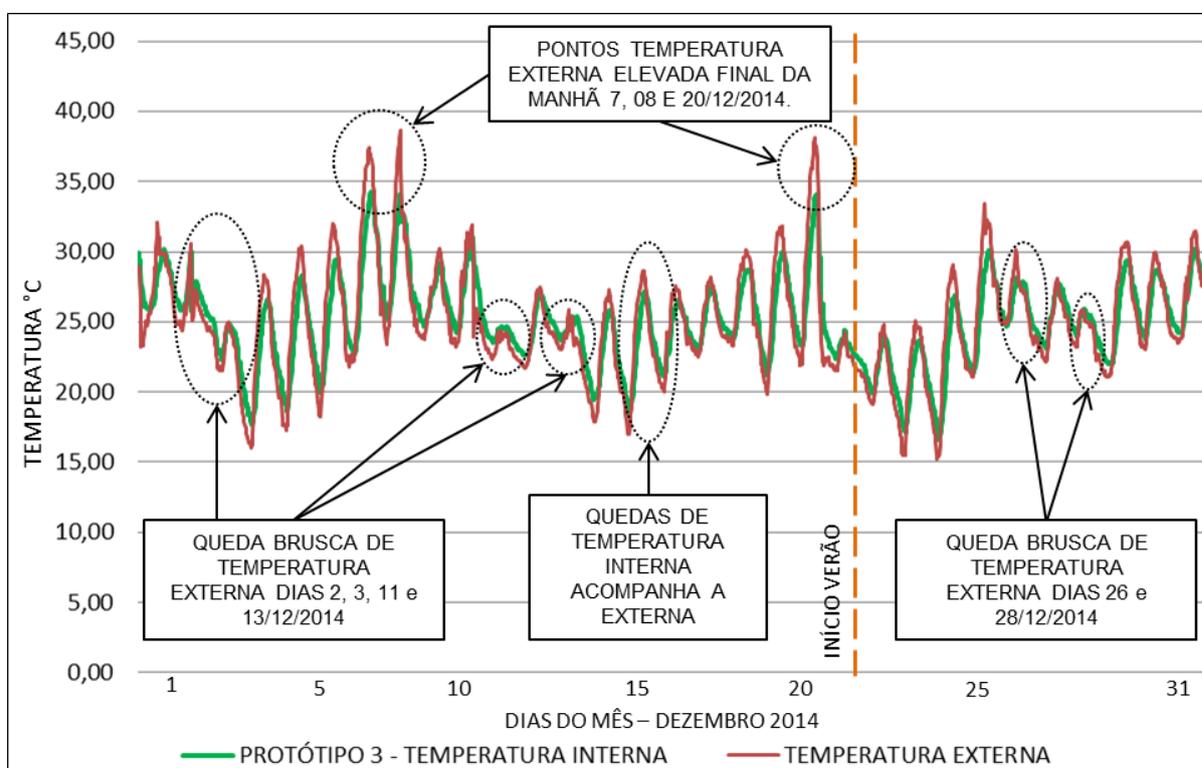
Fonte: SPINELLI (2015).

O período de Dezembro apresenta a média de temperatura interna de 25,01°C, podendo ser considerada semelhante à externa (25,00°C). O percentual de umidade relativa do ar interna (70,58%) ficou inferior em 6,32% em relação à umidade externa, apresentando uma leve eficiência do sistema de ventilação proposto na retirada do excesso de umidade. Salienta-se no Gráfico 15 os momentos de registro dos maiores índices de temperatura externa para os dias 7, 8 e 20/12/2014, com destaque para o dia 08, onde se atinge a temperatura de 38,7°C, e para o interior do protótipo a temperatura de 34,10°C, inferior em 4,6°C, devido a ventos com predominância de orientação N no período. Logo após atingir estas

marcas, foi registrado chuva no período, o que contribuiu para a queda da temperatura em 3°C em 30 minutos, fazendo com que a temperatura interna acompanhasse a queda, mesmo com uma descendente mais lenta, durante um período de aproximadamente 3 horas.

Para os períodos noturnos, os picos inferiores de temperatura externa e interna apresentaram proximidade na maioria das vezes, porém, com a temperatura interna sempre superior, uma média de 1,00°C. A temperatura interna inicia esta inversão por volta das 21 horas, e volta a ser inferior a externa no início das manhãs, por volta das 7 horas. Também salienta-se no Gráfico 15, os períodos de queda brusca de temperatura, porém estes ocorreram devido à chuva, e possibilidade de nebulosidade nos períodos demarcados, ocasionando pouca incidência de radiação solar no período. Os períodos dos dias 2, 11, 13, 26 e 28/12/2014 apresentaram quedas bruscas de temperatura devido a fortes ocorrências de chuvas, estas constantes nos períodos, e assim causando uma queda de temperatura.

Gráfico 15 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

Em janeiro o Protótipo 3 apresenta uma temperatura interna média de 26°C,

apresentando equivalência a média de temperatura externa (25,93°C). Para a umidade relativa do ar interna, a média foi de 73,40%, um índice 4,02% inferior ao percentual de umidade relativa do ar exterior. Destaca-se que o protótipo proporcionou uma manutenção da umidade relativa do ar no seu interior, houve a ocorrência de oscilação da umidade externa, onde pôde-se ter como exemplo o dia 31/01/2015, com diferenças de até 25% de diferença para mais, ou para menos (Tabela 13). Mesmo com ocorrência de chuva a partir das 17h30min/18h, elevando a umidade externa, houve uma elevação gradual da umidade interna, porém, significativamente inferior à externa.

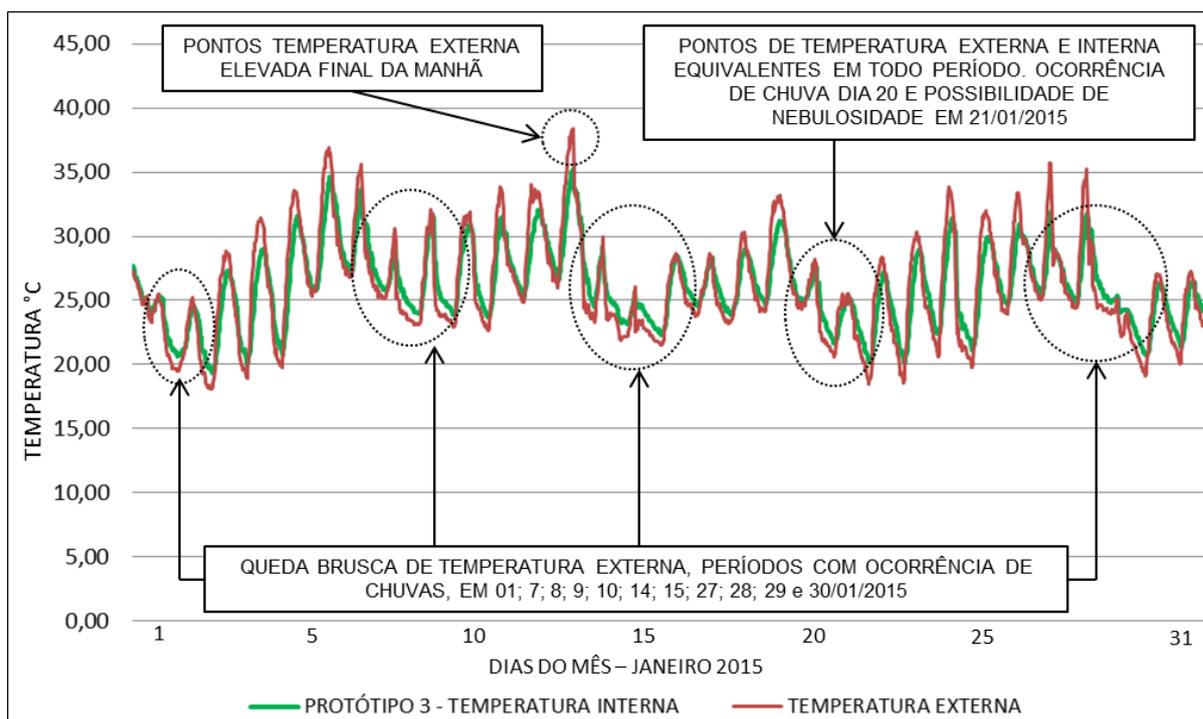
Tabela 13 – Comportamento Umidade Relativa do Ar Protótipo 3, período do dia 31/01/2015.

DATA	HORA	% UMIDADE RELATIVA DO AR EXTERNA	% UMIDADE RELATIVA DO AR INTERNA	DIFERENÇA % UMIDADE RELATIVA DO AR
31/01/15	10:00	58,20	70,60	-12,40
31/01/15	10:30	49,80	69,10	-19,30
31/01/15	11:00	44,00	64,80	-20,80
31/01/15	11:30	39,20	65,10	-25,90
31/01/15	12:00	42,50	65,00	-22,50
31/01/15	12:30	45,80	64,50	-18,70
31/01/15	13:00	45,90	64,30	-18,40
31/01/15	13:30	38,60	62,80	-24,20
31/01/15	14:00	42,40	63,30	-20,90
31/01/15	14:30	45,50	65,20	-19,70
31/01/15	15:00	47,60	63,10	-15,50
31/01/15	15:30	46,70	63,20	-16,50
31/01/15	16:00	49,00	63,70	-14,70
31/01/15	16:30	53,60	65,10	-11,50
31/01/15	17:00	59,30	68,40	-9,10
31/01/15	17:30	62,40	69,10	-6,70
31/01/15	18:00	95,90	75,50	20,40
31/01/15	18:30	95,30	75,40	19,90
31/01/15	19:00	95,90	76,30	19,60
31/01/15	19:30	95,90	77,30	18,60
31/01/15	20:00	95,90	77,00	18,90
31/01/15	20:30	95,90	77,50	18,40
31/01/15	21:00	95,90	78,10	17,80
31/01/15	21:30	95,90	78,90	17,00
31/01/15	22:00	95,90	78,70	17,20
31/01/15	22:30	95,90	78,30	17,60
31/01/15	23:00	95,90	78,60	17,30
31/01/15	23:30	95,90	79,00	16,90

Fonte: SPINELLI (2015).

Conforme pôde-se visualizar no Gráfico 16, janeiro apresentou um mês com temperatura amenas, e apenas cinco momentos com temperatura superior a 35,0°C. O ponto de temperatura externa mais elevada foi registrado em 13/01/2015, às 18h, atingindo 38,4°C, contra 35,3°C para temperatura interna. No intervalo de 30 minutos, registrou-se a ocorrência de vento de orientação S com velocidade de 14,76 km/h, ocasionando uma queda brusca de temperatura para 34,6°C. O sistema apresentou-se eficiente no Protótipo 3, registrando uma queda de temperatura interna para 33,7°C, acompanhando de forma muito próxima a curva descendente. Apenas após às 22h da noite, a temperatura interna registrou valores superiores à externa nesta data.

Gráfico 16 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

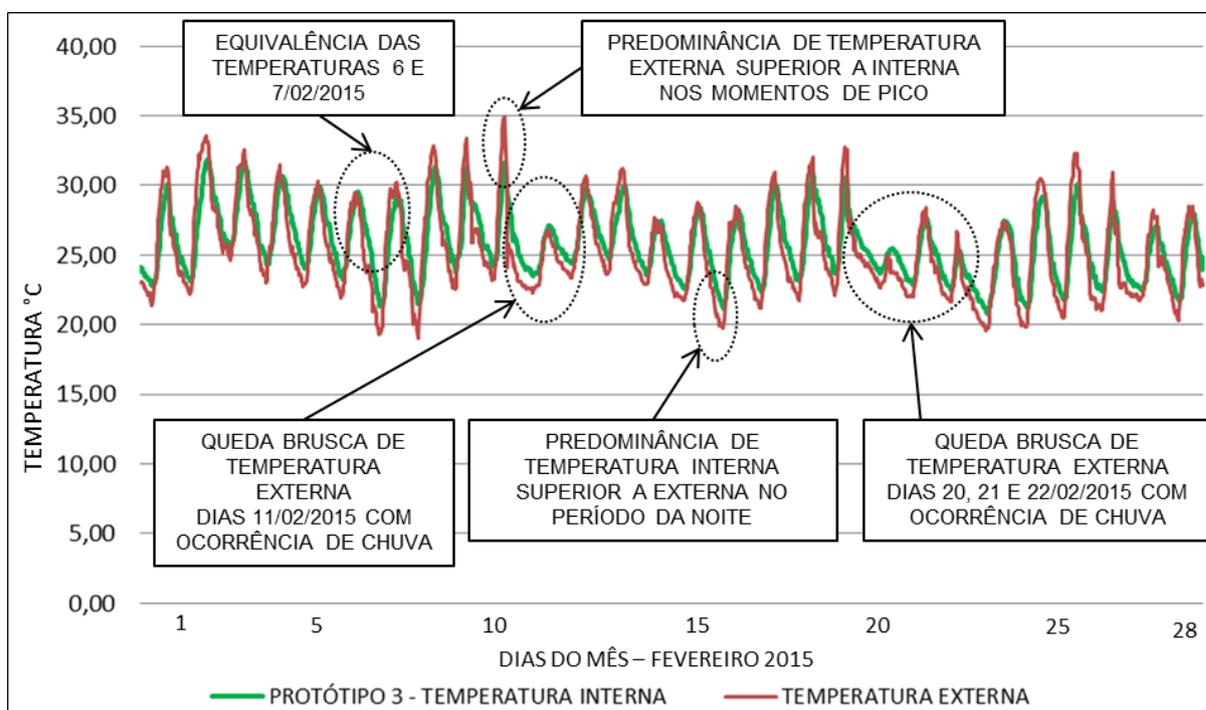
Salienta-se também no Gráfico 16, momentos de fortes quedas de temperaturas, estes sim devido à ocorrência de chuvas (total acumulado para o mês de janeiro de 340 mm, segundo o CIH), e boa regularidade de vento, atingindo até 40,32 km/h no local dos protótipos, com orientação predominantemente N, NE, S e

SO, que somados chegam a 57,62% de ocorrência nos protótipos, o que auxilia na queda da temperatura interna sempre de forma equivalente à temperatura externa. Nos momentos onde a temperatura interna mantém-se superior a externa, ocorreram no período da noite, e com ventos de velocidade muito baixa, e em alguns momentos nula, compreendendo-se assim esta diferença de temperaturas.

O mês de fevereiro/2015 para o Protótipo 3 apresentou média de temperatura interna de 25,8°C, superior em 0,4°C em relação à externa, e a umidade relativa do ar interna ficou com média de 72,03%, inferior em 2,89% se comparada à média exterior (74,92%). O Gráfico 17 apresenta que na maioria dos dias do mês, houve uma equivalência das temperaturas externa e interna nos momentos de pico, porém, a interna ficou superior a externa, devido à ocorrência de vento com velocidade baixa. Destacam-se os dias 6 e 7/02/2015, em que das 90 medições realizadas no período, 70 delas apresentaram velocidade inferior a 3,6 km/h, e destas, 20 foram registradas com velocidade zero, e 17 medições com velocidade superior a 5,4 km/h, claramente contribuindo para a não retirada do calor interno. Comparando com um período próximo, os dias 8, 9 e 10/02/2015, a temperatura interna se manteve inferior nos períodos de pico da temperatura externa, e a ocorrência de vento foi mais frequente, onde das 144 medições realizadas, 90 foram inferiores a 3,6 km/h, enquanto ocorreram 31 medições superiores a 5,4 km/h, com ocorrência de um instante de 20,88 km/h, onde a temperatura interna (29,2°C) mesmo estando superior a externa (25,7°C), registrou-se uma queda de 0,6°C, enquanto a externa se elevou em 0,1°C. A partir deste momento a temperatura interna segue em queda, e a externa segue em oscilação.

Salienta-se que as curvas descendentes do gráfico, as temperaturas internas e externas mantem um padrão, distanciando apenas no período da noite, onde em todos os períodos a temperatura interna sempre se apresentou superior a externa, provavelmente devido ao retardo térmico da materialidade dos protótipos. Destacam-se também no Gráfico 17, os momentos de queda brusca de temperatura, devido a ocorrência de chuvas. Mesmo com a instalação de placas de isopor na cobertura do Protótipo 3 a partir de 5/02/2015, não fica claro no desenvolvimento do Gráfico 17 se houve algum ganho considerável em relação à queda de temperatura interna.

Gráfico 17 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015.



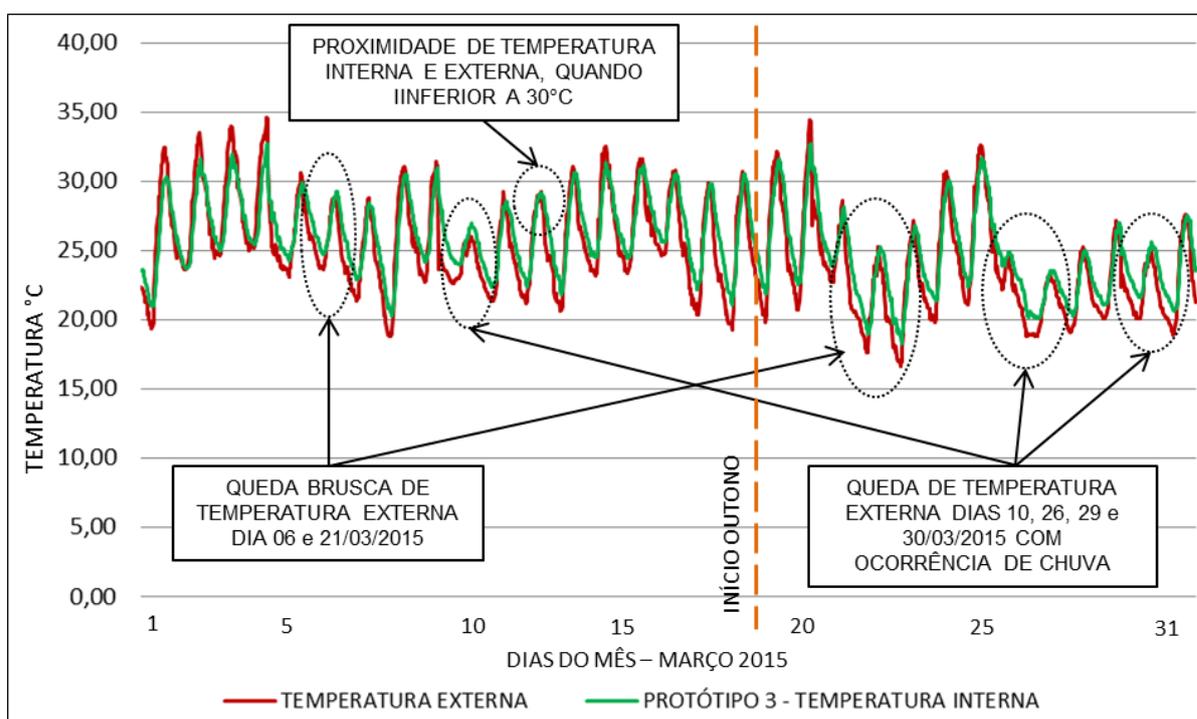
Fonte: SPINELLI (2015).

Com os dados coletados para o mês de março/2015, a temperatura interna média do Protótipo 3 ficou em 25,5°C, superior a externa que ficou em 24,8°C. A umidade relativa do ar interna ficou com a média de 68,16%, inferior em 6,28% em relação a externa, ocorrendo um comportamento similar ao apresentado para o mês de janeiro no mesmo Protótipo. Pode-se verificar no Gráfico 18, que para os períodos em que a temperatura está inferior a 30°C, ocorre uma igualdade das temperaturas interna e externa, e o mesmo não ocorre quando a temperatura fica superior a 30,0°C, Independentemente da velocidade e direção do vento. O momento de maior diferença de temperatura externa superior a interna foi de 3,6°C, ocorreu no dia 4/03/2015, com uma baixa velocidade de vento (3,6 km/h) de direção leste.

Destacam-se no Gráfico 18 os períodos de forte queda de temperatura brusca de temperatura, onde apresentaram ocorrência de chuvas. Mesmo com a ocorrência de precipitação, a temperatura interna se comportou de forma similar à externa, destacando-se o dia 10/03, onde no momento de pico a temperatura interna ficou superior a externa. A predominância de vento com orienta S, e velocidade de até

12,24 km/h, não se mostrou forte o suficiente para causar uma baixa da temperatura interna. Para os períodos noturnos, o comportamento foi similar ao mês de fevereiro, com temperatura interna superior a externa, onde apenas na madrugada do primeiro para o dia 2/03/2015, há uma equivalência das temperaturas, o que pode ser explicado, pois houve um momento de ocorrência de vento com direção predominante de N, e velocidade de 14,76 km/h, mantendo-se esta constância para o restante do período da manhã. Salienta-se também que nos momentos de queda de temperatura externa, a interna acompanha de forma próxima, destacando-se assim a facilidade de saída do ar quente do interior do protótipo.

Gráfico 18 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

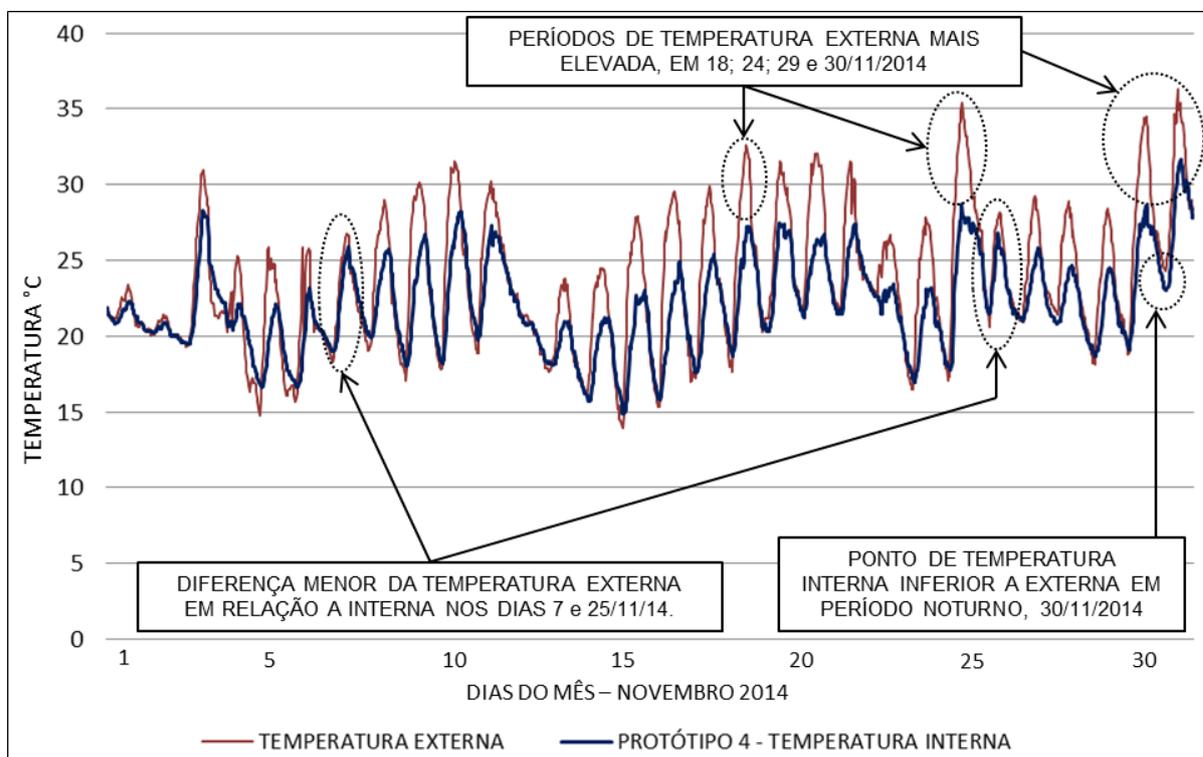
4.4 Protótipo 4

A execução do Protótipo 4 parte do mesmo sistema utilizado no Protótipo 3, com a aplicação do sistema de distribuição de ventilação por efeito de torre de vento, e vãos para captação orientados para N e S. O diferencial está na utilização do sistema de aspersão de água, instalado no interior do duto de captação de ventilação, desenvolvido para reduzir a temperatura do ar captado. Logo no mês de novembro/2014, destaca-se a temperatura interna média de 22,1°C, inferior em

1,54°C se comparado a média externa (23,6°C). Destacam-se no Gráfico 19 os dias 18, 24, 29 e 30/11/2014, onde atingem os maiores picos de temperatura do mês. Porém, o dia 24, às 15h da tarde, registrou-se a maior diferença entre as temperaturas externa (35,4°C) e interna (28,7°C), uma diferença de 6,70C. Salienta-se que a direção de vento para o período foi de predominância SSW, S e SSE, com variação de velocidade de 1,08 até 14,76 km/h. Apenas às 5h do dia 25, a temperatura interna fica superior a externa, durante um intervalo de 1h30min.

O dia 18/11/2014 registrou uma diferença de temperaturas de 5,8°C, também, considerável para o período, por ser também às 15h. Destaca-se a predominância de vento de direção N, NE, NNE e E, com velocidade inferior ao período do dia 24, variando entre 2,52 e 11,16 km/h. A direção de vento não foi tão favorável em relação ao posicionamento da captação de vento do protótipo, mas pela velocidade de vento ter sido mais constante no período, pode ter favorecido a uma redução da temperatura interna.

Gráfico 19 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna novembro/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

Às 23h de 18/11/2014, a temperatura interna fica superior à externa, durante

um intervalo de 4h30min, devido a forte redução da velocidade de vento, chegando a ser nula em um intervalo de 1h30min. O dia 29 apresenta comportamento similar ao dia 18, com diferença de temperatura de 5,9°C no momento de pico de temperatura externa, mantendo-se similaridade de direção de velocidade de vento. A temperatura interna mantém-se inferior à externa durante todo o período da noite.

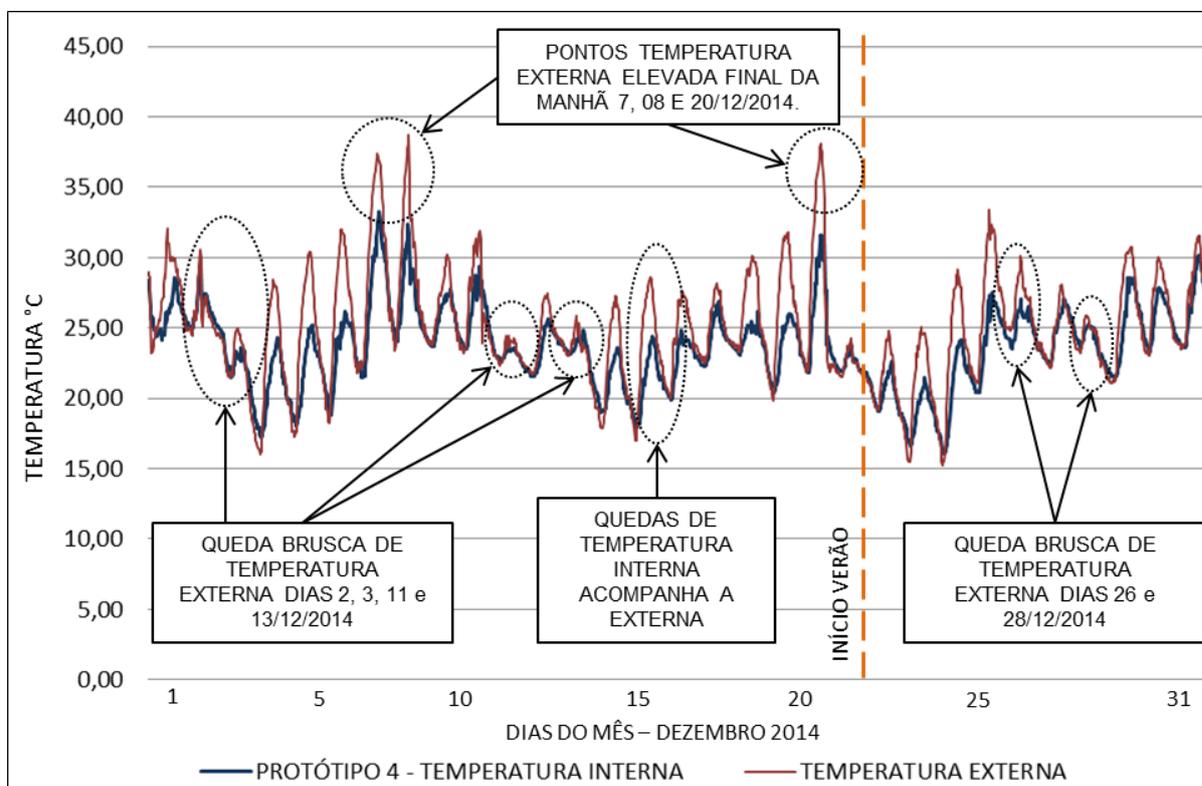
Não ocorre a mesma situação para o dia 30/11/2014, onde, mesmo com um ponto de diferença de temperaturas de 5,6°C, a temperatura interna logo de aproxima da externa. Os dados coletados mostram que houve uma redução na velocidade do vento no período, chegando a um máximo de 9,72 km/h, justificando assim uma diferença inferior. Destaca-se que a partir das 20h, a temperatura interna fica pouco superior à externa, mostrando um leve acúmulo de calor. A maior diferença de temperatura registrada para o período do mês de novembro foi de 8,30°C, no dia 16/11/2014, as 10h30 da manhã, mesmo com uma ocorrência de vento de baixa velocidade, com velocidade de 3,60 km/h, e predominância de ventos de orientações variando de N para L, porém não com tanta importância como no dia 24, devido ao horário do dia, já com bastante acúmulo de calor na atmosfera, e no ambiente interno. Os dias 7 e 25 apresentaram pouca diferença de temperaturas devido à baixa velocidade de vento, onde em muitos momentos se apresentou nula, e chegando há um máximo de 6,12 km/h. Destacando também no Gráfico 19 as curvas descendentes, onde a temperatura interna acompanha rapidamente a queda da temperatura externa, ficando superior em poucos momentos na média de 0,7°C. Ocorre um ponto diferença de 3,2°C, porém, registrou-se chuva no período, o que causou uma queda muito rápida da temperatura externa.

Com os dados registrados para o mês de dezembro, a temperatura média interna chegou ao índice de 23,7°C, diferença de 1,3°C inferior em relação à média externa (25,00°). Porém, ao se fazer a relação dos índices de umidade interna e externa, ocorre uma diferença muito elevada, devido ao sistema de aspersão de água no interior do protótipo. O índice interno chegou a 91,68% de umidade relativa do ar para a média do mês, enquanto o índice externo atingiu a média de 76,90%. Houve a ocorrência de momentos com umidade interna inferior a 60%, todos registrados entre os períodos de 1/12/2014 a 08/12/2014, e são apenas 20 registros, de um total de 1.488 para o mês. Interessante destacar que para estes momentos, a ocorrência de vento predominante foi de direção NE (10 registros), NO (quatro

registros) e N (um registro). Esta predominância de orientações N, sempre atreladas a uma velocidade de vento média de 6,59 km/h, e a maior velocidade registrada foi de 9,72 km/h. Mas esta elevada diferença na contagem de registros, ressalta o não funcionamento do sistema de ventilação natural quanto ao controle da umidade do ar interno, prejudicando a sensação térmica que aumenta em função do excesso de umidade no ar.

Ao se analisar o Gráfico 20, verifica-se a ocorrência de três picos de temperatura superiores a 35°C, onde a máxima atingida foi dia 8/12/2014, com 38,70°C, e a temperatura interna registra 31,70°C, uma significativa redução de 7°C, destacando-se que foi em horário de calor intenso (15h). Neste período a velocidade de vento foi baixa, de 1,08 km/h, porém durante toda a parte da manhã, a velocidade de vento foi bem superior, e se atingiu uma média de 7,63 km/h, com um momento máximo de 13,32 km/h, e orientações de predominância N e NE, reforçando a queda da temperatura interna.

Gráfico 20 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

Durante o restante do dia, a temperatura interna sempre se manteve inferior a externa, somente ficando superior novamente durante três momentos da madrugada do dia 9/12/2014, com uma diferença máxima de $0,4^{\circ}\text{C}$, assim, mantendo-se praticamente constante. Os registros do dia 7/12/2014 apresentam comportamento similar ao do dia oito, com boa ocorrência de ventos e de orientação com predominância similar (N, NE e NO), mas com momentos de ventos de direção E. Porém, a média de velocidade foi superior ($8,64\text{ km/h}$), e atinge uma diferença de temperatura de $6,1^{\circ}\text{C}$ inferior à externa. As ocorrências de vento com orientação L, certamente ocasionaram uma redução de captação, e assim a retirada mais lenta do ar quente interno.

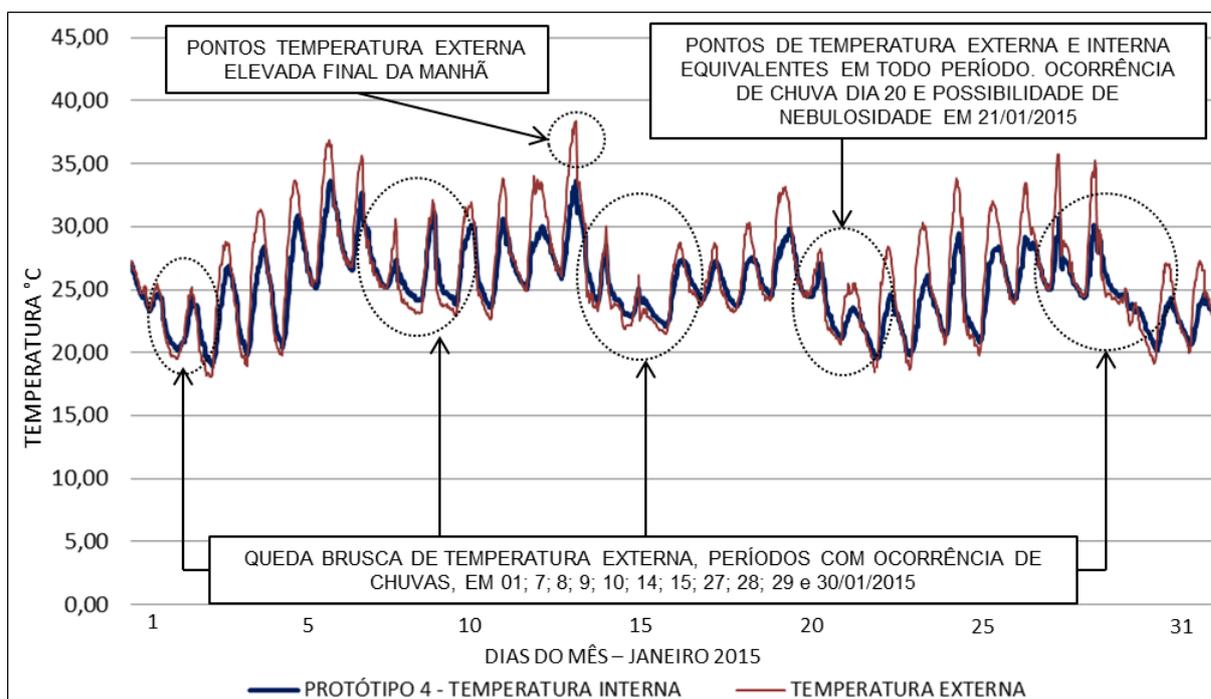
Ainda analisando o Gráfico 20, constata-se que os dias 2, 3, 11, 13, 26 e 28/12/2014 apresentaram uma queda de temperatura rápida, devido a forte ocorrência de chuvas, e ventos com velocidade considerável. Mesmo com quedas bruscas, a temperatura interna se manteve em grande parte do tempo inferior a externa. As curvas descendentes também apresentam a equivalência na queda das temperaturas, onde de 1.488 medições realizadas, onde 28% dos momentos apontam que a temperatura interna foi superior à externa, uma média de $0,6^{\circ}\text{C}$.

Para o mês de janeiro/2015 o Protótipo 4 apresentou a temperatura interna média de $25,2^{\circ}\text{C}$, onde a média externa foi de $26,0^{\circ}\text{C}$, uma diferença muito pequena de comportamento, principalmente devido aos períodos noturnos, em que em muitos períodos a temperatura interna se mostrou superior a externa (a água em forma de vapor favorece a manutenção da temperatura). O acúmulo de umidade no interior do protótipo se mostrou muito elevado, atingindo uma média de 91,88%, superior em 14,46% se comparada a umidade externa (77,42%). Salieta-se que dos 1.488 registros de umidade relativa do ar interna, em 1.113 ela foi superior a 90%. Isso indica que em 75% do período do mês de janeiro a umidade relativa do ar do Protótipo 4, a ventilação natural não foi o suficiente para reduzi-la.

O Gráfico 21 apresenta cinco momentos de temperatura máxima superior aos 35°C , onde destaca-se o dia 13/01/2015, em que a temperatura externa chega a $38,4^{\circ}\text{C}$, superior em $4,8^{\circ}\text{C}$ se comparado a temperatura interna ($33,6^{\circ}\text{C}$). Para o período da manhã deste dia, a diferença de temperatura manteve uma média de $3,96^{\circ}\text{C}$, muito significativa, destacando-se a velocidade de vento, com média de $6,73\text{ km/h}$, com um pico de $14,76\text{ km/h}$, e auxiliado pela direção do vento, que manteve

um padrão de orientação bem definido de NE. Os dias 6, 7, 27 e 28/01/2015 apresentam comportamento similar, com boa diferença de temperatura nos momentos de pico, respectivamente 5,4°C, 4,4°C, 6,6°C e 5,2°C. Porém, para estes dias, a temperatura tem um queda rápida devido à ocorrência de chuvas, e logo ocorre um equilíbrio das temperaturas interna e externa. A boa intensidade de chuvas ocorridas no mês, auxiliando na manutenção de temperaturas mais amenas. O período de janeiro apresentou predominância de vento de orientação NE, S e SO (somando 50,57% de ocorrência), o que auxiliou consideravelmente para a diminuição da temperatura interna.

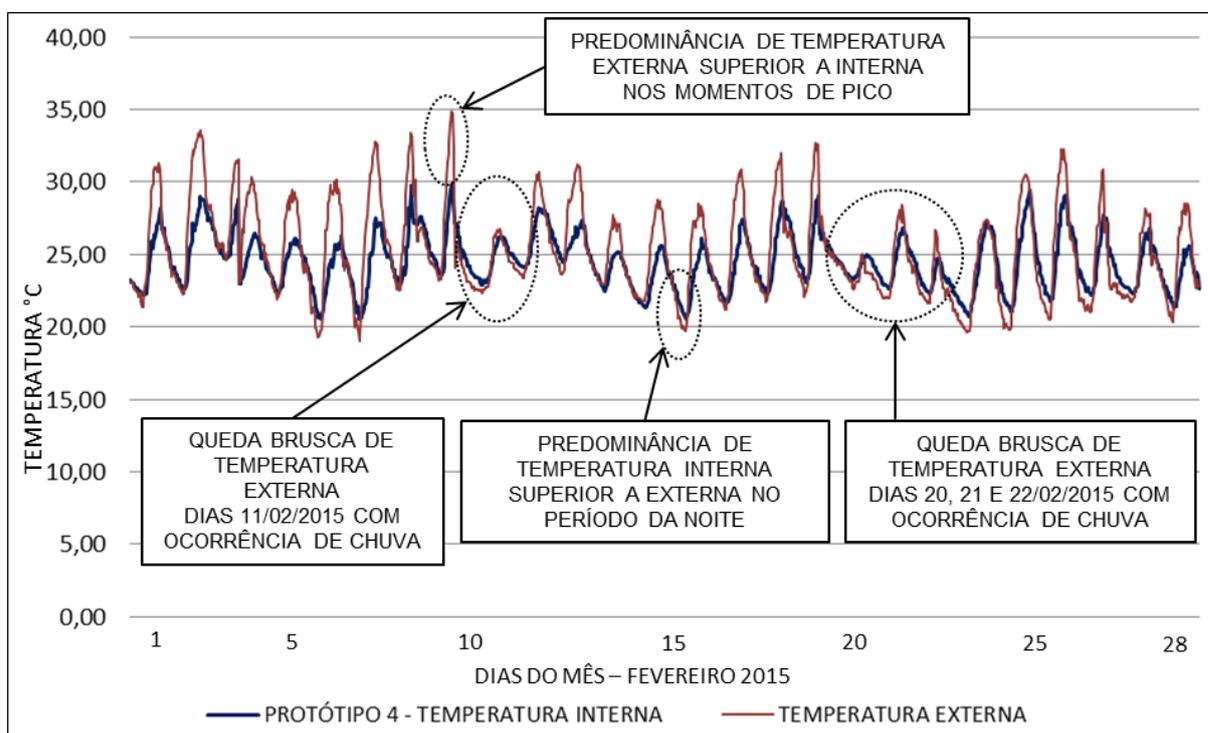
Gráfico 21 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna janeiro/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

Para o mês de fevereiro/2015, a temperatura média interna do Protótipo 4 apresentou o índice de 24,5°C, onde a média externa ficou em 25,2°C, uma diferença de 0,7°C. Em relação a umidade relativa do ar, o sensor instalado no Protótipo 4 apresentou média de 59,42% até o dia 06/02/2014, porém, este dado não deverá ser levado em conta, pois o sensor apresentou defeito, e registrou apenas a informação -0,60% para cada medição.

Gráfico 22 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna fevereiro/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

Conforme registrado no Gráfico 22, os picos de temperatura elevada foram mais constantes no mês, e a temperatura máxima registrada foi de 34,9°C, em 10/02/2015. Neste momento, a temperatura interna registrou 29,9°C (diferença de 5,0°C), quando registrou-se vento com orientação predominante de N, variando para NE e NNE, com velocidade média de 6,3 km/h. A maior diferença de temperaturas registrada foi em 08/02/2015, com 6,3°C, onde a temperatura externa chega ao máximo de 31,7°C, em um intervalo de 3h, há predominância de vento S, com velocidade baixa (média de 3,5 km/h). Durante este período a temperatura externa se elevou até o limite de 32,8°C, porém a temperatura interna se manteve inferior até a madrugada de 09/02/2015.

Houve a ocorrência de registros onde a temperatura interna ficou superior à externa, valor de 3,1°C, também em 10/02. Porém salienta-se que houve a ocorrência de chuvas, ocasionando esta queda de temperatura externa. A ocorrência de vento com 12,25 km/h, e direção SO, S e SE, não foi suficiente para fazer a temperatura interna reduzir mais que a externa. A equivalência ocorreu apenas às 12h do dia 11/02/2015, quando não há mais registro de precipitação. Neste período

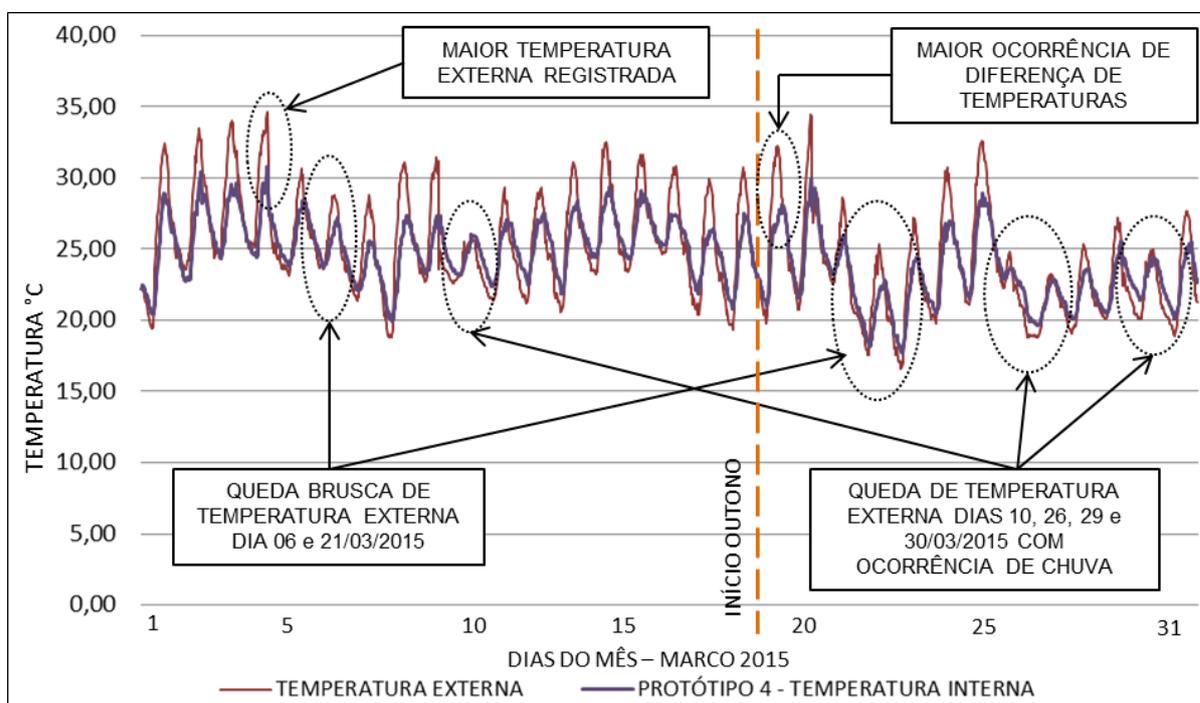
se manteve uma pequena diferença (média de $0,52^{\circ}\text{C}$), pois não há o registro de fortes correntes de vento. Apenas no dia 4/02/2015 a temperatura interna foi inferior a externa durante o período da noite, porém, não é possível verificar velocidade e direção de vento, devido à pane na estação meteorológica instalada junto aos protótipos, e também houve pane na estação do CIH. Os dias com predominância de ocorrência de chuva e nebulosidade, as temperaturas externa e interna se mantiveram equivalentes, com uma leve superioridade para a temperatura interna, como apresenta no Gráfico 22, o dia 20/02/2015.

Concluindo, com os dados coletados no mês de março/2015 para o Protótipo 4, apresentou média de temperatura interna de $24,3^{\circ}\text{C}$, enquanto a média de temperatura externa foi de $24,8^{\circ}\text{C}$, diferença pequena se relacionada apenas a comparação das médias, e ao se analisar o Gráfico 23, constata-se 17 momentos de medição com temperatura elevada, onde a temperatura interna se manteve inferior à externa. O registro do momento de maior diferença de temperaturas foi em 19/03/2015, quando a estação do CIH registrou ventos de $12,9\text{ km/h}$, de orientação LSE, que foi predominante por um período de 8h, e a temperatura interna ficou superior à externa apenas às 21h da noite, certamente devido à inércia térmica dos materiais. O registro de maior temperatura para o mês, foi no dia 04/03/2015, onde se chegou a $34,6^{\circ}\text{C}$, e a diferença foi de $3,8^{\circ}\text{C}$, mesmo com predominância de vento com orientação NO, e velocidade de $5,04\text{ km/h}$. Na hora seguinte a temperatura cai bruscamente devido a ocorrência de chuva e nebulosidade, com registro do CIH de $17,28\text{ mm}$. A queda da temperatura interna não acompanha no primeiro momento a queda da temperatura externa, porém, chegando a uma equivalência apenas na madrugada do dia seguinte, devido a baixa velocidade de vento registrado no intervalo de 24 medições, uma média de $0,9\text{ km/h}$, e salienta-se que em 9 registros (37%), a velocidade foi nula, zero, assim ressalta-se a lentidão na equivalência das temperaturas.

Dias 6 e 21/03/2015 há registro de temperatura externa inferior a $30,0^{\circ}\text{C}$, e sem registro de chuva. Para o dia 6/03/2015 a constância de ventos de orientação predominantemente S, e velocidade média de $5,90\text{ km/h}$, segundo dado as estação meteorológica instalada junto aos protótipos. Segundo a estação do CIH, a velocidade média se apresentou maior, com $14,84\text{ km/h}$. Diferença esta, certamente ocasionada pelas edificações e relevo do terreno onde estão executados os

protótipos. Neste dia, a diferença de temperaturas registrada no momento de calor mais intenso ($28,8^{\circ}\text{C}$) foi de $2,3^{\circ}\text{C}$. Para o dia 21/03/2015, ocorreu falha na gravação dos dados da estação junto aos protótipos e, segundo os registros da estação do CIH, a velocidade média foi de $16,09\text{ km/h}$, com predominância de ventos de orientação S. Para esta data, a diferença de temperaturas no momento crítico de calor ($28,60^{\circ}\text{C}$) foi de $2,80^{\circ}\text{C}$. Ao se comparar os dois momentos, em que ocorreu a maior média de velocidade, constata-se a diferença nas temperaturas. Para os dias onde houve ocorrência de chuvas, conforme Gráfico 23, mesmo independentemente da predominância de direção e velocidade de vento, as temperaturas interna e externa se mantiveram equivalentes para o período diurno, e para o período da noite houve uma pequena superioridade da temperatura interna. Salienta-se que a umidade do ar foi fundamental para a manutenção da temperatura interna, porém, esta se manteve fora dos padrões de conforto estabelecido em norma.

Gráfico 23 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

A análise individual dos Protótipos indica resultados consistentes quanto aos sistemas de coleta de ventilação natural para os elementos propostos. A não utilização de isolamento térmico nas alvenarias foi fundamental para o

desenvolvimento dos testes, e atestar a eficiência dos sistemas desenvolvidos nos quatro protótipos. Como o esperado no início do desenvolvimento do projeto, o Protótipo 1 não apresentou desempenho satisfatório quanto ao desempenho térmico, tendo em vista que não possui sistema de distribuição de ventilação natural, e assim, serviu como referência significativa para comparação com os sistemas propostos. Importante se destacar, e fixar as comparações entre os sistemas, nos momentos em que os dados registrados se apresentaram mais consistentes no período de desenvolvimento da pesquisa.

4.5 Análises Comparativas

4.5.1 Novembro/2014

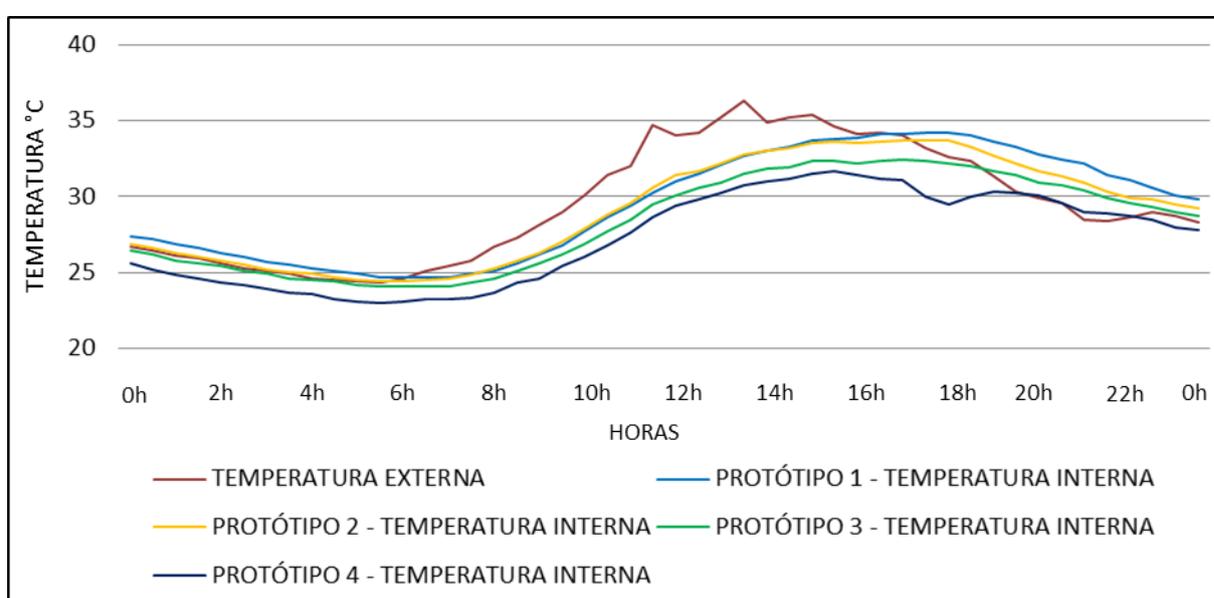
O período de novembro/2014 registrou média de temperatura externa de 23,66°C, mantendo-se dentro das médias dos últimos anos, conforme já apresentado nas Tabelas Oito e Nove. O Protótipo 1 apresentou média de temperatura superior à média mensal, nos Protótipos Dois e Três as médias de temperatura interna inferiores, se apresentaram muito próximas a externa, com diferenças de 0,1°C e 0,8°C, respectivamente podendo ser considerada pequenas. A diferença em relação ao Protótipo 4 ficou mais consistente, com valor de 1,5°C inferior à média externa.

Ao se comparar o período onde ocorreu a maior temperatura externa, dia 30/11/2014, foi registrado 36,30°C por volta das 14h. O Gráfico 24 apresenta claramente o movimento crescente das temperaturas externa e internas dos protótipos. Destaca-se a pouca diferença das temperaturas dos Protótipos Um e Dois, ambas equivalentes a externa por volta das 15h da tarde, e a descendente mais constante a partir das 20h da noite. O comportamento do Protótipo 3 se apresentou similar, porém, com temperatura interna equivalente a externa durante a madrugada devido a inércia térmica da materialidade, e ficando superior apenas após as 19h da noite.

Denota-se também no Gráfico 24 a curva da temperatura interna do Protótipo 4 (que possui o mesmo sistema de captação de vento do Protótipo 3, adicionado o sistema de aspersão de água), e que a temperatura interna se apresentou, em quase todo o período, inferior a temperatura externa. No intervalo das 16h até as 18h, notou-se a ocorrência de um momento de queda de temperatura, havendo

registro de boa constância de vento com orientação NE, com velocidade média de 6,84 km/h, chegando a um momento de diferença de temperatura de 3,2°C. Após às 18h a velocidade do vento tem uma queda rápida (1,08 km/h), fazendo com que a temperatura interna se mantenha equivalente à externa. Às 23h se registrou nova queda de temperatura interna, e registrou-se velocidade de vento de 12,24 km/h, onde se manteve a predominância de orientação NE.

Gráfico 24 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 30/11/2014.



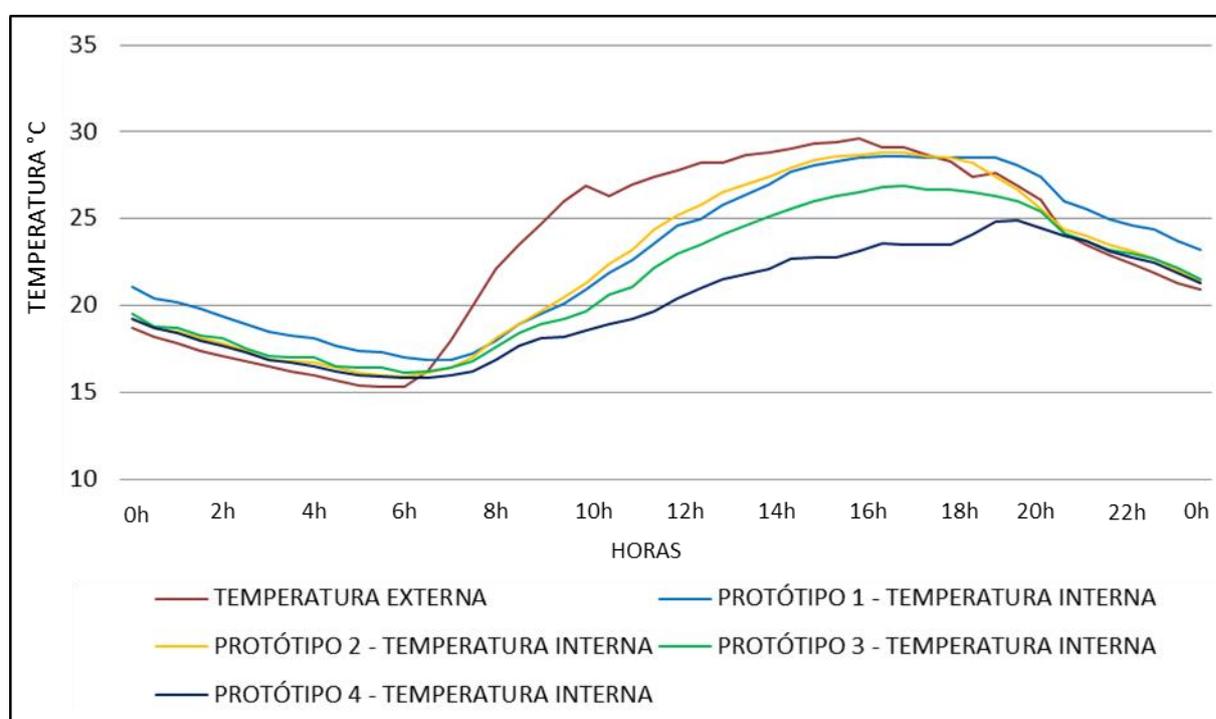
Fonte: SPINELLI (2015).

A data de 16/11/2014 registrou a maior diferença de temperaturas externa e interna, e conforme apresenta o Gráfico 25, pode-se verificar que há um intervalo de aproximadamente 10h de duração (8h da manhã até as 18h da tarde), onde se mantem uma constância de temperatura interna bem inferior à externa para o Protótipo 4. Esta diferença de temperatura se mantém em média de 6,6°C para o Protótipo 4, muito superior em relação ao Protótipo 1, que ficou em 3,0°C; ao Protótipo 2, diferença média de 2,63°C; e ao Protótipo 3, com diferença de 4,3°C.

Salienta-se no Gráfico 25 o comportamento do Protótipo 2, que mesmo com o auxílio do sistema de distribuição de ventilação por efeito chaminé, a temperatura interna se manteve superior a do Protótipo 1. Porém, por volta das 17h houve um significativo aumento na velocidade do vento, atingindo uma média de 7,40 km/h, a

queda da temperatura interna acompanha de forma proporcional a queda da temperatura externa, o que não ocorre no Protótipo 1. Neste mesmo horário pode-se verificar que a temperatura interna do Protótipo 4 se mantém estável, voltando a subir apenas por volta das 20h, quando a velocidade do vento se reduz rapidamente, mantendo uma média de 1,20 km/h, fazendo com que as temperaturas internas se mantenham próximas da temperatura externa. Importante salientar que a orientação do vento para o dia 16/11/2014 foi predominantemente N e NE, o que facilitou bastante a circulação de ar nos protótipos.

Gráfico 25 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 16/11/2014.



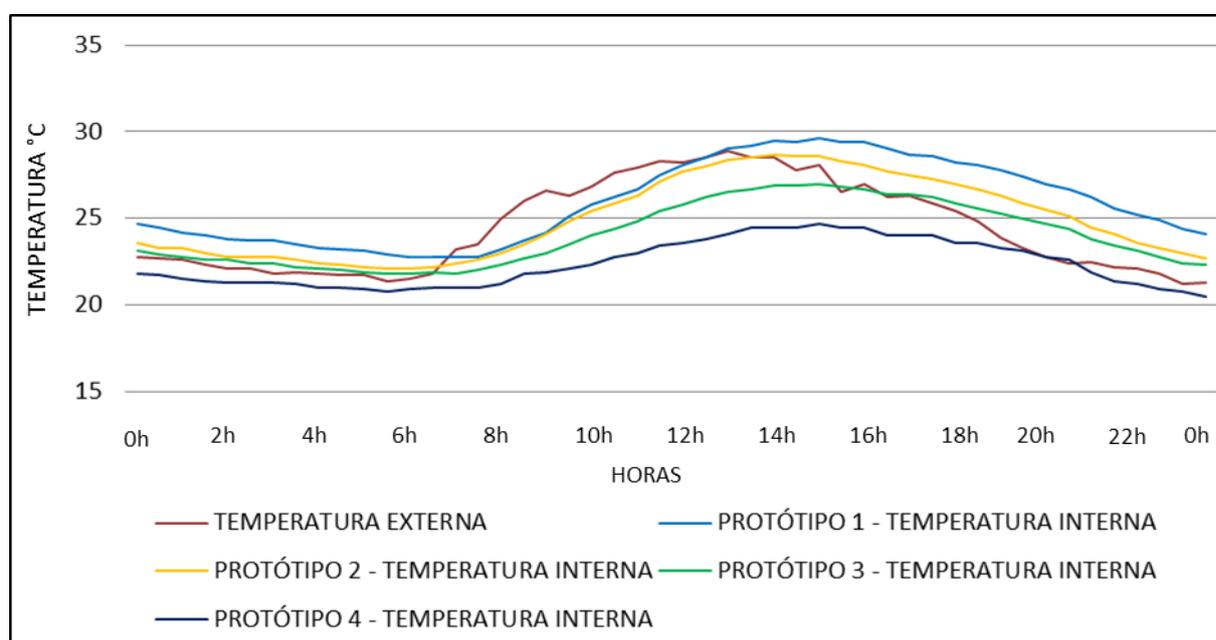
Fonte: SPINELLI (2015).

Ao se levar em conta a análise por velocidade do vento¹¹, os dias 27 e 29/11/2014 apresentaram dados bem interessantes quanto às diferenças de temperaturas externa e internas. Ao se verificar com mais detalhe, o dia 27

¹¹ Optou-se selecionar períodos com pico de velocidade superior a 14,00 km/h, que houve poucas ocorrências registradas. Salienta-se também que com este indicativo de velocidade, não se leva em consideração os dias em que também foram registradas ocorrência de chuva, pois a nebulosidade poderia acarretar distorções nos dados de temperatura interna mensurados para os protótipos.

apresenta um momento de temperatura externa menor que o apresentado no dia 29, mas tem mais constância de velocidade e predominância de orientação de vento de vento. Ao se analisar o Gráfico 26, verifica-se que no dia 27/11/2014 registrou-se queda da temperatura externa por volta das 15h, e salienta-se que para o período da tarde registrou-se uma média de velocidade do vento de 12,46 km/h, com pico máximo de 18,36 km/h, e orientação predominantemente S. Verifica-se que a temperatura interna do Protótipo 1 continua com a temperatura interna ascendente, demonstrado que a materialidade continuou liberando calor, e não houve queda de temperatura, devido à orientação de vento ser oposta a abertura para coleta de vento existente no protótipo. O Protótipo 2 apresenta uma queda da temperatura interna mais rápida, mas não consegue acompanhar a queda da temperatura externa, porém, como foi projeto com um sistema de ventilação, este pode perder calor mais facilmente devido a diferença de massas na relação ar quente / ar frio.

Gráfico 26 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 27/11/2014.



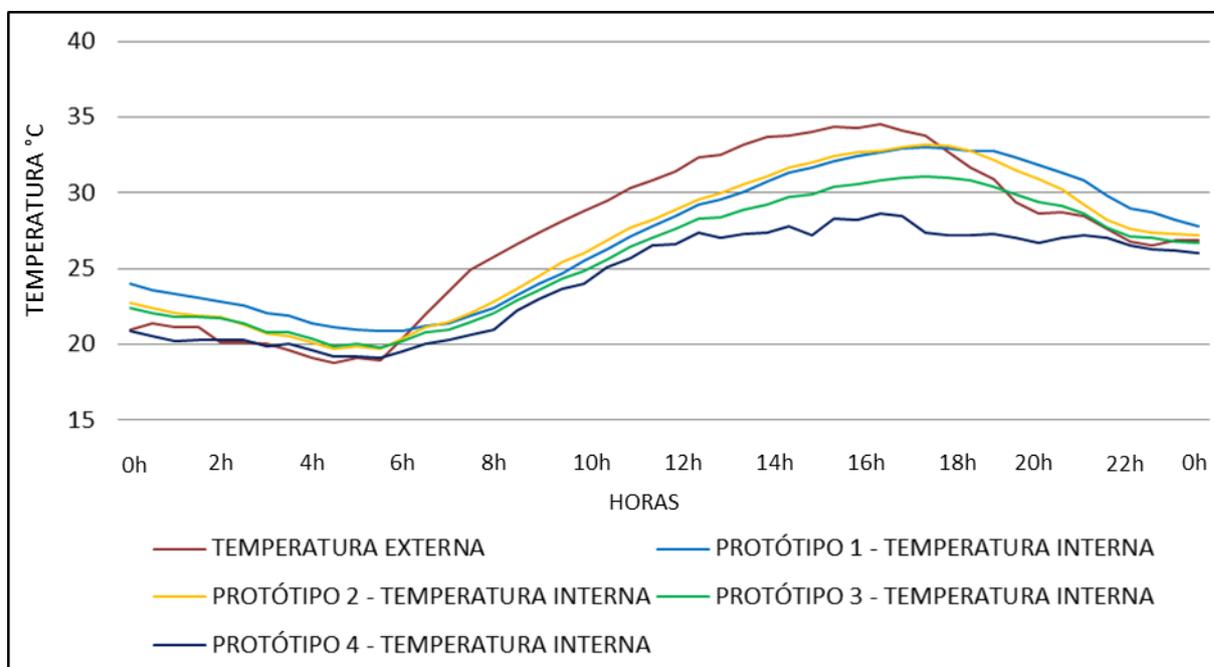
Fonte: SPINELLI (2015).

Ressalta-se também no Gráfico 26 o comportamento de todos Protótipos, apresentam a queda de temperatura interna a partir das 16h, quando a velocidade do vento atinge 18,36 km/h. A partir deste momento a velocidade se mantém inferior, porém, com velocidade constante. O sistema de aspersão de água instalado no

Protótipo 4 contribui para manter um controle da temperatura interna. Destaca-se o momento quando as temperaturas (interna e externa) ficam equivalentes, por volta das 20h, quando a velocidade do vento reduz consideravelmente, chegando a ter momentos de 3,6 km/h e até registro nulo. Logo após a velocidade vento atinge índices superiores a 3,6 km/h (as 23h30min), causando uma leve queda da temperatura interna em relação à externa.

O dia 29/11/2014 apresenta temperatura externa superior, porém com boa velocidade de vento, atingindo 17,28 km/h às 10h, e mantendo-se com boa velocidade média (12,96 km/h) até às 12h30min. Durante todo o dia, a predominância de direção de vento varia entre N e NE. No Gráfico 27 destaca-se que as temperaturas internas se mantem bem inferiores a externa, mesmo no Protótipo 1. Interessante é a manutenção de temperatura interna do Protótipo 2 se manter mais elevada que a do Protótipo 1, porém, nota-se que com a queda da temperatura externa, ele perde calor interno de forma mais rápida.

Gráfico 27 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 29/11/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

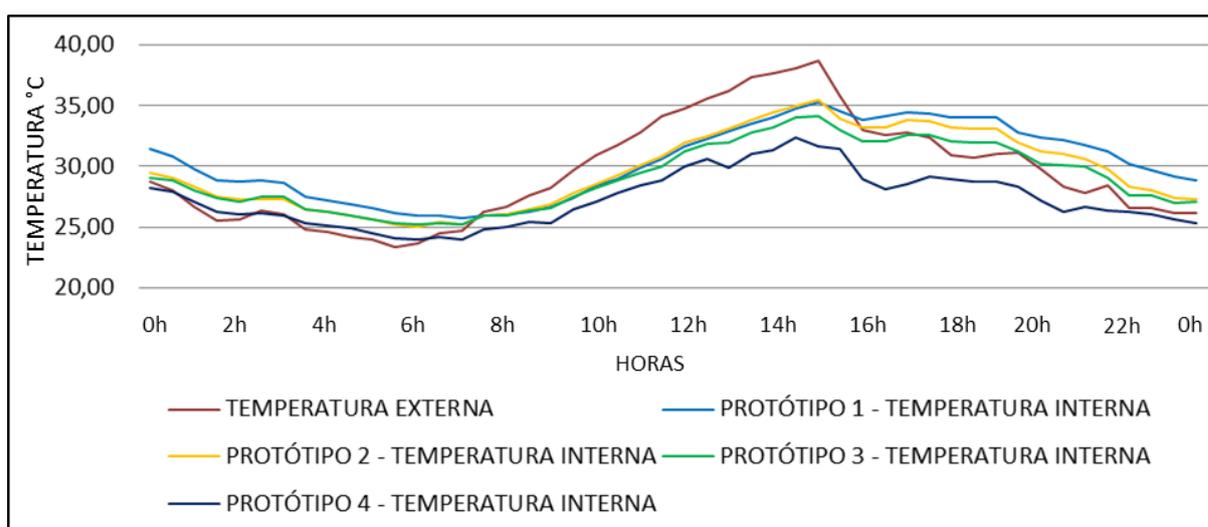
Ainda analisando o Gráfico 27, verifica-se que a temperatura interna dos Protótipos 2 e 3 conseguem acompanhar a descendente da temperatura externa,

porém logo se tornam equivalentes, e a redução das três temperaturas ocorrem contínuas. O Protótipo 4 consegue manter a temperatura interna mais constante, ocorrendo pequenas oscilações, estas causadas pelas mudanças de velocidade de vento, ficando claro o horário das 14h30min, onde há um variação de velocidade de 3,6 km/h para 7,2 km/h, e se repete com velocidade aproximada por volta das 16h30min. Novamente o sistema de aspersão de água se mostrou eficiente no auxílio a redução de temperatura.

4.5.2 Dezembro/2014

Para o período de dezembro/2014 registrou-se média de temperatura externa de 25,0°C, muito próximo das médias mais elevadas registradas nos anos de 2012 e 2013, que foi de 25,4°C. Mesmo com o início do verão no dia 21/12, os momentos de temperatura mais elevada e com boa ocorrência de vento, foram no início do mês. O dia 08/12/2014 apresentou a maior temperatura registrada para o período de dezembro, mesmo com registro de chuvas para o período da manhã e parte da tarde (acumulado de 9,6 mm), atingindo 38,7°C.

Gráfico 28 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 08/12/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

O Gráfico 28 apresenta o comportamento de elevação de temperatura constante no período, e logo no início da manhã se registra uma constância na temperatura interna dos Protótipos Um, Dois e Três, e para o Protótipo 4 a

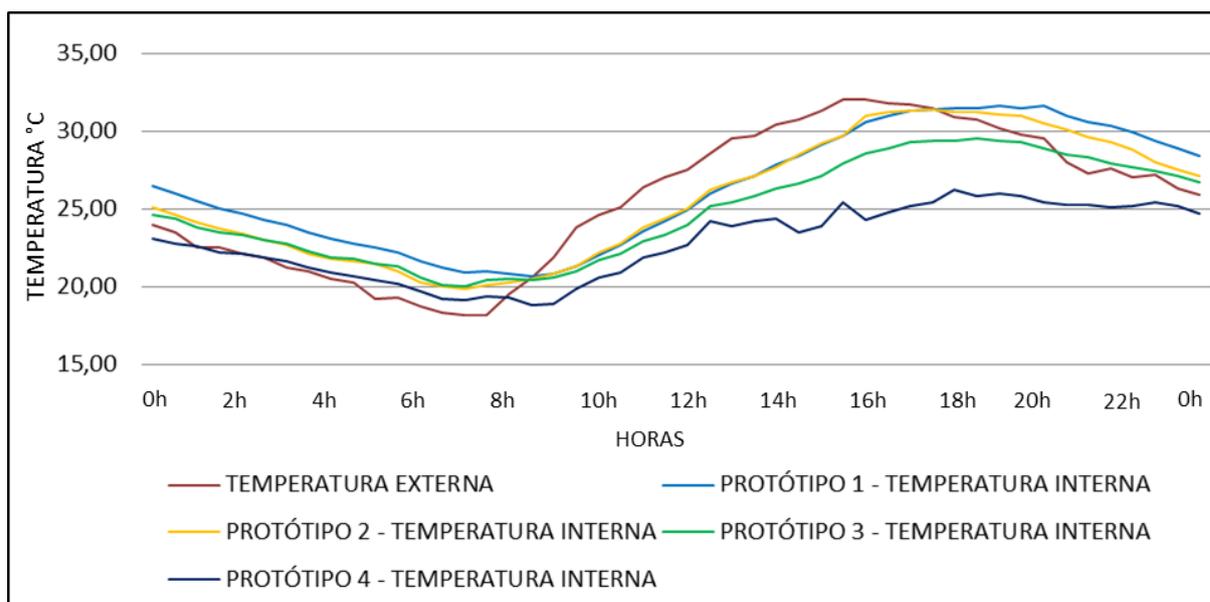
temperatura apresentou-se em média 1°C inferior aos demais. Uma pequena variação de temperatura é registrada a partir das 7h30min, até às 9h, onde houve ocorrência de chuvas, e registro de vento de orientação predominante NE, com velocidade média de 10,44 km/h, fazendo com que as temperaturas internas demorem mais para se elevarem. Porém, no Protótipo 4, há o registro de leve queda de temperatura, mantendo-se mais eficiente que os demais. Às 13h houve o registro de queda de temperatura para os Protótipos Três e Quatro, quando a ocorrência de vento com velocidade de 8,65 km/h, e atrelado com a utilização do sistema de aspersão de água, o Protótipo 4 apresentou uma pequena vantagem em relação ao Protótipo 3. Por volta das 15h, há uma forte queda de temperatura externa, ocasionada pela ocorrência de chuvas, e vento com variação de orientação entre SE e SO, e média de velocidade de 9,86 km/h, até as 16h30min quando não há mais registro de pluviosidade. A queda total de temperatura neste intervalo de tempo foi de 5,7°C, conforme o Gráfico 28. Fica evidenciada a eficiência do Protótipo 4 em relação ao demais, principalmente quando ocorreu vento em orientação e velocidade ideais para forçar a troca de ar interno. O Protótipo 3 tem uma leve vantagem em relação ao Protótipo 2, mas ambos não conseguem acompanhar de perto a queda da temperatura externa, e o Protótipo 1 tem uma redução muito lenta de temperatura interna, não havendo saída para o calor do seu interior.

Ao se analisar o momento em que se atingiu a maior diferença de temperaturas externa e internas, no dia 06/12/2014 as 16h30 atingiu-se 7,7°C de diferença no interior do Protótipo 4, conforme representado no Gráfico 29. Neste período ocorreu uma boa variação de temperatura interna, certamente atrelada a direção e velocidade do vento, que teve predominância de orientação S, com velocidade média de 10,10 km/h. Os demais protótipos não apresentaram variação de temperatura para este momento, mantendo o calor no interior mesmo com o início da noite, e não havendo incidência de radiação solar. Destaca-se também que no período da madrugada, a temperatura externa se mantém inferior à temperatura interna, apenas se mantendo equivalente com a temperatura do Protótipo 4.

Para a análise de ocorrência de velocidade de vento elevada, levou-se em consideração analisar o dia 07/12/2014, que registrou uma temperatura máxima de 37,40°C, contrapondo-se com períodos de boa velocidade de vento. Pode-se verificar no Gráfico 30 que logo no início da manhã apenas a temperatura interna do

Protótipo 4 estava inferior a temperatura externa. Por volta das 8h da manhã há uma pequena variação nas temperaturas dos Protótipos Três e Quatro, quando se registrou velocidade de vento de 12,24 km/h, com orientação predominante NE, se mantendo com uma constância até as 13h (velocidade média de 9,54 km/h).

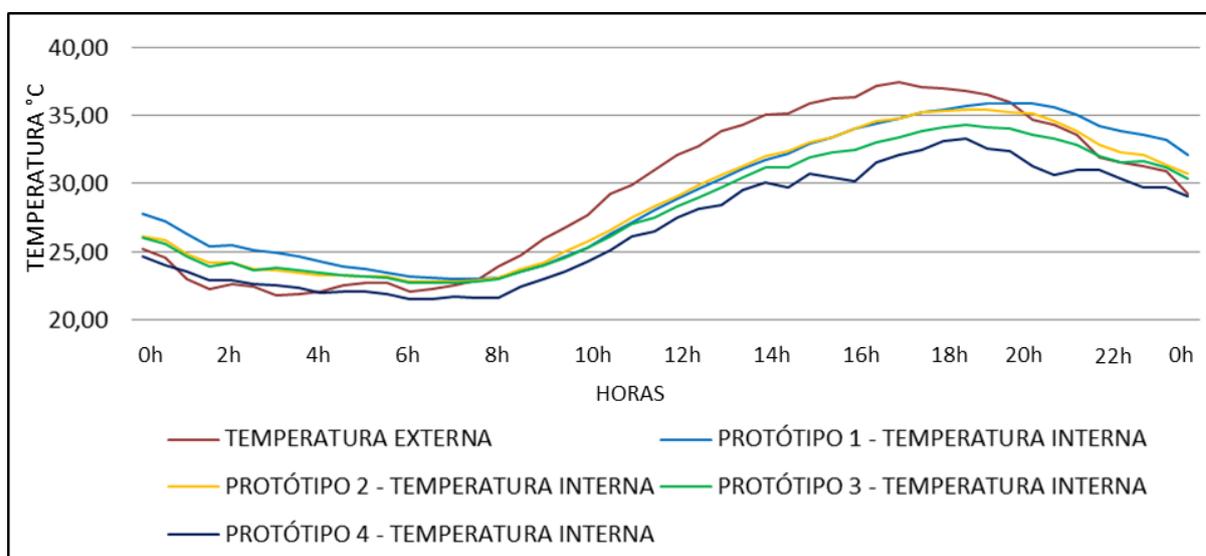
Gráfico 29 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 06/12/2014.



Fonte: SPINELLI (2015).

Destacam-se também para o Protótipo 4 uma queda de temperatura interna às 16h30min, em momento de registro de velocidade de vento de 8,64 km/h e orientação NE, ocasionando uma diferença de temperatura externa/interna de 6,10°C. Porém, por não se manter constante o vento, a temperatura interna seguiu em elevação. O Protótipo 2 inicia uma queda mais acentuada de temperatura apenas às 18h da tarde, horário onde há uma redução considerável de radiação solar, a de vento de 9,72 km/h, e orientação NE não tiveram influência relevante. Já no Protótipo 4 para o mesmo momento, há uma leve queda de temperatura registrada. No período da noite não há velocidade de vento considerável e, mesmo assim, as quedas de temperaturas internas acompanham à externa, com o Protótipo 1 de forma mais lentamente, e o Protótipo 4 mais rapidamente, em comparação aos demais.

Gráfico 30 – Comparativo Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 07/12/2014.

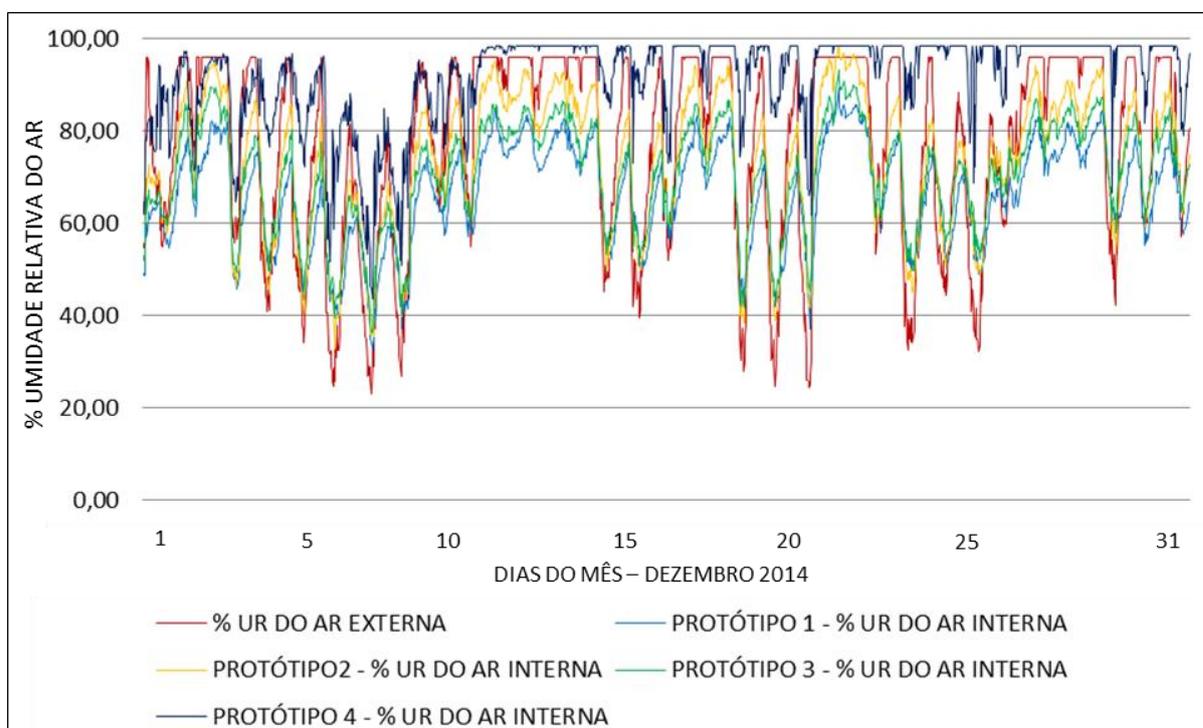


Fonte: SPINELLI (2015).

Em relação à Umidade Relativa do Ar, pode-se verificar no Gráfico 31 que a forma mais eficiente de controle no interior dos protótipo ainda foi a natural, com inserção de umidade apenas pelo vento, sem a utilização do sistema de aspersão¹² de água, utilizado no Protótipo 4, auxiliando para controle de temperatura, mas mantendo o percentual de umidade relativa do ar interno sempre a níveis extremos, superiores aos níveis de umidade relativa do ar externo. Os registros de queda ocorreram apenas quando a umidade externa estava inferior a 60%, e assim forçando com que a retirada de excesso de umidade interna saísse do interior do Protótipo 4. Os protótipos Um e Três apresentam uma melhor eficiência em relação ao demais, onde: a) provavelmente o Protótipo 1 sempre possui umidade interna inferior a externa, devido a ter uma corrente de vento inferior aos demais, e assim, menos umidade consegue ser inserida dentro do ambiente interno; b) o Protótipo 3 apresenta melhor eficiência, por haver mais pontos de coleta de vento (N e S), e assim, ampliar a corrente de vento no ambiente interno.

¹² O sistema de aspersão utilizado no Protótipo 4 foi acionado em novembro/2014, porém no início do mês de dezembro haviam equipes de outras atividades trabalhando próximas aos protótipos, que desligavam o sistema, e a partir do dia 12/12/2014 foram avisadas as equipes para não interferir no sistema, e mantê-lo ligado.

Gráfico 31 – Percentuais de Umidade Relativa do Ar Externo e Interno para o mês de dezembro/2014.

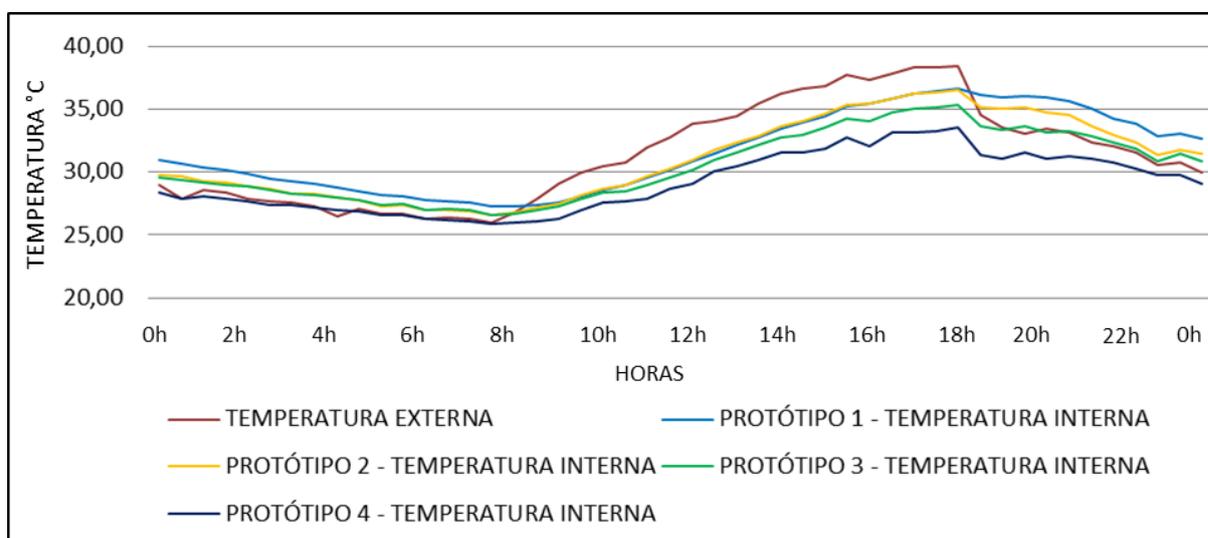


Fonte: SPINELLI (2015).

4.5.3 Janeiro/2015

Janeiro/2015 registrou a segunda maior média de temperatura nos últimos anos, ficando em 26,00°C, inferior apenas a do ano de 2014 (26,7°C), assim podendo ser considerado como um período de calor intenso, com 19 dias do mês com temperatura superior a 30,0°C. Destaca-se o dia 13/01/2015, onde foi registrada a ocorrência da maior temperatura externa para o mês de janeiro, atingindo o pico de 38,4°C, às 18h, conforme representado no Gráfico 32. Verifica-se que os Protótipos Três e Quatro tem um melhor rendimento em relação aos Protótipos Um e Dois, porém, destaca-se o Protótipo 4, onde por volta das 12h o registro de temperatura interna começa a se distanciar de forma mais significativa dos demais, certamente Influenciado pela velocidade de vento até as 16h30min, que manteve uma boa constância, com média de 8,72 km/h, e predominância (90% dos registros) de orientação NE. Há um declínio do gráfico por volta das 16h, porém, o registro é mais intenso às 18h, quando logo que se atinge a temperatura máxima do dia, há uma queda brusca de 3,8°C. Neste momento, há o registro de velocidade de vento de 14,76 km/h e orientação S.

Gráfico 32 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 13/01/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

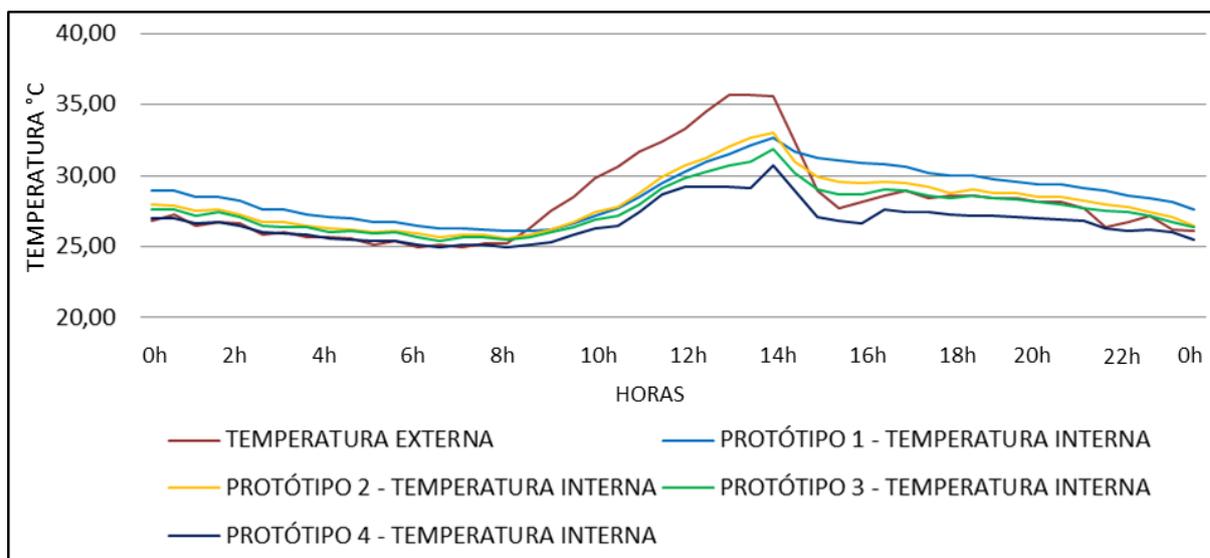
Não houve o registro de chuva para o dia 13/01/2015, porém, pode ter ocorrido nebulosidade que auxiliaram na queda da temperatura. Registra-se a eficiência dos protótipos Três e Quatro, onde a temperatura interna acompanha de forma imediata a queda da temperatura externa, e com o auxílio da aspensão de água para o Protótipo 4, a queda mais significativa.

Para o momento de maior diferença de temperatura, foi registrado o dado coletado no dia 27/01/2015, às 14h da tarde com a temperatura do Protótipo 4 6,60°C inferior a temperatura externa, conforme registrado no Gráfico 33. Para este momento a direção de vento foi de orientação N, com velocidade baixa, de 3,6 km/h, porém suficiente para manutenção da temperatura interna. Salienta-se que nas horas anteriores foram registradas velocidades de vento inferiores, mas suficiente para manutenção da temperatura interna do Protótipo 4.

O registro de queda abrupta de temperatura externa foi ocasionado devido à ocorrência de chuvas no período. Verifica-se que os Protótipos 2, 3 e 4 mostram uma resposta rápida à queda de temperatura externa, já que o vento inicia com orientação N, e velocidade de 8,64 km/h, e por volta das 15h muda de orientação para S, com velocidade de 11,16 km/h, auxiliando mais na queda de temperatura dos protótipos Três e Quatro. Com a parada da chuva, a temperatura externa e as temperaturas internas se elevam novamente, pois a velocidade de vento cai

consideravelmente, registrando média de 2,88 km/h, onde apenas o Protótipo 4 se mantém com temperatura inferior (em média 1,00°C).

Gráfico 33 – Comparativo do Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 27/01/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

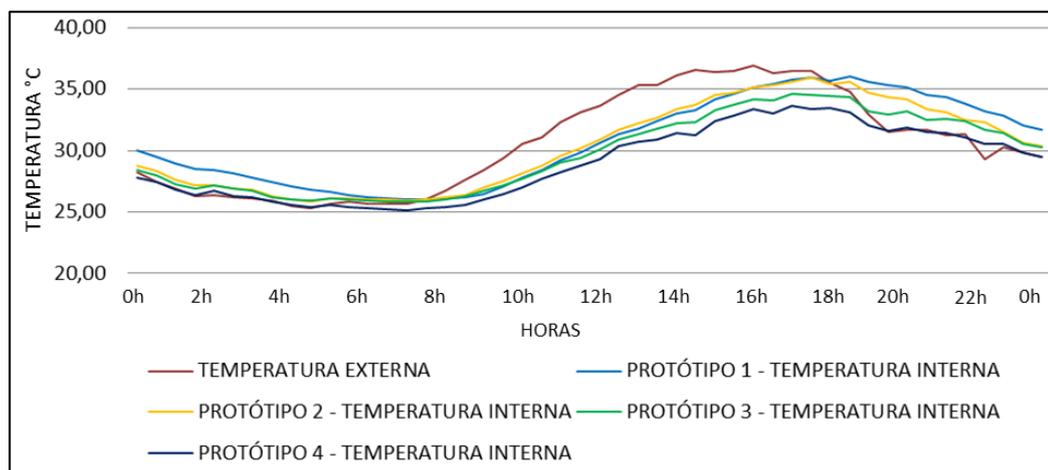
O dia 06/01/2015 apresentou a velocidade máxima registrada de 15,84 km/h, às 9h da manhã, porém, mesmo com orientação predominantemente NE até às 13h, não se mostrou forte o suficiente para forçar uma queda na temperatura interna dos protótipos. Houve o retardo da elevação da temperatura interna dos protótipos Três e Quatro.

A forte queda de temperatura externa registrada às 18h, mostra que não há um acompanhamento significativo nas quedas das temperaturas internas, que mesmo com velocidade de vento significativa de 12,24 km/h, porém, a orientação L não é favorável para o ponto de coleta de ventos para nenhum dos protótipos.

Bem como o período do mês de dezembro/2014, os registros percentuais de umidade relativa do ar para janeiro, apresentam melhor eficiência para os protótipos Um e Três. Devido ao sistema de aspersão de água, o Protótipo 4 apresentou uma saturação da umidade relativa do ar no interior do protótipo, registrando quedas apenas em períodos onde a umidade relativa do ar externo foi inferior a 60%. Para o fim do período, o sistema de aspersão foi desligado, e pode-se verificar a dificuldade que o vento tem em retirar a umidade em excesso do interior, e da umidade que

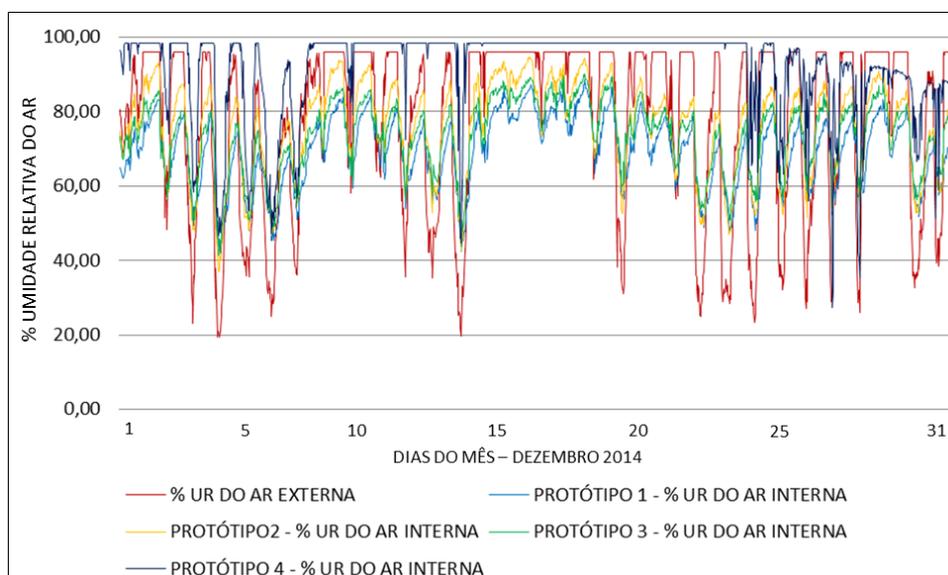
ficou acumulada nas alvenarias do protótipo, que foi elemento causador de patologias¹³ nas mesmas.

Gráfico 34 – Comparativo do Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 06/01/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

Gráfico 35 – Percentuais de Umidade Relativa do Ar Externo e Interno para o mês de janeiro/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

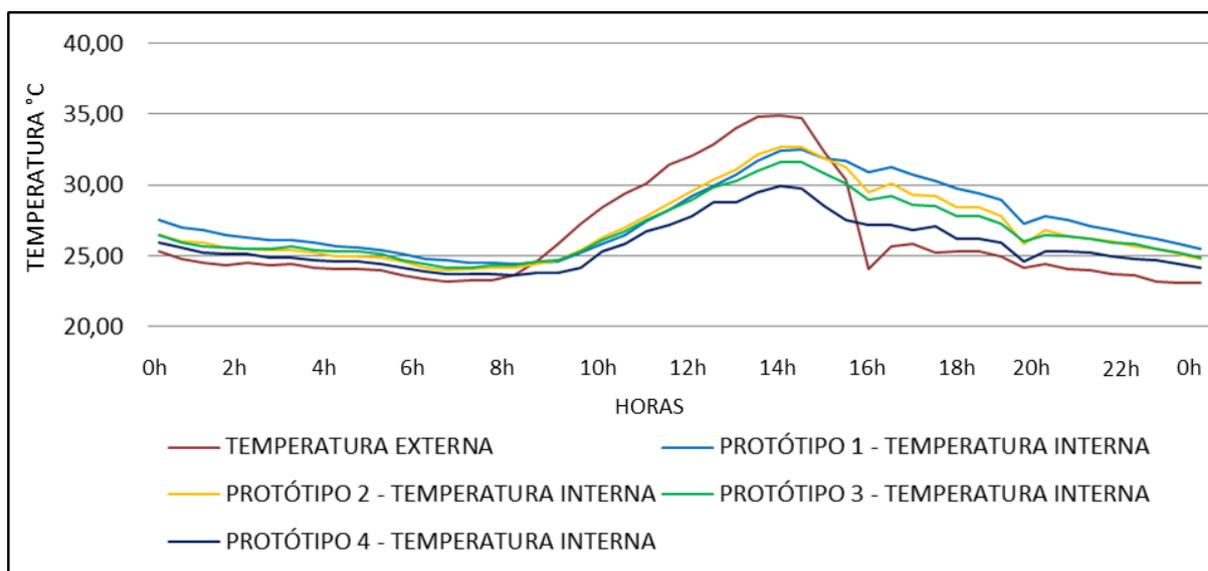
¹³ Patologia (derivado do grego *pathos*, sofrimento, doença, e *logia*, ciência, estudo) é o estudo das doenças em geral sob aspectos determinados, tanto na medicina quanto em outras áreas do conhecimento, como matemática e engenharias, onde é conhecida como "Patologia das Edificações" e estuda as manifestações patológicas que podem vir a ocorrer em uma construção (MONTENEGRO; FRANCO, 2004).

4.5.4 Fevereiro/2015

Com média de temperatura de 25,2°C, o mês de fevereiro/2015 se aproximou das maiores médias anuais registradas, atingindo a 26,3°C, conforme já citado anteriormente, confirmando as altas temperaturas para o verão de 2015, possivelmente devido à influência do *El Niño* (HACKBART, 2014).

No dia 10/02/2015, a temperatura externa atinge o ponto máximo do mês, de 34,9°C, às 14h, e sofre uma forte queda registrada, certamente ocasionada devido à nebulosidade. Conforme representado no Gráfico 36, às 16h esta queda atinge temperatura inferior a 25,0°C, em que há ocorrência de chuvas. Neste momento a velocidade de vento atinge 20,88 km/h, porém, verifica-se que no Protótipo 1 a orientação de vento registrada de SO, não foi favorável a retirada do calor, até pela ausência do sistema de ventilação.

Gráfico 36 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 10/02/2015.



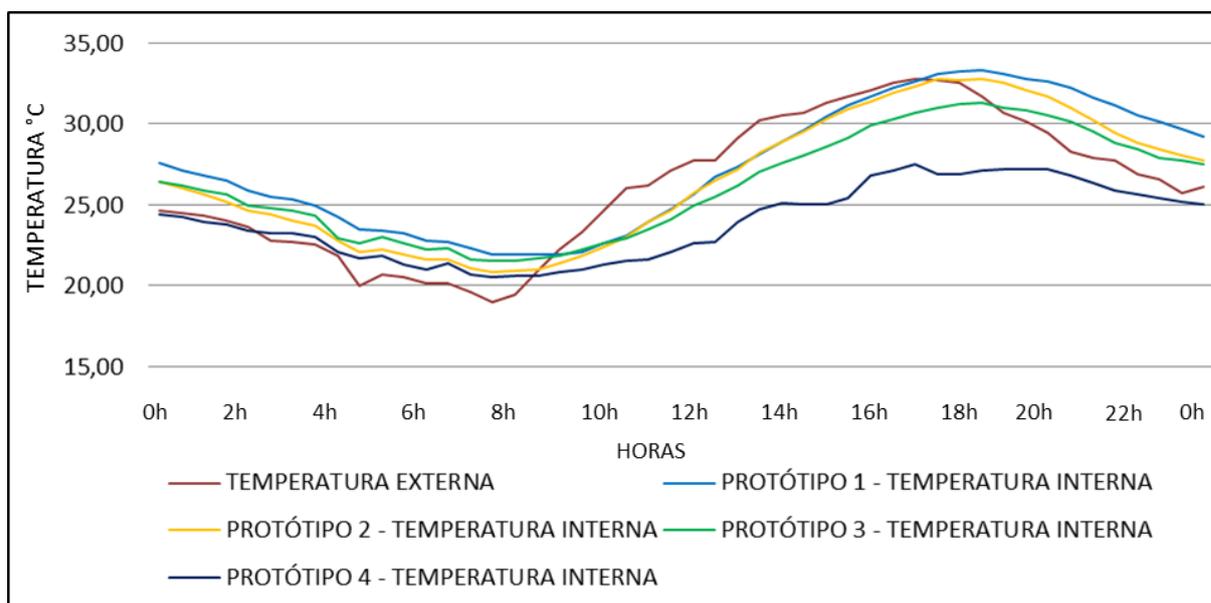
Fonte: SPINELLI (2015).

Para o Protótipo 2, a queda de temperatura das 16h pode ter ocorrido devido a força de vento, e a um movimento inverso de corrente de vento ao previsto em projeto, em função da orientação de vento. Os protótipos Três e Quatros apresentam eficiência superior ao Protótipo 2, porém, destaca-se a utilização do resfriamento do ar captado, pelo sistema de aspersão de água. Destaca-se também no Gráfico 36 o registro de queda de temperatura interna nos quatro protótipos às 20h, quando há

uma variação da orientação de vento, de S para NE, com velocidade de vento média de 3,6 km/h, registrado pela estação meteorológica local (Instrutemp ITWH-1080). Para este momento a estação do CIH registrou velocidade de vento superior, com 17,7 km/h, podendo-se estimar a ocorrência de uma rajada de vento não registrado pela estação meteorológica local.

Ao se analisar o período de ocorrência com a maior diferença de temperaturas externa e internas, o Gráfico 37 apresenta os dados coletados no dia 08/02/2015. O momento de maior diferença registrada ocorreu às 15h, com 6,3°C em relação ao Protótipo 4. Para o período da manhã, a predominância de vento com orientações N, e para o início da tarde a mudança de orientação com predominância de S, certamente auxiliaram para a manutenção da temperatura interna inferior à externa.

Gráfico 37 – Comparativo do Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 08/02/2015.



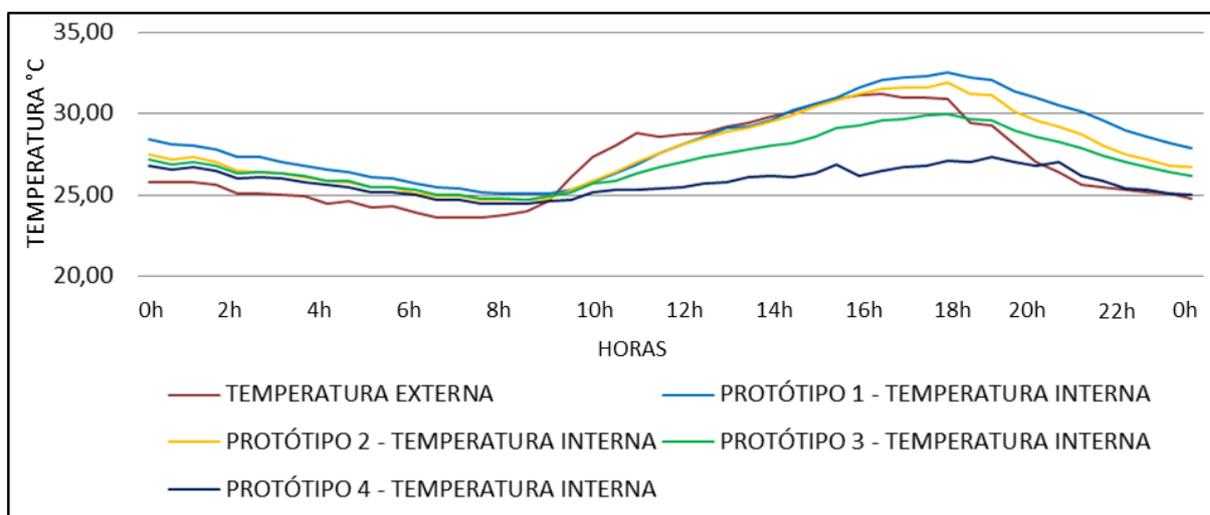
Fonte: SPINELLI (2015).

Esta informação se torna mais significativa, pois a velocidade de vento máxima para o período, verificando os turnos da manhã e da tarde foi de no máximo 7,2 km/h, e a média de 2,30 km/h. No período da noite há uma queda significativa de temperatura externa, e as temperaturas internas dos protótipos Dois e Três tem redução mais lenta. A direção de vento predominante foi S, com média de

velocidade de 6,23 km/h, o que auxilia na retirada do calor interno. No Protótipo 1 a redução é lenta no período da noite, pois há apenas a entrada de ventilação para orientação N. O Protótipo 3 se destaca no início da tarde, pois apresenta uma boa diferença de temperaturas no mesmo momento, registrando 3,2°C as 13h30min, salientando-se a baixa velocidade de vento registrada.

Fevereiro não registrou fortes velocidades de vento, e nem ocorrência de chuvas, e houve registro de precipitação apenas em quatro dias. Ao se analisar os dados, verificou-se que o dia 13/02/2015, representado no Gráfico 38, ocorreu um momento de velocidade de vento de 14,76 km/h, com orientação S as 17h. Porém, salienta-se que a partir das 12h30min se mantém uma constância na velocidade de vento até às 17h, com medida de 7,2 km/h. A predominância de orientação S auxilia na manutenção das temperaturas internas dos Protótipos Três e, com mais eficiência para o Quatro. As 20h é registrada uma leve precipitação (0,60 mm), e para o restante da noite, as temperaturas externa e interna do Protótipo 4 de mantem equivalentes, próximas de 25°C.

Gráfico 38 – Comparativo do Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 13/02/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

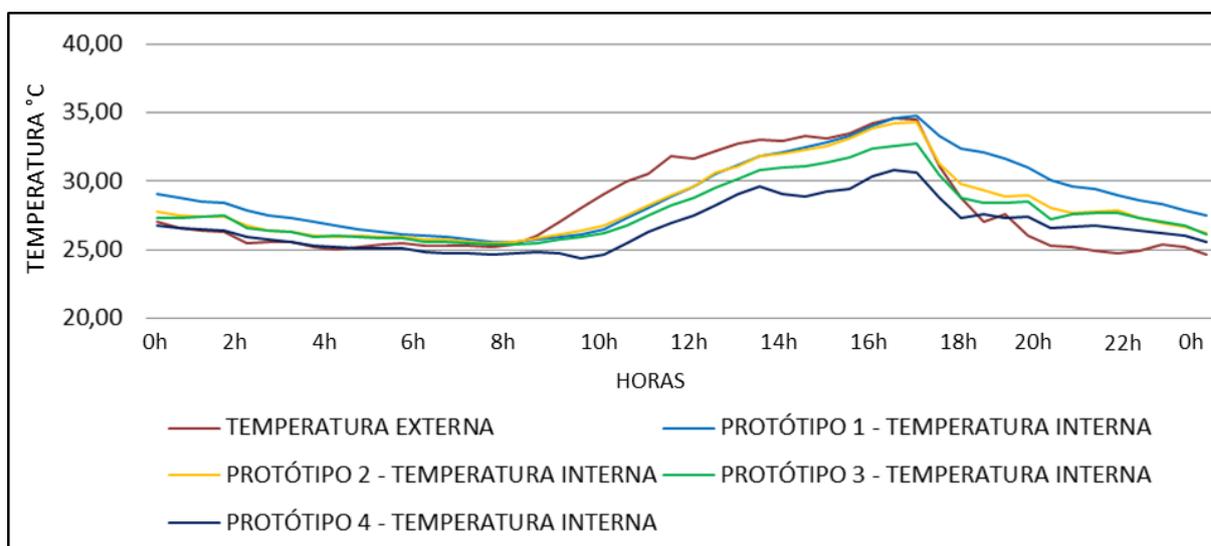
4.5.5 Março/2015

Os registros do ano de 2015 demonstram que foi o mês de março mais quente dos últimos cinco anos, conforme Tabela Oito, com temperatura média de 24,81°C. As médias calculadas para as temperaturas internas apresentadas na

Tabela Nove, e diferenças muito pequenas em relação à média externa, onde apenas o Protótipo 4 apresentou uma pequena variação inferior ($24,33^{\circ}\text{C}$). Salienta-se para os períodos de março/2015, que os dias mais quentes foram registrados no início do mês. A temperatura máxima para o mês foi registrada no dia 04/03/2015, às 16h30min, e destaca-se no Gráfico 39, a equivalência com a temperatura do Protótipo 1.

Destaca-se a forte queda da temperatura externa, ocorrência registrada devido a chuvas no intervalo de 3h, interessante de se ressaltar o acompanhando da queda de temperatura dos Protótipos Dois, Três e Quatro, onde as curvas de temperaturas representam o grau de eficiência dos três sistemas. A descendente inicial é forte para os três até às 18h onde foi registrado vento com orientação predominante NO com variação para N, e velocidade inicial de 15,85 km/h, reduzindo no intervalo de 1h30min pra 1,08 km/h, onde na curva fica claro este momento, quando a temperatura do Protótipo 2 não registra queda similar à temperatura externa.

Gráfico 39 – Comparativo de Temperatura Máxima Externa X Temperaturas Internas dos Protótipos em 04/03/2015.



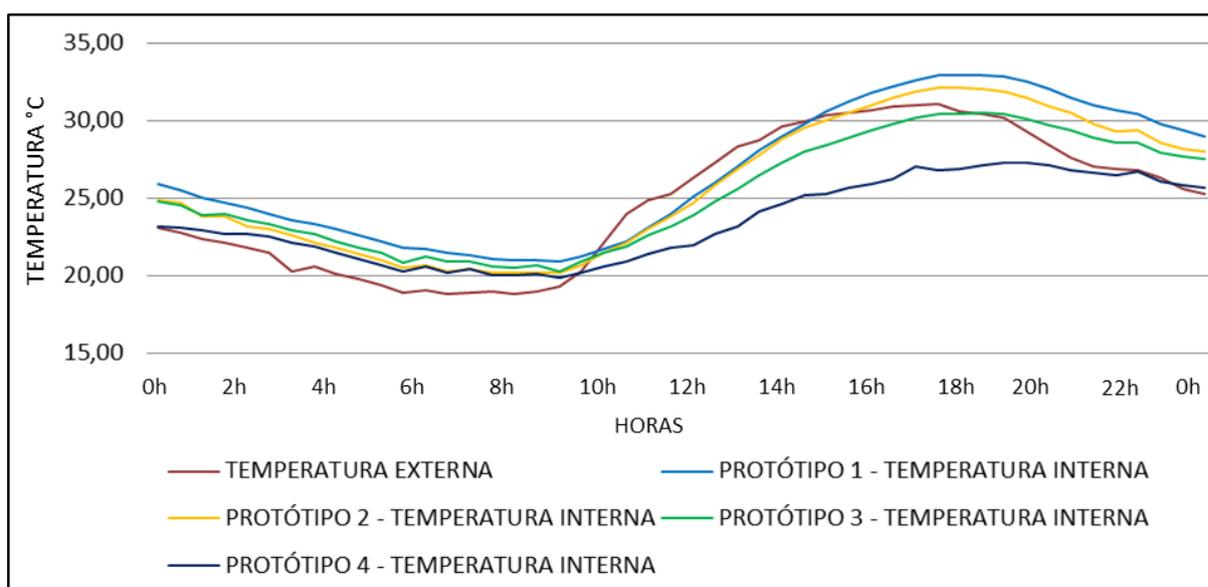
Fonte: SPINELLI (2015).

Após às 18h há uma variação de temperatura E para SE, onde no período da noite há nova modificação de orientação, firmando-se em NE, porém, para este intervalo a velocidade de vento é muito baixa, com 55% dos registros nulos (zero),

sem força necessária para retirar o calor interno dos protótipos no período da noite. Destaca-se para o período da noite, onde a temperatura interna do Protótipo 2 se iguala a do Protótipo 3, aproximadamente às 21h, período do dia em que a orientação de vento modificando-se para N/NE.

Ao se analisar para o período o momento de maior diferença de temperaturas, destaca-se novamente o Protótipo 4, com ampla diferença quanto à eficiência em relação aos demais. Conforme representado no Gráfico 40, para os registros do dia 08/03/2015, no período da manhã a orientação do vento auxilia na manutenção da temperatura interna, pois possui predominância de N/NE. Porém, com velocidade muito baixa, média de 1,08 km/h. Por volta das 11h a orientação do vento modifica-se para S, com variações para SE/SO, os Protótipos 1 e 2 apresentam um intenso acúmulo de calor, quando se atinge a temperatura máxima do dia (31,10°C), ambos registram temperaturas superiores (32,90°C e 32,1°C respectivamente), pois devido a modificação da orientação do vento, as aberturas não conseguem captá-lo para retirar o calor interno. Salienta-se que mesmo com o momento de temperatura externa não sendo um dos piores índices registrados, a materialidade não consegue fazer o isolamento térmico adequado.

Gráfico 40 – Comparativo do Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos em 08/03/2015.



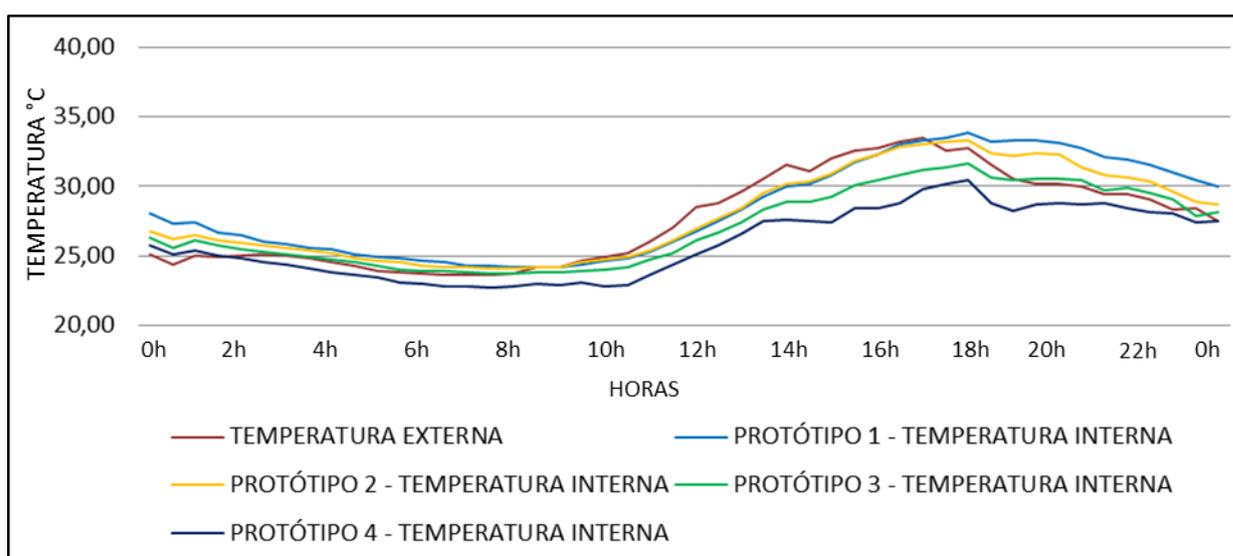
Fonte: SPINELLI (2015).

A mudança de orientação de vento foi benéfica para os Protótipos 3 e 4, e

registra-se que o Protótipo 2 se mantém com temperatura interna inferior por um intervalo de mais de 2h. Porém, destaca-se novamente o Protótipo 4 perante os demais, onde o sistema de aspersão de água auxilia na manutenção da temperatura interna inferior à externa, registra-se às 13h a maior diferença de temperaturas, com 5,10°C. No momento de máxima, registra-se a diferença de 4,00°C, onde os demais protótipos já estão com temperatura interna superiores à externa.

O dia 02/03/2015 destaca-se por ter o registro de ocorrência de vento com uma determinada regularidade, e registros de picos de velocidade de vento de 14,76 km/h durante a madrugada e no período da manhã, às 8h, com orientação predominante NE. Conforme apresentado no Gráfico 41, é possível se verificar um pequena variação de temperatura interna nos Protótipos Três e Quatro, e os demais mantendo a temperatura interna igual a externa, sem variação até às 11h. É possível verificar também uma descendente nas curvas de temperaturas internas dos protótipos no intervalo das 12h30 até às 15h, quando a ocorrência de vento com velocidade média de 7,2 km/h, e orientação favorável de NE e N, auxiliando na queda da temperatura interna.

Gráfico 41 – Comparativo do Período de maior diferença de Temperaturas Externa e Interna dos Protótipos Por Influência da Velocidade do Vento, em 02/03/2015.



Fonte: SPINELLI (2015).

Os protótipos Três e Quatro também apresentam um registro de queda de temperatura às 18h, momento em que a direção de vento modificou-se para S, com

velocidade de 6,12 km/h, favorável para ambos, onde se consegue manter as temperaturas internas próximas à temperatura externa. Importante destacar que março não foi um período favorável quanto ao registro de velocidade de vento, pois a máxima registrada foi de 15,85 km/h, em período de chuvas, diferente dos meses anteriores, que tiveram momentos de ocorrência de vento mais favoráveis.

4.6 Compilação dos Dados

Com base nos dados analisados, fica evidenciada a dificuldade em se trabalhar com o aproveitamento de ventilação natural em projetos de edificações. A análise dos dados coletados, demonstrados nos gráficos desenvolvidos para a pesquisa, retratam sempre uma proximidade das temperaturas externa e interna, em cada um dos protótipos. O comportamento térmico do Protótipo 1 ocorreu conforme o esperado nas projeções iniciais. A ausência de um sistema de ventilação natural, apesar de períodos com registros de ventos com orientação N e com boa velocidade, desfavorece a remoção do calor. Deve-se incluir juntamente a questão da própria materialidade dos protótipos, que devido à alta condutividade térmica, auxiliou muito para a elevação da temperatura interna do protótipo.

Os dados coletados no mês de novembro/2014 mostram que a temperatura interna se mantém inferior à externa - porém próximas - na maioria dos dias do mês, muito por não ser ainda o período de verão, provavelmente por haver uma incidência inferior de radiação solar. Para os meses de dezembro/2014, janeiro, fevereiro e março/2015, o período do verão evidenciou o quanto a materialidade do protótipo, e a ausência de ventilação natural influenciaram no aumento do calor do interior dos protótipos. Ocorreram momentos em que a temperatura interna registrada foi inferior à externa, porém, apenas nas horas iniciais da manhã, quando esta seguia crescente até chegar a máxima do dia, e assim, o calor era transmitido pela materialidade para o interior do protótipo. Em todos os meses analisados, no período da noite a temperatura interna se manteve superior à externa, retratando assim a dificuldade na retirada do calor interno.

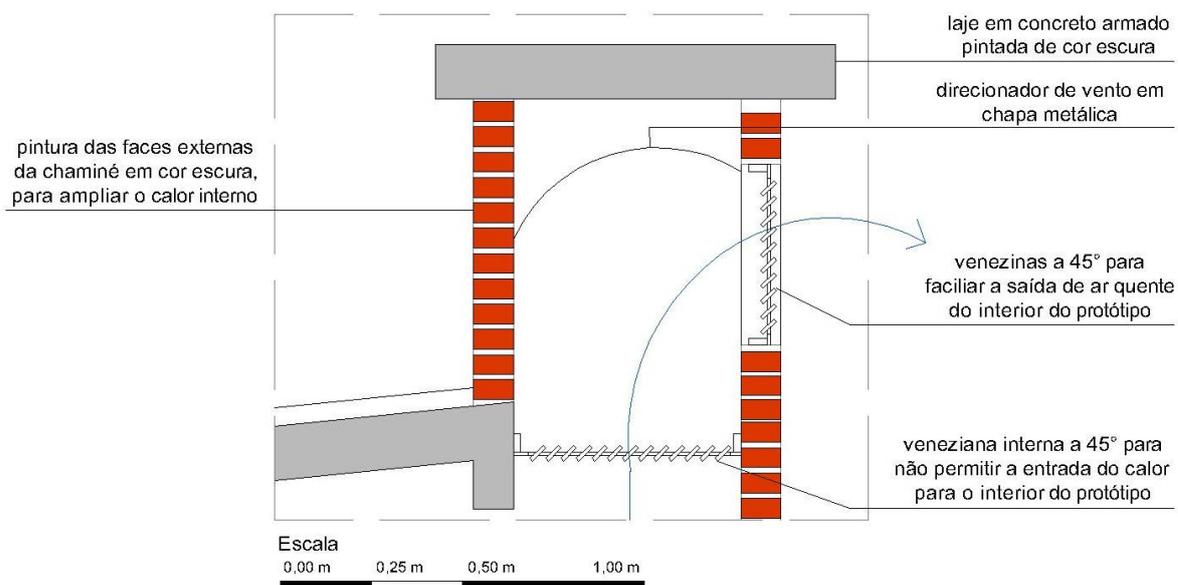
O Protótipo 2 apresentou comportamento térmico esperado quanto à materialidade (transferindo bastante calor para o seu interior), porém, não satisfatório quanto à redução da temperatura interna com aproveitamento da ventilação natural. Para o período de Novembro/2014 a manutenção de temperatura

interna inferior à externa em momentos de máxima ocorreram em 26 dias do mês, porém sempre muito próximas. Porém, a retirada de calor interno ocorreu lentamente, onde, conforme ocorria a queda de temperatura externa, a temperatura interna acompanhava de forma gradual. Novembro/2014 teve predominância de ventos de orientações S (mais de 50% de ocorrência), enquanto as orientações N foram de pouca ocorrência para a região de Lajeado/RS (Gráfico 2), o que já destacaria a ineficiência do sistema de ventilação do Protótipo 2. Porém, para o local onde estavam executados os protótipos, a predominância de ventos de orientações S, e a baixa ocorrência de ventos de orientações N (Gráfico 3), apresenta de forma clara como o entorno próximo influenciou na captação de vento. Dezembro/2014 e Janeiro/2015 apresentaram comportamento similar ao mês de Novembro, inclusive em relação ao comportamento de ventos. Fevereiro e março/2015 destacam-se pelas altas temperaturas, na maioria dos dias as temperaturas máximas internas se apresentaram superiores às máximas externas, e destacando-se assim o comportamento de vento muito diferente do local, para a região de Lajeado/RS.

O que fica evidenciado para o Protótipo 2, é a perda de calor interno ter ocorrido de forma mais acelerada em relação ao Protótipo 1, certamente por ter um fluxo de ar mais apropriado, bem como apresentado no estudo de Mazon, Silva & Souza (2006), fazendo com que o ar quente (de densidade inferior) se retire de forma fácil pela saída superior, pressão causada pelo vento que insere ar mais frio (com densidade superior), que entra pela grelha frontal. Pode ser ampliado o estudo para o Protótipo 2, fazendo adequações para um Híbrido entre o Sistema Chaminé, e o sistema de Chaminé Solar apresentado por Neves & Roriz (2012), executando adequações na geometria, e na materialidade na chaminé do protótipo, conforme representado na Figura 34. A localização do Prédio 17 da UNIVATES em frente ao protótipo (na fachada do captador de vento), também deve ser considerado como um fator que influenciou na funcionalidade do sistema de ventilação.

Pode-se trabalhar como uma alternativa de adaptação ao Protótipo 2, a melhoria do efeito chaminé com a abertura do vão de captação de ventilação natural com orientação L ou S, e a saída de ar quente com orientação N, ocasionando uma diferença de pressão entre ar frio e ar quente, fazendo com que o efeito chaminé atue com maior facilidade no interior do protótipo.

Figura 34 – Possibilidades de adequações na materialidade do Protótipo 2.



Fonte: SPINELLI (2015).

As Proposições para o Protótipo 2 que podem possibilitar maior eficiência:

- Instalação de veneziana no início da chaminé no interior do protótipo;
- Instalação de chapa metálica curva no interior da chaminé, e substituição da grelha externa por venezianas, melhorando a aerodinâmica no fluxo de saída do ar;
- Pintura externa da chaminé em cor escura, assim ampliando o calor interno, pode-se reduzir a densidade do ar aquecendo-o, e forçar o fluxo de entrada de ar fresco para o interior do Protótipo 2.

Os Protótipos Três e Quatro apresentaram a melhor possibilidade de eficiência para sistemas de captação de ventilação natural, com a Torre de Vento, pois tinha a área de captura de ventilação duplicada em relação aos demais, e trabalhando com as possibilidades de duas orientações principais, com ventos das direções N e S. Para ambos, a temperatura interna raramente chegou aos patamares da temperatura máxima em quaisquer dias dos meses pesquisados. Havia apenas equivalência de temperaturas em dias com registro de ocorrência de precipitação. Para os meses de janeiro, fevereiro e março/2015, a ocorrência de calor mais intenso acarretou na elevação de temperatura interna do Protótipo 3, ficando muito próxima da temperatura externa, ficando superior apenas em caso de nebulosidade

ou precipitação, devido a alguma rápida queda de temperatura externa. As quedas da temperatura externa registradas, sempre se acompanhavam da queda da temperatura interna, apresentando assim uma eficiência do sistema de ventilação, principalmente quando se combinavam orientações favoráveis (N e S), e com boa velocidade de vento.

Com a ocorrência de boas diferenças de temperaturas, chegando a ultrapassar os 6,6°C, o Protótipo 4 utilizando o sistema de aspersão de água, foi parcialmente eficiente. Quanto à temperatura interna, sempre que os ventos se apresentaram nas orientações de N e S, os gráficos ressaltam estas diferenças. Tanto para o mês mais ameno (novembro e dezembro/2014), e os períodos mais quentes (janeiro a março/2015), sendo perceptível na análise dos gráficos um padrão nas curvas. As médias das diferenças das temperaturas externa e interna, representam este padrão, conforme apresentado na Tabela 14, e se destacam os meses de janeiro e fevereiro/2015, onde as médias de temperatura externa destes meses foram das mais superiores registradas desde o ano de 2010. Porém o mês de março/2015 cai vertiginosamente à média, e explica-se ao se comparar as médias de temperaturas de 2010 até 2015, onde foi o mês de março mais quente dos últimos cinco anos.

Tabela 14 – Médias de diferenças das temperaturas externa e interna para o Protótipo 4.

ANO 2014		ANO 2015		
NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
1,5°C	1,3°C	0,8°C	0,7°C	0,5°C

Fonte: SPINELLI (2015).

Porém, importante salientar que a temperatura interna se apresentou inferior à externa em todos os meses. Destaca-se que quanto maior fosse a ocorrência de temperatura externa, a diferença da temperatura interna se tornava mais alta, principalmente com a ocorrência de ventos favoráveis. Mesmo a instalação de chapas de isopor na cobertura não propiciou grande influência para a queda de temperatura interna, ficando claro que a materialidade realmente contribuiu muito para o ganho de calor no interior do protótipo. Um dos fatores que podem ter auxiliado na queda da temperatura interna nos Protótipos 3 e 4, foi à proximidade da grelha de saída de ar quente esta muito próxima a cobertura, fazendo que o ar

interno próximo a ela se aquecesse de forma mais rápida, e assim perdendo densidade, fazendo que a sua saída fosse mais rápida, e assim, forçando a entrada de ar fresco pelas torres de ventilação, fenômeno similar ao estudo de Neves & Roriz (2012).

Comparando-se a eficiência dos Protótipos 3 e 4, com o estudo realizado por Lôbo & Bittencourt (2003), que alcançaram um incremento de 100% de ventilação, verifica-se que o posicionamento do ponto de captação de ventilação até o vão para a distribuição ao ambiente interno é um percurso pequeno. Isto facilita a ampliação de ventilação por gerar menor resistência, porém, não pode ser considerado como decisivo para redução de temperatura interna, questão que não é apontada pelo estudo.

Para os Protótipos 3 e 4 podem ser executadas melhorias no sistema de captação de ventilação natural, conforme apresentado na Figura 35, comparado com o sistema executado para a pesquisa. As adaptações executadas na Torre de Ventilação propiciariam melhor fluidez e direcionamento de ventilação natural para o interior dos protótipos, e assim, adicionando ar mais denso, e forçando a saída naturalmente do calor interno. Para o Protótipo 4 também auxiliaria na retirada de excesso de umidade relativa do ar do interior do protótipo, que apresentou níveis muito elevados nos dados registrados para os meses de dezembro/2014 e janeiro/2015.

Assim, se executaria a substituição das atuais grelhas planas por venezianas com inclinação de 45° , que possibilitariam uma melhor fluidez na captação de ventilação natural. Na parte interna da torre de ventilação, junto à laje de cobertura, se instalaria uma chapa metálica com forma curva, orientada para N e S, melhorando a sua aerodinâmica, e assim ampliando a possibilidade de direcionamento de vento para o interior do protótipo. Uma terceira possibilidade seria a abertura de vão de entrada de ar para a orientação L e O, assim ampliando a área de entrada de ar.

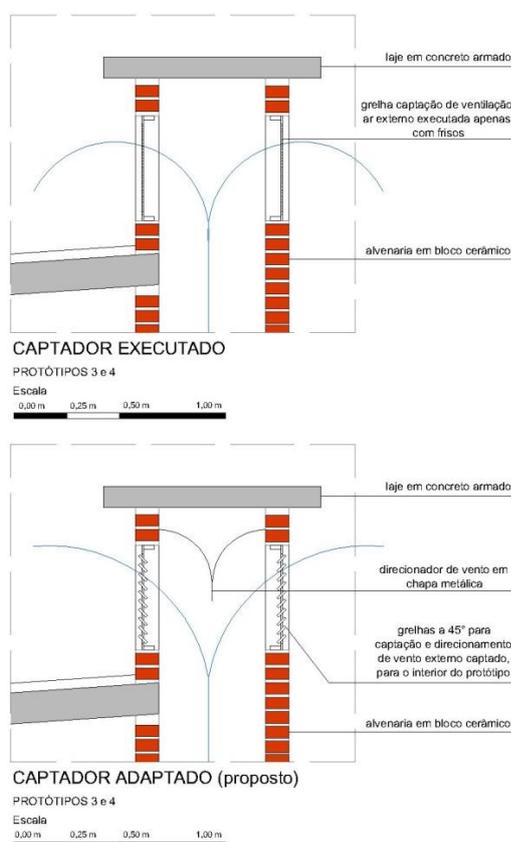
Pode-se também ampliar a altura da chaminé, elevando os pontos de coleta de ar, fazendo com que o vento captado percorra uma distância maior no duto de ventilação, até a saída de ar para o interior do protótipo.

Ao se analisar os dados referente à umidade relativa do ar, verifica-se que há uma manutenção dos índices registrados no interior dos protótipos inferiores à

umidade externa, ficando superior apenas no Protótipo 4, conforme já apresentado na Tabela Dez. Interessante ao se analisar os dados referente ao Protótipo 1, que por ter apenas a entrada/saída de ventilação a umidade interna não teve ganho considerável em pontos percentuais, destacando que a ausência de corrente de vento não ocasionou de injeção de umidade do ar externo para o interior do protótipo.

No Protótipo 2 há uma leve ocorrência de ampliação de umidade relativa do ar, onde por haver apenas uma saída para o ar interno, a corrente de vento não se apresentou forte o suficiente para retirar do interior do protótipo a umidade em excesso. O Protótipo 3 apresenta dados similares ao Protótipo 2, diferenciando-se apenas o mês de dezembro, com ocorrência de ventos mais fortes e a temperatura interna se apresentou inferior a externa em índices maiores. Com a entrada de ar ampliada, houve maior circulação de ar interno, retirando-se a umidade suspensa em excesso do ar.

Figura 35 – Possibilidades de adequações na materialidade nas Torres de Ventilação nos Protótipo 3 e 4.



Fonte: SPINELLI (2015).

Devido ao sistema de aspersão de água, o Protótipo 4 apresentou índices muito altos de percentual de umidade relativa do ar. Com dados registrados para os meses de dezembro/2014 e janeiro/2015, se apresentaram suficientes para verificar-se que a ventilação natural não foi suficiente para a retirada do excesso de umidade do interior do protótipo, mesmo havendo duplicidade na captação de ar externo. Devido à alta umidade do ar interno, as alvenarias do Protótipo 4 apresentaram perceptíveis patologias: a presença de fungos, e parte dos blocos cerâmicos ficaram esbranquiçados (Figura 36), o que pode causar a queda da sua resistência a cargas, podendo ocasionar sérios danos as edificações.

Figura 36 – Ocorrência de Patologias nas alvenarias do Protótipo 4.



Fonte: SPINELLI (2015).

Salienta-se assim, restrições ao uso do sistema de aspersão de água para o resfriamento evaporativo:

- Utilização em localidades onde a umidade relativa do ar seja baixa, onde realmente apresente a necessidade de utilização do sistema;
- Pode ocorrer a condensação do vapor no período da noite onde a perda de calor é maior, e consequentemente causar a proliferação de fungos;
- A influência do vapor da água dentro do protótipo pode causar o movimento inverso no comportamento da entrada de vento;
- Avaliar a quantidade de água adicionada ao sistema, e a umidade final interna obtida, ou pela vazão de água ou pela diferença no diagrama psicrométrico (carta bioclimática) e, a partir daí, efetuar uma avaliação em termos de calor retirado do ar.

Uma possibilidade de adequações no Protótipo 4, para evitar a ocorrência de patologias devido ao uso do sistema de aspersão de água, propõe-se adequações na Torre de Ventilação, tanto na captação, quanto ao interior do duto, conforme demonstrado na Figura 37.

Figura 37 – Possibilidades de adequações na materialidade na Torre de Ventilação no Protótipo 4.



Fonte: SPINELLI (2015).

As adequações importantes para o Protótipo 4, para evitar a ocorrência de patologias:

- a) Substituição das grelhas por venezianas, conforme já citado anteriormente;
- b) Revestimento das alvenarias e piso no interior do duto de distribuição de ventilação para o interior do protótipo, onde pode ser uma

impermeabilização com reboco mais resistente, ou a instalação de um revestimento cerâmico idêntico utilizado em áreas úmidas, para assim evitar a infiltração de água na alvenaria;

- c) Execução de pingadeira metálica sobre a veneziana de injeção de ar para o interior do protótipo, e assim evitar a passagem de água pela veneziana, evitando a ampliação da umidade relativa do ar no interior do Protótipo.

Ao se analisar os equipamentos desenvolvidos para o estudo, o Arduino apresentou um ótimo desempenho para o armazenamento dos dados, e os sensores DHT03 mantiveram a calibração programada durante todo o período do experimento. Em relação ao sensor instalado no Protótipo 4, que apresentou defeito na coleta de dados de umidade relativa do ar, é importante executar as correções apontadas no trabalho, com a possibilidade de instalação de um com maior resistência a quantidade de umidade, por um longo período de tempo.

Quanto ao desenvolvimento da pesquisa e a coleta de dados, sugere-se para estudos futuros complementar as informações com a coleta de parâmetros adicionais, como: 1) sensores para determinar as temperaturas do ar nas aberturas de entrada e saída para verificação da quantidade de calor possível de ser retirada em função da taxa de renovação de ar; 2) sensores para executar as medições das temperaturas superficiais das alvenarias, alvenarias dos dutos de coleta de ar, e cobertura, para verificar a influência dos elementos no processo de aquecimento/resfriamento, e a possibilidade de comparação entre os protótipos para assim associar ao sistema em utilização, ou ao efeito tempo; e 3) instalação de um anemômetro/tubo *pitot*, para medir a vazão de ar nas aberturas, e as informações coletadas podendo-se relacioná-las com a velocidade de vento.

Concluindo-se as análises dos dados, juntamente com o comportamento dos protótipos perante às questões climáticas, verificou-se que a hipótese principal proposta para o desenvolvimento da pesquisa não pode ser atendida na sua totalidade. A temperatura interna, juntamente com os índices de umidade relativa do ar para os Protótipos Dois, Três e Quatro, não se atingiu os padrões de conforto térmico definidos na NBR 16401-2 (Tabela 1). Ficou evidenciado no decorrer do estudo, que a materialidade dos protótipos foi um fator determinante para a

adequação do ambiente interno aos índices de conforto, que devido se tratar de um material com grande densidade, fez com que ocorresse uma grande transferência de calor para o interior dos protótipos.

Destacaram-se a eficiência apresentada pelos Protótipos Três e Quatro perante os demais, principalmente pela baixa utilização do Sistema de Torre de Vento, que não há registros de utilização para o Clima Subtropical, onde o comportamento da temperatura interna perante a externa comprovou que é possível rever as questões teóricas, e adaptar elementos não usuais para uma determinada região. Ressalta-se que o sistema de Torre de Vento, não ficando restrita a indicação apenas para climas áridos, como citado por Lôbo & Bittencourt (2003), e sim, utilizando de forma adequada, torna-se uma alternativa para ser utilizado para o Clima Subtropical. Também se demonstrou que, na atual materialidade proposta nos protótipos, é necessário complementar os sistemas de ventilação natural, com a aplicação de elementos de climatização artificial (resfriamento e desumidificador) para se alcançar os padrões desejados e especificados em projeto e norma.

Salienta-se o modelo elaborado para o comportamento dos ventos na região da cidade de Lajeado/RS, com a utilização dos dados do CIH, onde se verificou que há um padrão de ocorrência de ventos, e que este é determinante para as definições de diretrizes no desenvolvimento de projetos de edificações. Com a utilização dos dados da estação meteorológica instalada junto aos protótipos, demonstra-se a grande influência do entorno próximo (relevo, vegetação e edificações) na orientação e velocidade dos ventos, mesmo estando em um espaço amplo, com distâncias consideráveis. Demonstra-se assim, que em contextos urbanos com maior densidade de edificações, o estudo de ventos deve ser desenvolvido com profunda atenção, para assim utilizar este recurso de forma satisfatória.

Ao se analisar as possibilidades de ganhos ambientais, pode-se concluir que há uma possibilidade real, tanto em relação à economia de energia elétrica, e assim, reduzir as emissões de gases geradores do efeito estufa na atmosfera. Outra via de análise é em relação à qualidade do ar dos ambientes internos, onde trabalhando com ambientes ventilados naturalmente, pode-se reduzir a quantidade de COV, que podem ser causadores de graves enfermidades ao ser humano, como câncer, irritações de pele, entre outras (SCHIRMER et al., 2011). Todas estas informações pesquisadas são amplas possibilidades para o desenvolvimento de novas

pesquisas, podendo assim atingir uma maior compreensão da qualidade e funcionamento da ventilação natural, auxiliando no desenvolvimento de novas diretrizes projetuais, e assim, agregar qualidade para as edificações novas e/ou existentes.

5 CONCLUSÕES

Em um primeiro momento, a pesquisa buscou uma contextualização histórica quanto às questões de sustentabilidade voltada para execução de edificações, e uma compreensão do problema quanto à eficiência energética voltado à construção civil, e o quanto este tema pode afetar a sociedade como um todo. A busca por novas estratégias construtivas, desencadeando uma nova perspectiva por parte dos profissionais, que buscam utilizar elementos de projetos vernaculares, em projetos contemporâneos. Dentro desta contextualização, delimitou-se o tema de ventilação natural para o desenvolvimento da pesquisa, tendo em vista a ampla utilização de sistemas de climatização artificiais, principalmente para períodos de calor intenso.

Ao se buscar estudos de sistemas de ventilação natural, verificou-se que a grande parte trabalha apenas com simulação computacional, utilizando o sistema CFD. Poucos casos, como o estudo desenvolvido por Neves e Roriz (2012), partiam para a execução de protótipos para análise de dados reais. Para ambos tipos de estudos, ficavam mais restritos a climas quentes, como Tropical e Equatorial, o que especificamente desenvolveram dados que não pudessem ser aplicados para qualquer realidade. Assim, para o desenvolvimento da pesquisa, foram construídos os quatro protótipos, onde um simulava uma edificação sem sistema de ventilação, um com sistema usual em parte das edificações (afim de testar a eficiência), Efeito Chaminé. Os outros dois foram executados com um sistema de ventilação que é usual em climas de calor extremo (semiárido e desértico), sistema Torre de Vento. Este segundo sistema surge como a oportunidade de testar a sua eficiência para um clima que ele não é considerado usual, o Subtropical, clima este em que esta localizada a cidade de Lajeado/RS, onde foram executados os protótipos. Para o

ultimo protótipo, adicionou-se o elemento água, em forma de aspersão, para assim, buscar um diferencial do terceiro.

Com o início do desenvolvimento da pesquisa, foram localizados dados referentes ao comportamento de ventos da região, e assim, solicitou-se as informações registradas pelo CIH para o período dos anos de 2010 até 2014. Com a compilação dos mesmos, se elaborou o Gráfico de Percentual de Ocorrência de Ventos para a cidade de Lajeado, não simplesmente verificando as direções predominantes, mas qualificando a apresentação dos dados por estações climáticas (verão, outono, inverno e primavera), gerando uma importante ferramenta que pode ser utilizada em diversas áreas do conhecimento. Porém, ao se comparar os dados com a estação meteorológica instalada junto aos protótipos, salientou-se as diferenças de ocorrências de ventos registradas, destacando assim a influência de obstáculos próximos, que podem modificar a direção do vento, como edificações, vegetação e relevo.

A coleta de dados nos protótipos em períodos de altas temperaturas, com resultados bem consistentes logo no mês de novembro, e caracterizando de forma prática a funcionalidade e eficiência diferenciada para cada um dos sistemas de ventilação propostos para a pesquisa. Com o decorrer dos períodos de análise, e a crescente temperatura externa, os resultados obtidos se tornaram importantes para a elaboração dos gráficos gerados, e comparativos dos sistemas. Com as informações registradas e analisadas para o Protótipo 1, se salientou a importância na escolha de materiais adequados para a execução de edificações. Com a temperatura interna, na maior parcela dos registros, superior a externa, evidencia-se o extremo ganho de calor pela materialidade, e o quando a ventilação natural pode auxiliar na retirada do calor excedente, e reafirmando o quanto uma parcela das atuais edificações executadas nos centros urbanos.

Com funcionalidade limitada, o sistema do Protótipo 2 apresentou o funcionamento aquém do esperado, principalmente por ser considerado por uma grande parcela dos profissionais como um sistema de grande eficiência. Comprovou-se que pode haver sim um bom fluxo do ar interno, mas com a necessidade de uma boa ocorrência de vento. Assim, destaca-se que em determinados momentos a força do vento foi mais eficiente que o Efeito Chaminé proposto.

A igualdade de sistemas dos Protótipos Três e Quatro, diferenciados apenas pela instalação do equipamento de Aspersão de água, surpreenderam por, historicamente, ser considerado não recomendado para utilização como estratégia para o clima subtropical. Com ventos favoráveis, os dados registrados demonstraram que a temperatura interna pode ser reduzida de forma mais acelerada e eficiente, acompanhando conjuntamente a queda da temperatura externa. Os resultados obtidos no Protótipo 4 se apresentaram mais animadores, tendo em vista a redução considerável de temperatura interna, partindo a utilização de um elemento adicional simples. Em contra partida, a umidade relativa do ar se apresentou muito elevada, o que indica que devem ocorrer ajustes no sistema, como adequação do sistema de aspersão de água, e uma revisão da materialidade do duto de ventilação, para que ele possa apresentar assim a eficiência desejada, e atingir a temperatura de conforto. Salientou-se que, na atual materialidade proposta nos protótipos, é necessário complementar os sistemas de ventilação natural, com a aplicação de elementos de climatização artificial (resfriamento e/ou desumidificador) para se alcançar os padrões desejados e especificados em projeto e a norma brasileira.

Assim, este trabalho reafirma a importância da execução dos sistemas naturais em edificações, de qualquer porte, e o quanto a sua utilização pode se tornar benéfica para a relação do homem com o meio em que ele vive. Não viver apenas mecanicamente, mas se relacionando com a natureza de forma mais ampla e saudável. Espera-se que as informações contidas neste trabalho possam auxiliar para pesquisas futuras, e que possam ser executadas as recomendações apresentadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR-16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3.** Rio de Janeiro, 2005.

ATLAS eólico. Porto Alegre: Secretaria de desenvolvimento e promoção do investimento, 2014.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Cidade.** Perspectiva: São Paulo, 1999.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna.** Perspectiva: São Paulo, 1994.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

EVELIN, Guilherme. **Thom Mayne: "Cidades já são como países"**. Revista Época, Novembro 2013. Site <<http://epoca.globo.com/ideias/noticia/2013/11/bthom-mayne-cidades-ja-sao-como-paises.html>>. Acessado em 26 de novembro de 2013.

FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação.** São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico.** 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

HACKBART, Eugênio. Cresce a possibilidade de episódio tardio de El Niño. **METSUL BLOG**, Porto Alegre, 17 de novembro de 2014. Disponível em: <http://www.metsul.com/blog2012/Home/home/781/Cresce_a_possibilidade_de_episodio_tardio_de_El_Niño>. Acesso em: 25 de março de 2015.

INMETRO. **Portaria INMETRO Nº 50 / 2013 - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**. INMETRO: Brasília, 2013.

JACQUET-LAGRÈZE, Romain. **Vertical Horizon – Hong Kong**. Hong Kong: AOPP, 2012.

JONES, A.P. Indoor air quality and health. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 28, Dezembro 1999.

JOURDA, Françoise-Hélène. **Pequeno Manual do Projeto Sustentável**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Prolivros, 2004.

LÔBO, Denise G.F.; BITTENCOURT, Leonardo S.. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, Abril/Junho 2003.

MAZON, Ana Amélia Oliveira; SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da; SOUZA, Henor Artur de. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 2, Junho 2006.

McROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MONTENEGRO, Mario R.; FRANCO, Marcelo. **Patologia, processos gerais**. Atheneu; 4ª edição; 2004.

NEVES, Leticia de Oliveira and RORIZ, Maurício. Procedimentos estimativos do potencial de uso de chaminés solares para promover a ventilação natural em edificações de baixa altura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.12, n.1, Março 2012.

PONSONI, Karina; RADDI, Maria Stella Gonçalves. Indoor Air quality related to occupancy at an air-conditioned public building. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba, v. 53, n. 1, Fevereiro 2010.

PROCEL. **2007 Resultados do PROCEL**. Brasília: Eletrobras, 2007.

ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL, Fergus. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**: um guia de sobrevivência para o século XXI. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse**: a casa ambientalmente sustentável. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RUPP, Ricardo Forgiarini; GHISI, Enedir. Potencial de economia de energia elétrica em edificações comerciais híbridas localizadas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, Março 2013.

SANCHEZ, José; SALMERÓN, José Manuel; SANCHEZ, Francisco José; ALVAREZ, Servando; MOLINA, José Luis. Ventilación natural: estudio aerodinámico mediante CFD de extractores pasivos y captadores de viento. **Rev. ing. constr.**, Santiago, v. 27, n. 1, 2012 .

SANTIAGO, Pedro. Fachadas Inteligentes e Bioclimática. Metáfora Orgânica. **Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia**, Porto, n. 4, p.38-47, 2007.

SCHIRMER, Waldir Nagel; PIAN, Lucas Bischof; SAYMANSKI, Mariani Silvia Ester; GAUER, Mayara Ananda. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 8, p.3583-3590. ago. 2011.

SILVA, Elvan. **Matéria, ideia e forma: uma definição de arquitetura**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1994.

SOFFIATI, Arthur. Algumas palavras sobre uma teoria da eco-história. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, n. 18, p.13-26. jul./dez. 2008.

SOUZA, Henor Artur de; RODRIGUES, Luciano Souza. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 2, Junho 2012.

TOMASINI, Juliana. **Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil**: implicações ambientais. 2011. 58 f. f. Monografia (Bacharel em Engenharia ambiental) - Curso de Engenharia ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais , fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

WEIMER, Günter. **Arquitetura Popular Brasileira**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

ANEXOS

Anexo 1 – Tabela de Ocorrência de Ventos CIH, período dezembro/2014 a março/2015.

	2014		2015		
	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
N	4,24%	3,98%	4,30%	2,74%	2,91%
NNE	8,26%	8,10%	8,03%	5,77%	5,42%
NE	3,40%	4,86%	6,24%	5,58%	4,40%
ENE	1,74%	3,91%	4,37%	5,68%	3,25%
E	7,15%	7,35%	9,61%	9,93%	8,06%
ESE	14,24%	11,88%	10,04%	15,61%	13,47%
SE	18,75%	15,25%	11,25%	14,66%	15,78%
SSE	9,79%	3,85%	6,16%	7,10%	10,49%
S	3,47%	3,31%	1,58%	3,12%	6,43%
SSW	1,25%	1,55%	1,29%	2,18%	2,57%
SW	2,71%	1,69%	1,86%	1,80%	2,84%
WSW	3,96%	3,04%	3,30%	2,37%	3,99%
W	2,43%	4,66%	3,08%	3,60%	3,25%
WNW	4,93%	7,35%	9,53%	6,91%	4,81%
NW	11,04%	15,18%	14,98%	10,69%	8,67%
NNW	2,64%	4,05%	4,37%	2,27%	3,66%

Fonte: SPINELLI (2015).

Anexo 2 – Tabela de Ocorrência de Ventos no Local dos Protótipos, período dezembro/2014 a março/2015.

	2014			2015	
	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
N	5,10%	7,68%	7,05%	5,14%	5,84%
NNE	1,35%	2,18%	1,99%	1,19%	1,02%
NE	16,44%	20,65%	21,23%	17,56%	16,42%
ENE	1,20%	1,27%	1,85%	1,03%	0,93%
E	12,05%	11,49%	13,11%	11,39%	10,85%
ESE	0,57%	0,70%	1,21%	0,71%	0,74%
SE	8,86%	7,54%	6,84%	8,86%	8,91%
SSE	2,27%	1,27%	1,99%	2,53%	1,86%
S	23,10%	20,58%	19,30%	24,45%	25,23%
SSW	1,84%	1,48%	1,50%	1,82%	1,30%
SW	14,74%	10,36%	10,04%	12,03%	14,19%
WSW	0,92%	0,99%	0,71%	0,47%	1,11%
W	6,02%	5,57%	5,63%	6,49%	5,84%
WNW	0,14%	0,56%	0,50%	0,32%	0,28%
NW	5,03%	7,54%	6,62%	5,78%	5,19%
NNW	0,35%	0,14%	0,43%	0,24%	0,28%

Fonte: SPINELLI (2015).