

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

Rodrigo Spinelli

Univastes, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil

rspinelli@univates.br

Odorico Konrad

Univastes, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil

okonrad@univates.br

Resumo

Nos últimos anos tem se ampliado 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 foi realizada a partir da medição de dados nos protótipos desenvolvidos para o estudo, foram executados 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, e assim se alcançar níveis de conforto do ambiente construído.

Palavras-chave: Climatização Natural. Conforto. Ambiente Construído.

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

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).

das edificações foram caindo em desuso, e gradativamente a utilização dos recursos naturais foram substituídos por recursos artificiais.

Nos últimos anos, é notória a preocupação dos profissionais voltados a construção civil, a execução de edificações mais eficientes, quando é relacionada à questão de economia de energia, principalmente após a crise energética mundial nas décadas de 1960/1970 e os racionamentos energéticos de 2001 no Brasil (LAMBERTS et al., 2004), tem-se o surgimento de movimentos sociais defendendo a proteção / 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 com o fortalecimento do antropocentrismo, e o conceito de sociedades humanas e não humanas, e a utilização 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 e 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.

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).

As questões referentes à qualidade do ambiente construído e economia de energia, podem ser também relacionas a qualidade do ar interno dos espaços projetados para seus usuários, que segundo Ponsoni & Raddi, há altos índices de poluentes nos ambientes, como o CO₂, e fungos que se proliferam no sistema (PONSONI; RADDI, 2010).

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 os baixos índices de renovação é o grande responsável pela ampliação de poluentes nos ambientes, e “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, 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”, consequência dos baixos índices de manutenção dos filtros e equipamentos de sistemas de ar condicionado, causadores assim da Síndrome do Edifício Doente (SCHIRMER et al., 2011).

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.

Baseando-se na escala de medição apresentada pela NBR 16401-2, definem-se parâmetros de conforto térmico para o ambiente construído, nos períodos de 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)

Os parâmetros normatizadas na NBR 16401-2, complementam-se com as normas definidas na NBR 15220 (ABNT, 2005), onde apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica² mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática, que caracteriza o território brasileiro em toda sua extensão, e apresenta estratégias para obtenção de conforto térmico. Define 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 Referência³ – 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

² 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).

³ 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).

deve ser controlada com a utilização de “máscaras” de proteção solar (FROTA, 2004, p. 125). Nos períodos de 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 absorvidade⁴, refletância⁵ e transmitância térmica de cada material, para assim ocorrer a troca térmica do ambiente externo com o interno de forma adequada (SANTIAGO, 2007).

Os projetos de edificações podem contemplar diversas possibilidades de sistemas de captação de ventilação natural, como: ventilação cruzada, efeito chaminé, aspiradores estáticos, e torres de vento. Estes sistemas 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 térmica do solo para resfriamento, adequados para climas com grande oscilação de temperatura durante um período do ano (LAMBERTS et al., 2004).

Em estudos realizados 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. 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 (MAZON et al., 2006).

O estudo de Neves e Roriz (2012), onde apresentam o sistema de chaminés solares, que “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 se mostrou eficiente quando a ação dos ventos é muito baixa, ou quase nula.

Rupp e Ghuisi salientam 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 (RUPP; GHISI, 2013).

O tema deste trabalho considera o uso racional e a busca de conforto do ambiente construído para edificações utilizando sistemas de ventilação natural. Diante disso, o estudo e o desenvolvimento desta pesquisa estão centrados na busca de sistemas arquitetônicos de climatização natural, adaptando-os para utilização no clima subtropical.

⁴ 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).

⁵ Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005).

2 Metodologia

Foram executados quatro protótipos na cidade de Lajeado/RS, ao lado do Prédio 17 no campus da UNIVATES, com características similares a edificações executas na região quanto à materialidade, com alvenarias de tijolos maciços, e laje em vigota e tavela, com telhas cerâmicas, vãos de ventilação com grelhas em compensado naval (área de 0,5m²), diferenciando-se pelos sistemas de ventilação natural. As materialidades especificadas na pesquisa, já possuem registro na NBR 15220 com alto índice de transmitância térmica, se comparadas com outros materiais.

O Protótipo 1 não possui nenhum sistema de ventilação executado, apenas uma entrada de ar, servindo de referência comparativa para os demais protótipos. O Protótipo 2 foi projetado e executado com o sistema de ventilação por efeito chaminé, e os Protótipos 3 e 4 com o sistema de Torre de Vento, conforme as Figuras 2 e 3. Há o elemento adicional no Protótipo 4, para aspersão de água, resfriando o ar captado, técnica do resfriamento evaporativo.

Figura 1 – Projeto dos Protótipos 1 e 2

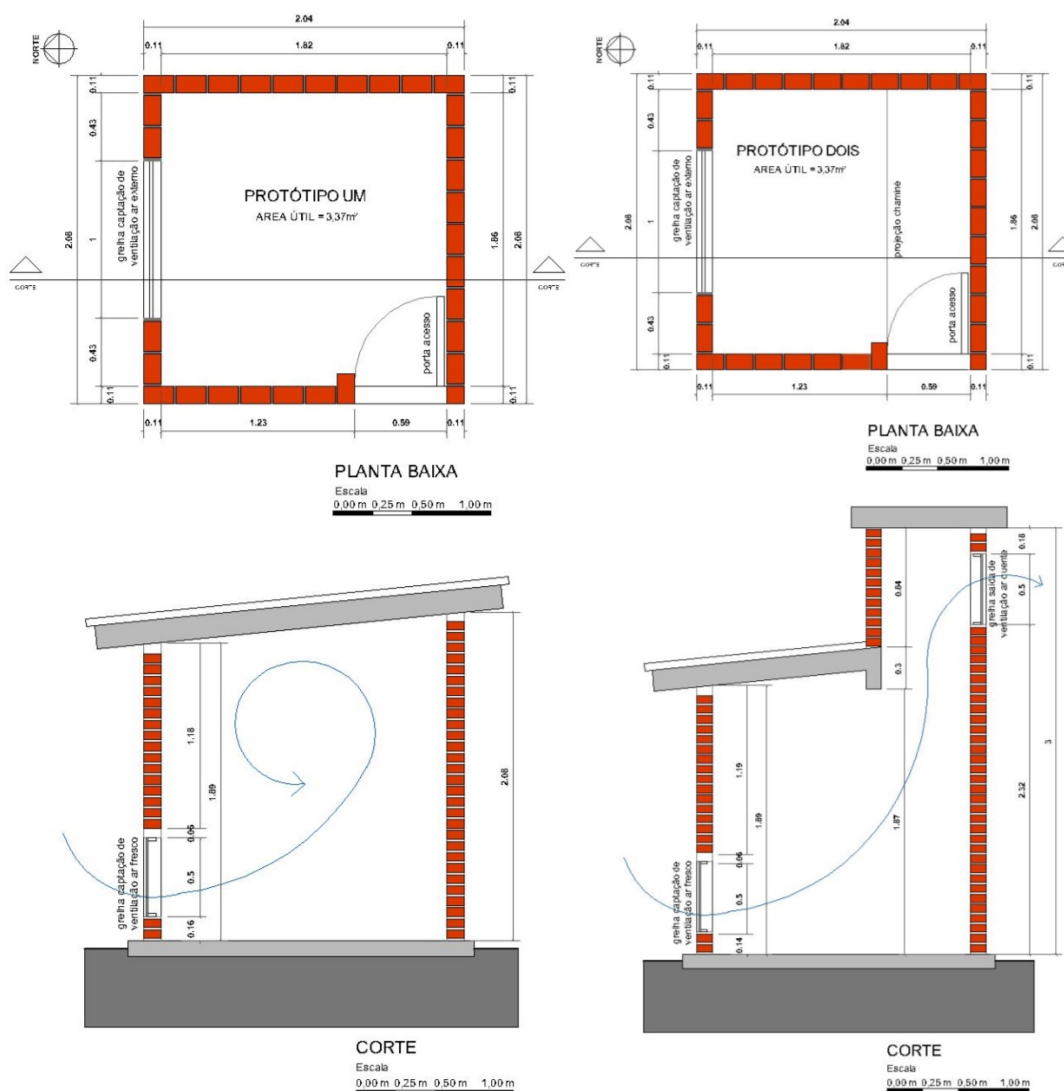
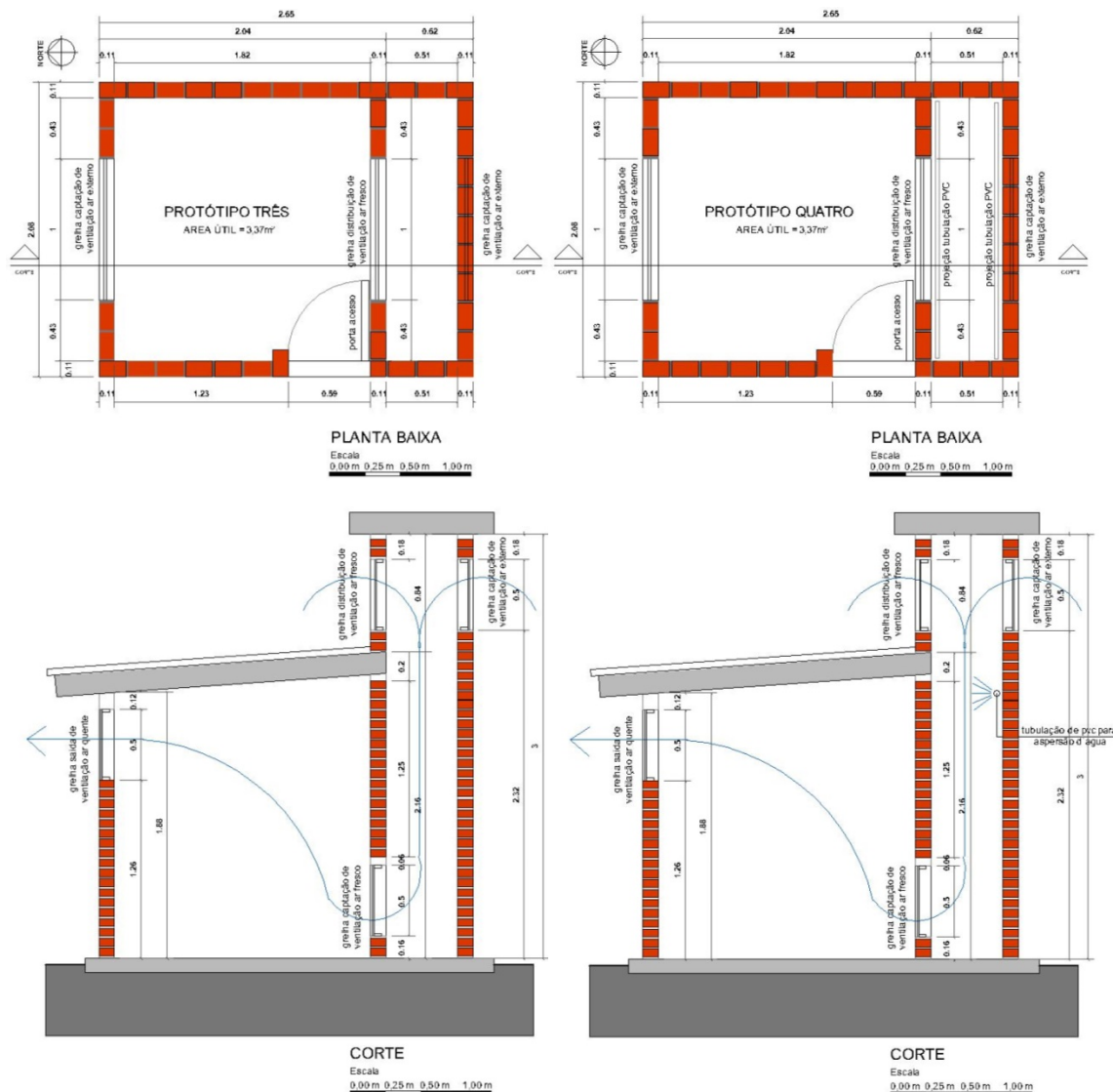


Figura 2 – Projeto dos Protótipos 3 e 4



Segundo TOMASINI (2011), 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 NNO, NNE, LSE e SE, porém feita apenas uma média anual. Foi Levado em conta estas informações, para o posicionamento e orientação dos protótipos no sítio, onde a captação de vento foi orientada para N e S, a fim de ampliar as possibilidades de captação (Figura 3).

Os dados locais de vento, temperatura e umidade foram coletados por uma estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080, instalada junto aos protótipos (latitude 29°26'55"S e longitude 51°56'42"W). Os dados regionais de vento (direção e velocidade), temperatura e umidade foram coletados pelo CIH - Centro de Informações Hidrometeorológicas UNIVATES (latitude 29°29'13"S, longitude 51°59'50"W). Para os dados no interior dos protótipos foi programado um

equipamento Arduino⁶, com sensores DHT03 registrando a temperatura externa, interna e umidade relativa do ar para os protótipos, com registros coletados em um intervalo de 30 minutos, e tabelados em planilha eletrônica.

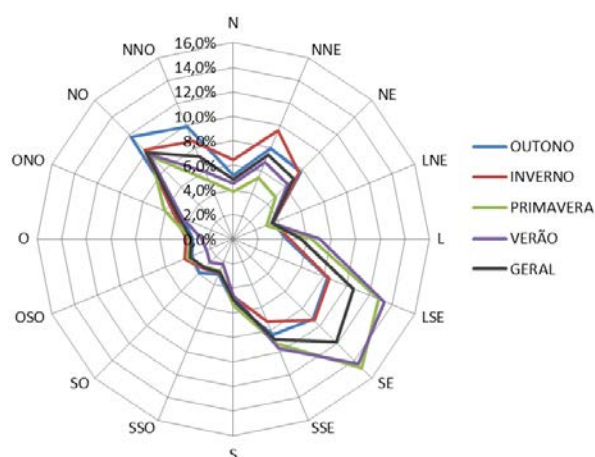
Figura 3 – Protótipos executados



3 Coleta e Análise dos Dados

Inicialmente foi desenvolvida uma revisão de ventos predominantes, com dados dos períodos de 2010 a 2014. Com os registros analisados, verificou-se que há a predominância de ventos NO, NE, LSE e SE para a média anual. Porém, foi importante desenvolver uma qualificação da leitura dos dados, analisados com auxílio de planilha eletrônica, e assim desenvolveu-se a Carta de Ventos Qualificada conforme as estações climáticas, conforme representação do Gráfico 1.

Gráfico 1 – Carta de Ventos Qualificada - Lajeado/RS (2010 a 2014)



OBS.: % de predominância de ocorrência de vento.

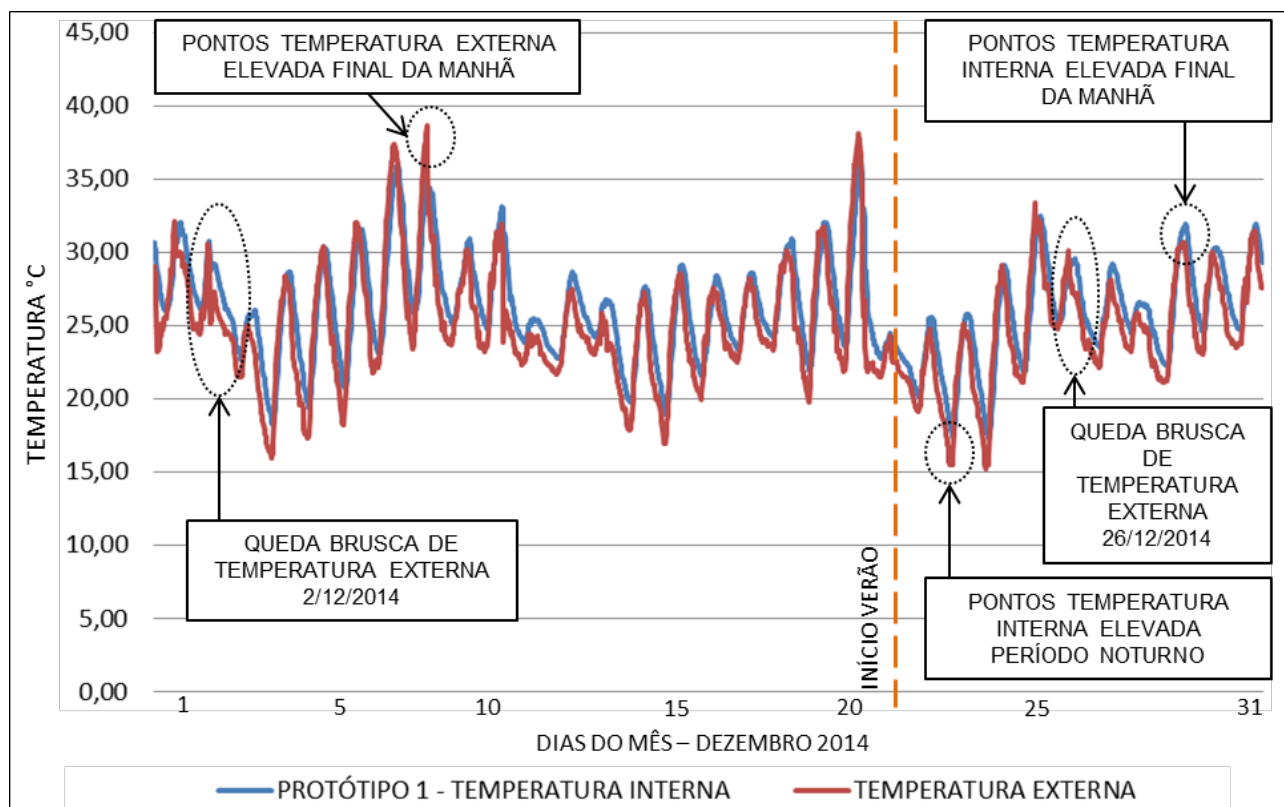
⁶ Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele (Figura 1.1). O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (McROBERTS, 2011).

Para a análise de comportamento da temperatura interna dos protótipos em relação à ocorrência de ventos, os dados foram coletados em meses de calor intenso, nos meses de dezembro/2014 a março/2015, analisados individualmente para cada um dos protótipos, e posteriormente comparados.

3.1 Protótipo 1

Para o período do mês de dezembro/2014, registrou-se as médias de temperatura externa de 25,0°C, e umidade relativa do ar de 76,90%. As médias de temperatura interna e umidade relativa do ar ficaram em 25,5°C e 66,46%. Quanto ao comportamento de troca de calor interno, conforme apresentado no Gráfico 2, 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 mesmo com a ocorrência de vento com orientação Norte não foram suficientes para a retirada do calor interno. Os momentos registrados com quedas bruscas de temperatura registrou-se a ocorrência de chuvas e/ou nebulosidade.

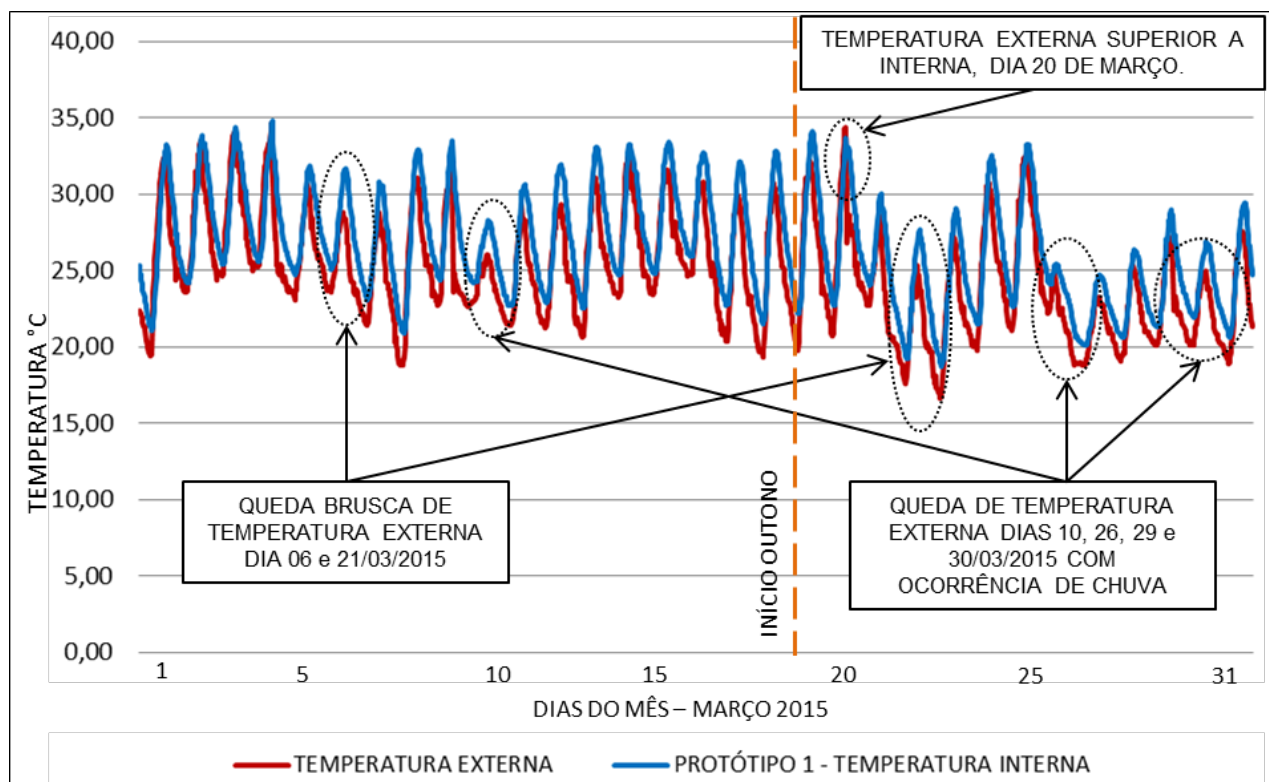
Gráfico 2 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014



Para os períodos de janeiro, fevereiro e março/2015 destaca-se a forte ocorrência de calor, e o quanto houve interferência na elevação da temperatura interna do protótipo, com momentos de

temperatura interna superior em 8,4°C em relação à externa, no final da tarde do dia 09/03/2015, ressaltando-se a dificuldade para retirada de calor interno (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Protótipo 1: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015



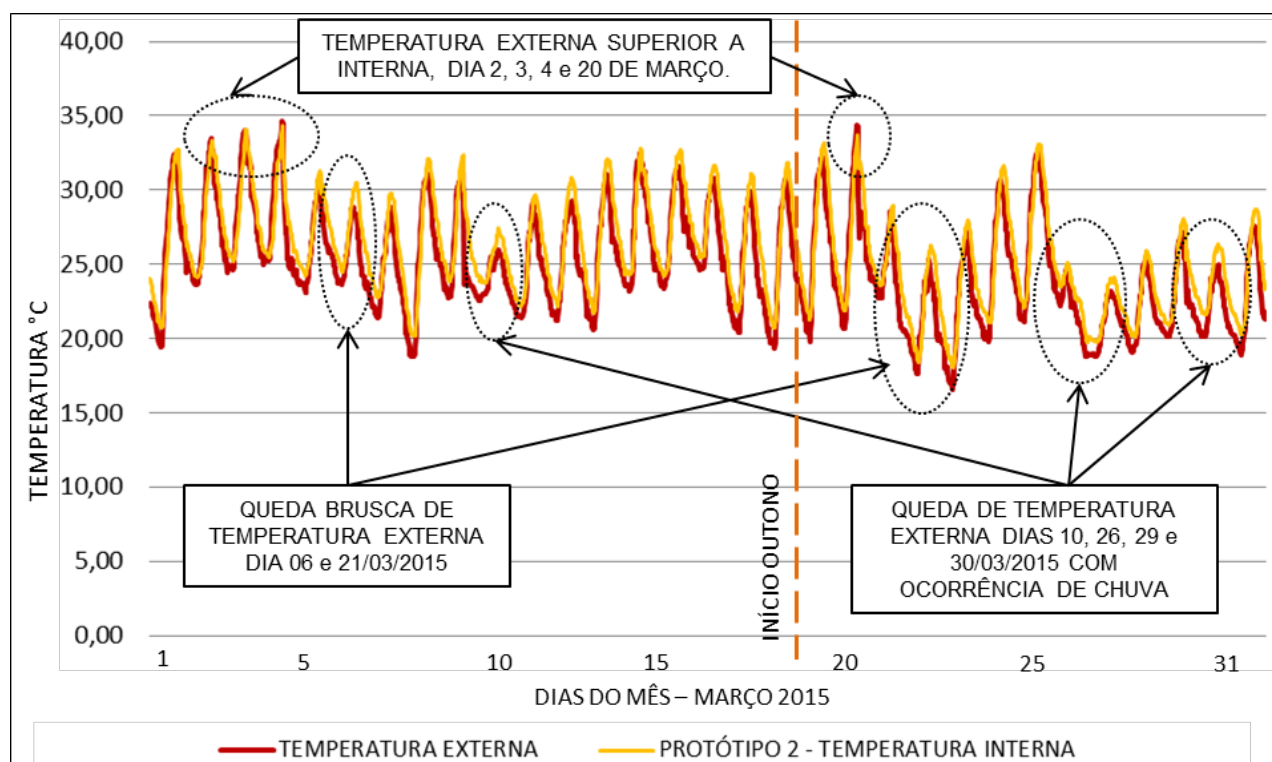
3.2 Protótipo 2

As medições de temperatura interna no mês de dezembro/2014 apresentaram média de 25,6°C, maior que a média da temperatura externa (25,0°C). A umidade interna manteve média alta (73,41%), elevada para os padrões de conforto do ambiente interno. Na maioria dos registros em que a temperatura externa atinge a sua máxima, a temperatura interna se manteve inferior, em poucos momentos no mês, a máxima interna superou a máxima externa devido à baixa ocorrência de ventos com predominância de orientação N.

Janeiro/2015 apresentou média de temperatura interna de 26,5°C e umidade relativa do ar interna de 75,5%, sendo a temperatura 0,5°C maior que a média de temperatura externa, e 2,1% inferior a umidade relativa externa. A maior ocorrência de quedas de temperatura externa, foi devido a maior ocorrência de chuvas. Porém, os picos de temperatura externa máxima superior a interna no momento mais crítico ocorreram com menor frequência, devido a maior predominância de ventos com orientação variando de L para N, podendo ter auxiliado também na redução de temperatura externa. O mês de fevereiro/2015 apresentou dados similares quanto a predominância de orientação de vento, e comportamento quando a relação das temperaturas interna e externa.

Para março/2015 a temperatura interna apresentou a média de 259°C, ainda assim superior em relação à externa (24,8°C). Porém, conforme representado no Gráfico 4, ocorreram mais momentos de temperatura interna inferior a externa, quando esta atingiu o pico máximo. O dia 2/03/2015 atingiu o pico (33,5°C), e neste momento a temperatura interna (33,2°C) se equivale à externa. Antes deste momento a temperatura interna sempre se apresentou inferior à externa em uma média de 1,0°C, salientando-se a predominância de ventos NO, N, NE e NNE, salientando uma boa velocidade, atingindo até 11,16 km/h.

Gráfico 4 – Protótipo 2: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015



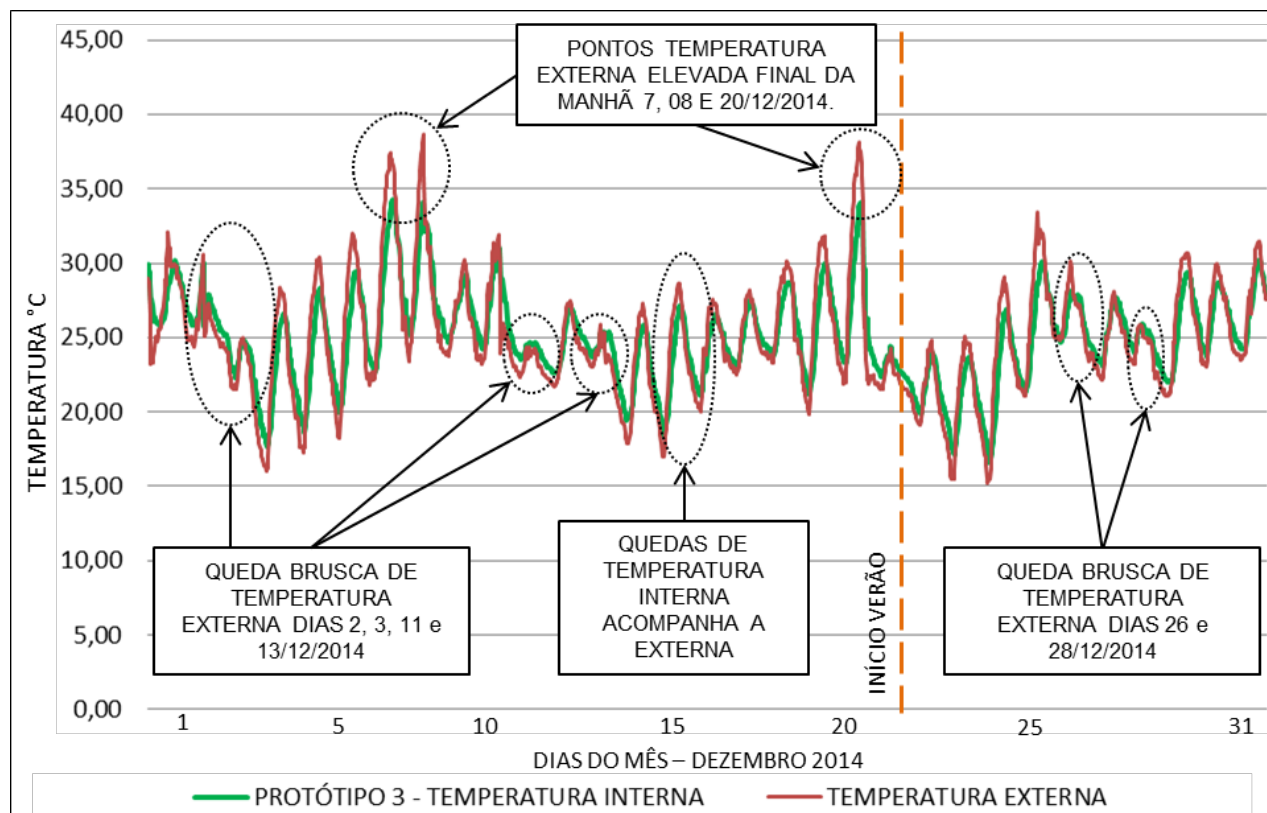
3.3 Protótipo 3

Executado com vãos para captação orientados para N e S, apresenta dados expressivos quando comparadas às temperaturas externa e interna. Dezembro/2014 apresentou temperatura interna média de 25,0°C, podendo ser considerada idêntica à externa (25,0°C). O percentual de umidade relativa do ar interna (70,6%) ficou 6,3% inferior em relação à umidade externa, apresentando pequena eficiência do sistema de ventilação proposto na retirada do excesso de umidade. Salientam-se no Gráfico 5, os momentos de registro dos maiores índices de temperatura externa para os dias 7, 8 e 20/12/2014.

Destaca-se o dia 08, a temperatura máxima de 38,7°C, e para o interior do protótipo a temperatura de 34,1°C, inferior devido a ventos com predominância de orientação N. Logo após, foi registrado ocorrência de chuva, contribuindo para a queda da temperatura externa em 3,0°C em 30 minutos, com a temperatura interna acompanhando a queda, durante um intervalo de 3 horas. Para os

períodos noturnos, os picos inferiores de temperatura externa e interna apresentaram proximidade, porém, com a temperatura interna sempre superior (média de 1,0°C). A temperatura interna inicia a inversão por volta das 21 horas, e volta a ser inferior a externa no início das manhãs, por volta das 7 horas.

Gráfico 5 – Protótipo 3: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014



Janeiro/2015 o Protótipo 3 apresentou uma temperatura interna média de 26,0°C, sendo equivalente a média de temperatura externa (25,9°C). Para a umidade relativa do ar interna, a média foi de 73,4%, um índice 4,0% 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 o registro de ocorrência de oscilação da umidade externa, onde se pode tomar como exemplo o dia 31/01/2015, com diferenças de até 25% de diferença para mais, ou para menos. 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.

Fevereiro/2015 apresentou média de temperatura interna de 25,8°C, superior a externa em 0,4°C. A umidade relativa do ar interna média de 72,0%, inferior em 2,9% se comparada a média externa. Na maior parte dos dias, houve equivalência das temperaturas nos momentos de máxima, porém a temperatura interna ficou superior à externa nos períodos da tarde. Destacam-se os dias 6 e 7/02/2015, com 90 medições realizadas, 70 delas apresentaram velocidade inferior a 3,6 km/h, 20 registros foram com velocidade zero, não contribuindo para retirada do calor interno. Em períodos

próximos, dias 8, 9 e 10/02/2015, a temperatura interna se manteve inferior nos picos da temperatura externa, porém com maior ocorrência de vento, sendo 144 medições realizadas, 90 foram inferiores a 3,6 km/h, enquanto ocorreram 31 medições superiores a 5,4 km/h, e uma máxima de 20,9 km/h, onde a temperatura interna (29,2°C) mesmo estando superior à externa (25,7°C), registra uma queda de 0,6°C, enquanto a externa se eleva em 0,1°C. A partir deste momento a temperatura interna segue em queda, e a externa segue em oscilação.

Para Março/2015, a temperatura interna média do Protótipo 3 (25,5°C), ficou superior a externa (24,81°C). A umidade relativa do ar interna ficou com a média de 68,2%, inferior em 6,3% comparada à externa, ocorrendo um comportamento similar ao apresentado para janeiro/2015. Pode-se verificar que os períodos onde a temperatura esteve inferior a 30,0°C ocorre igualdade das temperaturas interna e externa, o mesmo não ocorre quando a temperatura externa fica superior a 30,0°C, independentemente da velocidade e direção do vento.

3.4 Protótipo 4

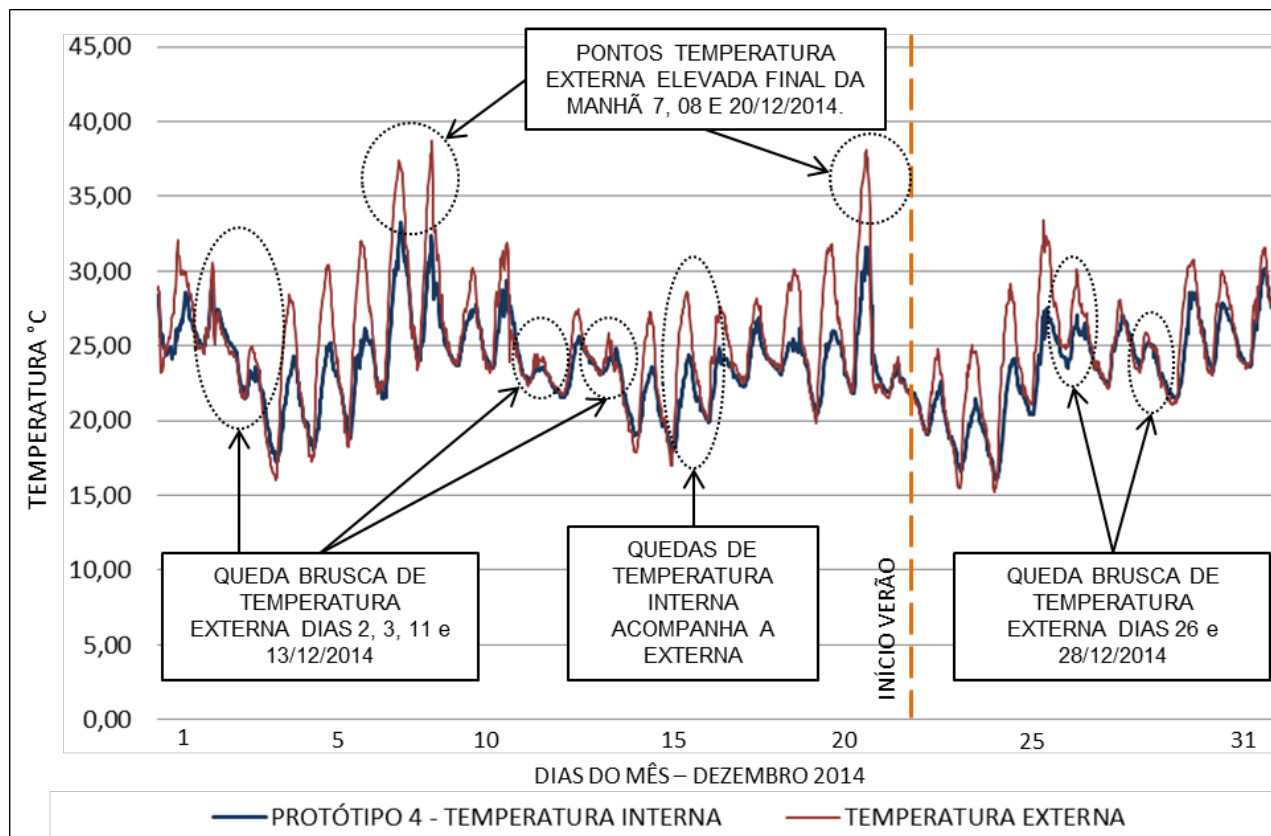
Para o Protótipo 4, os dados registrados para dezembro/2015, a temperatura média interna chegou ao índice de 23,7°C, com 1,30°C inferior em relação a média externa (25,0°). Porém, ao se fazer a relação dos índices de umidade interna e externa, ocorre uma diferença muito elevada, devido ao sistema de aspersão de água, com 91,7% de umidade relativa do ar interna média do mês, enquanto o índice externo atingiu a média de 76,9%. Houve a ocorrência de momentos com umidade interna inferior a 60%, registrados entre os períodos de 1/12/2014 a 08/12/2014 (apenas 20 registros/mês, de um total de 1.488). Interessante destacar que para estes momentos, a ocorrência de vento predominante foi de direção NE (10 registros), NO (4 registros) e N (1 registro). Esta predominância de orientações N, sempre atreladas a uma velocidade de vento média de 6,6 km/h, com momento de maior velocidade registrada de 9,72 km/h.

Ao se analisar o Gráfico 6, verifica-se a ocorrência de momentos de temperatura máxima superiores a 35°C, a mais elevada dia 8/12/2014, com 38,70°C, e temperatura interna de 31,70°C, uma significativa redução (7°C), destacando-se o horário de calor intenso (15h). Neste período a velocidade de vento foi baixa (1,08 km/h), porém durante toda a manhã a velocidade de vento foi superior (média de 7,63 km/h), com um momento máximo de 13,32 km/h, e orientações de predominância N e NE.

Janeiro/2014 apresentou a temperatura interna média de 25,2°C, onde a média externa foi de 26,0°C. O acúmulo de umidade no interior do protótipo se mostrou muito elevado, atingindo uma média de 91,9%, superior em 14,5% se comparada a umidade externa (77,4%). Salienta-se que dos 1.488 registros de umidade relativa do ar interna, em 1.113 ela foi superior a 90%. Isso indica quem

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.

Gráfico 6 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna dezembro/2014



Houveram momentos de temperatura máxima superior aos 35°C, onde destaca-se o dia 13/01/2015 com máxima de 38,4°C, superior em 4,8°C se comparado a temperatura interna (33,6°C). Para o período da manhã, a diferença de temperatura manteve uma média de 4,0°C, devido a velocidade de vento, com média de 6,73 km/h, e máxima de 14,76 km/h, e auxiliado pela direção do vento, que manteve orientação bem definida (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 a temperatura externa teve uma queda rápida devido a ocorrência de chuvas, e logo ocorre um equilíbrio das temperaturas interna e externa. A boa intensidade de chuvas ocorridas no mês, auxiliou na manutenção de temperaturas mais amenas. O período de janeiro apresentou predominância de vento de orientação NE, S e SO (somando 50,6% de ocorrência), o que auxiliou consideravelmente para a diminuição da temperatura interna.

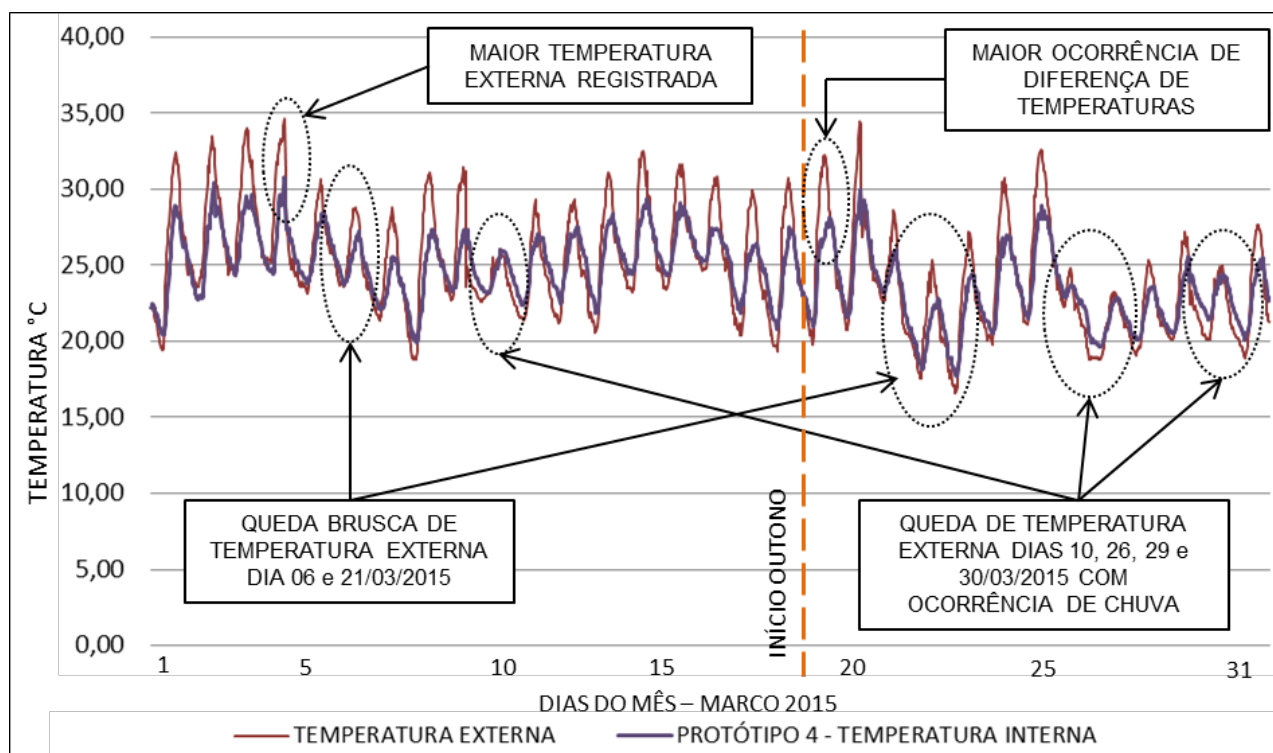
Para o mês de fevereiro/2015, a temperatura média interna do Protótipo 4 apresentou o índice de 24,5°C, onde a média externa ficou em 25,3°C, uma diferença de 0,8°C. A temperatura máxima registrada foi de 34,9°C em 10/02/2015. Neste momento, a temperatura interna registrou 29,9°C

(diferença de 5,00°C), onde 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, onde em um intervalo de 3h, há predominância de vento S, com velocidade baixa (média de 3,5 km/h).

Concluindo a coleta de dados, para março/2015 o Protótipo 4 apresentou média de temperatura interna de 24,3°C, enquanto a média de temperatura externa foi de 24,8°C, pequena se relacionada apenas a simples comparação. Porém, salienta-se a ocorrência de 17 dias, conforme o Gráfico 7, com temperatura elevada no período, onde a temperatura interna se manteve inferior a externa. O registro do momento de maior diferença de temperaturas foi em 19/03/2015, onde a estação meteorológica registrou ventos de 12,9 km/h, de orientação ESE, que foi predominante por um período do 8h, e a temperatura interna ficou superior a externa apenas as 21h da noite.

O registro de maior temperatura para o mês ocorreu no dia 04/03/2015, atingindo 34,6°C, registrando diferença de 3,8°C, mesmo com predominância de vento de orientação NO, e velocidade de 5,0 km/h. Na hora seguinte, há queda da temperatura externa devido à ocorrência de chuva (17,3mm) e nebulosidade. A queda da temperatura interna não acompanha no primeiro momento, porém, chegando a uma equivalência apenas na madrugada do dia seguinte, devido à baixa velocidade de vento registrado no intervalo de 24 medições, uma média de 0,9 km/h. Salienta-se que em 9 registros (37%), a velocidade foi nula (zero), assim ressalta-se a lentidão na equivalência das temperaturas.

Gráfico 7 – Protótipo 4: Relação Temperatura Externa x Temperatura Interna março/2015



4 Conclusões

Com base nos dados analisados, fica evidenciada a dificuldade em se trabalhar com o aproveitamento de ventilação natural em projetos de edificações. Destaca-se a grande variação na orientação de ventos, ao se comparar os dados registrados pelo CIH (Centro de Informações Hidrometeorológicas UNIVATES), resultando no modelo apresentado no Gráfico 1, com os dados da estação meteorológica Instrutemp ITWH-1080 instalada junto aos protótipos, conforme apresentado no Gráfico 8. Pôde-se verificando-se um padrão de ventos distorcido se comprado ao padrão da região, 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, conforme representado na Figura 4.

Gráfico 8 – Padrão de Ventos no Local dos Protótipos

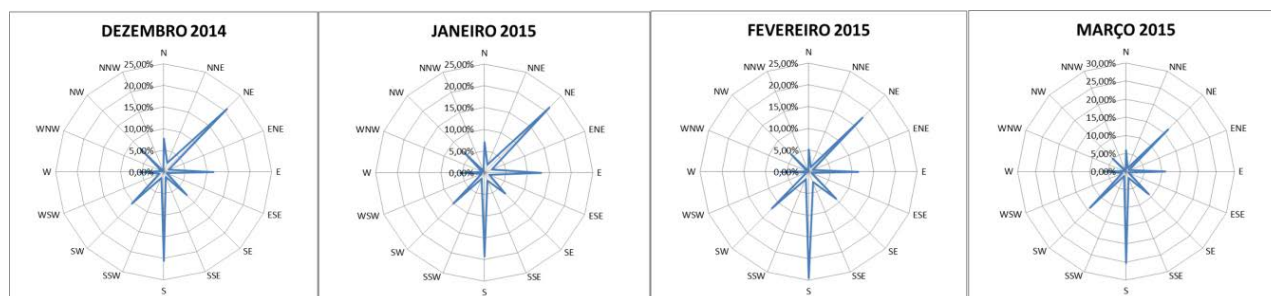
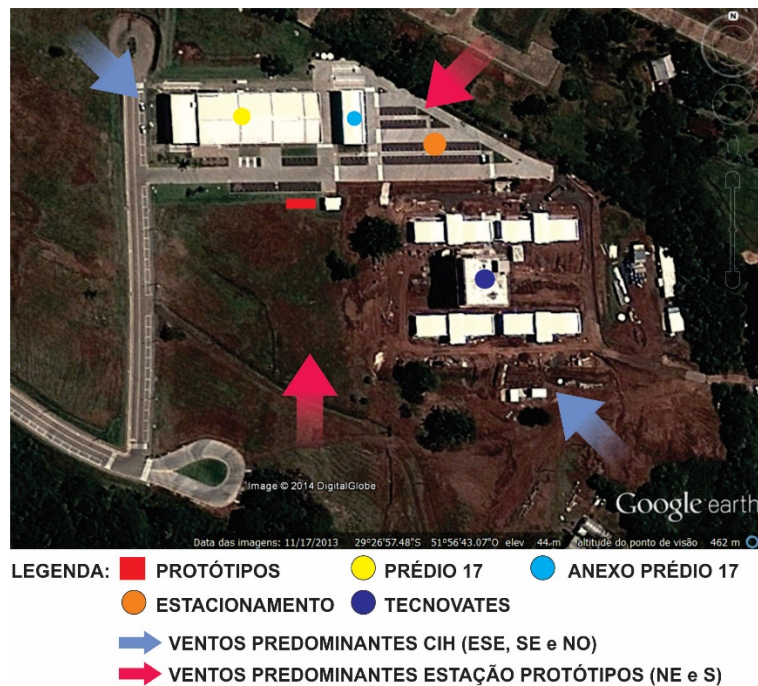


Figura 32 – Influência do entorno próximo dos protótipos na direção de ventos



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

O comportamento térmico do Protótipo 1 ocorreu conforme as projeções iniciais, onde a ausência de um sistema de ventilação natural, incluindo períodos em que foram registrados ventos com orientação N, e com boa velocidade, não influenciaram nos padrões de conforto térmico. A temperatura interna registrada inferior à externa, ocorreram apenas nas horas iniciais da manhã, quando a externa seguia crescente até atingir a máxima do dia, e assim, o calor era transferido pela materialidade para o interior do protótipo. No período da noite, a temperatura interna se manteve superior à externa, retratando assim a dificuldade na retirada do calor interno. Deve-se evidenciar a questão da própria materialidade dos protótipos, que devido à alta condutividade térmica, auxiliou para a ampliação da temperatura interna.

O Protótipo 2 apresentou comportamento térmico esperado quanto à materialidade, porém, o sistema chaminé não foi satisfatório quanto à redução da temperatura interna com o aproveitamento da ventilação natural. Fica evidenciado para o Protótipo 2, a perda de calor interno ter ocorrido de forma mais acelerada em relação ao Protótipo 1, certamente por ter a possibilidade de fluxo de ar, 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.

Os Protótipos 3 e 4 apresentaram a melhor possibilidade de eficiência para sistemas de captação de ventilação natural, com a Torre de Vento, com a área de captura de ventilação duplicada em relação aos demais, e trabalhando com as possibilidades de duas orientações principais para captar vento (N e S). Para ambos, a temperatura interna raramente chegou aos patamares da temperatura máxima em quaisquer dias dos meses pesquisados. Ocorreu 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, 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 $6,6^{\circ}\text{C}$, 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, tanto para o mês mais ameno (dezembro/2014), e os períodos mais quentes (janeiro a março/2015). A temperatura interna se apresentou inferior à externa em todos os meses, chegando a ultrapassar os $6,6^{\circ}\text{C}$, em momentos de temperatura externa superiores a $35,0^{\circ}\text{C}$. Destaca-se que quanto maior fosse a temperatura externa, a diferença se comparada à temperatura interna se tornava mais alta, principalmente nos períodos de ocorrência de ventos favoráveis (N e S). Os elevados índices de umidade relativa do ar interno demonstram a clara necessidade de ajustes no sistema de aspersão para a utilização do sistema de resfriamento evaporativo. Houve o registro de patologias⁷ nas alvenarias do Protótipo 4, conforme a Figura 5: a presença de fungos, e parte dos blocos cerâmicos ficaram esbranquiçados, devido a inércia térmica do material.

Figura 5 – Ocorrência de Patologias nas alvenarias do Protótipo 4



⁷ 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).

Um dos fatores que podem ter auxiliado na queda da temperatura interna nos Protótipos 3 e 4, foi a proximidade da grelha de saída de ar quente estar próxima a cobertura, fazendo que o ar interno próximo a ela se aquecesse de forma mais rápida, e assim perdendo densidade, tendo saída mais rápida, forçando a entrada de ar fresco pelas torres de ventilação, fenômeno similar ao estudo de Neves & Roriz (2012).

Assim, a pesquisa contribui para a melhor compreensão do comportamento da ventilação natural nas edificações, suas dificuldades e potencialidades de utilização se relacionadas com diferentes sistemas de elementos, utilizando-os de forma racional, na concepção do projeto arquitetônico. Sugere-se a continuidade das pesquisas, com adequações nos elementos propostos, dos captadores de vento, e diferenciando-os com novas possibilidades de isolamento térmico na materialidade dos protótipos.

Referências

ABNT - 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.** Rio de Janeiro, 2005.

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.

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.

MAZON, Ana Amélia Oliveira; SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da; SOUZA, Henor Artur de. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. **Rem: 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.

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.

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.

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

SCHIRMER, Waldir Nagel; PIAN, Lucas Bischof; SAYMANSKI, Mariani Sílvia 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.

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

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.

Recebido: 18 jul. 2015.

Aprovado: 1 set. 2015

Como citar:

SPINELLI, R.; KONRAD, O. Ventilação natural na construção civil: análise de alternativas para implantação de sistemas. **R. Eng. Constr. Civ.**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 1-18, jul./dez. 2015.

Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/ct/recc/index.php/recc/article/view/40>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Rodrigo Spinelli

UNIVASTES

Rua Avelino Talini, 171, Bairro Universitário, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil

Direito autoral:

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional