

THOMAZ LOURENÇO DE MATTOS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES
POPULARES DA MICRORREGIÃO DE GUARATINGUETÁ - SP**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Guaratinguetá

2015

M44
4a Mattos, Thomaz Lourenço de
Análise do desempenho térmico de habitações populares da
microrregião de Guaratinguetá – SP / Thomaz Lourenço de Mattos–
Guaratinguetá, 2015.
72 f. : il.

Bibliografia : f. 55-60

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

1. Habitação popular 2. Habitações – Aquecimento e ventilação
3. Edifícios – Propriedades térmicas I. Título

CDU 728.222(043)

THOMAZ LOURENÇO DE MATTOS

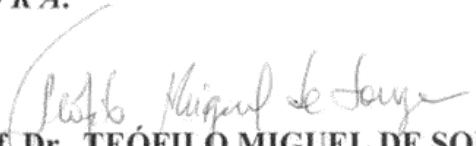
**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

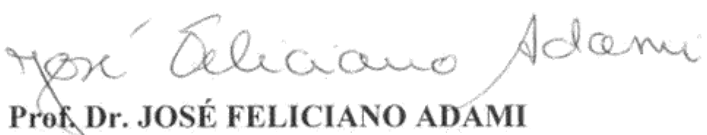
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA**

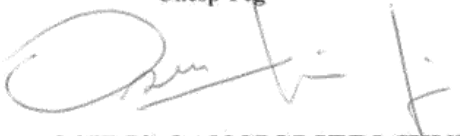
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
Unesp-Feg


Prof. Dr. OSIRIS CANCIGLIERI JUNIOR
PUC/PR

Julho de 2015

DADOS CURRICULARES

THOMAZ LOURENÇO DE MATTOS

NASCIMENTO	10.10.1986 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Leônidas Palma de Mattos Maria do Carmo Lourenço de Mattos
2007/2011	Curso de Graduação Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças e me permitir todo o aprendizado e graça alcançados.

ao meu orientador Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, pelo apoio e dedicação para a conclusão deste trabalho;

ao Centro de Energias Renováveis, pela permissão de utilização de seus recursos e dependências;

à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES, pela bolsa de estudos durante o curso;

aos moradores das unidades pesquisadas, que cederam suas moradias para o levantamento de dados experimentais, o que permitiu o desenvolvimento da análise de desempenho, parte essencial da pesquisa;

ao Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP de Guaratinguetá, representado na pessoa do Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins, coordenador do curso de Engenharia Mecânica;

ao Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado, que me incentivou e entreviui para a obtenção da bolsa didática, que me permitiu iniciar minha experiência à docência;

à secretária do departamento de Engenharia Mecânica Eliane da Silva Leite Paterniani Rita pelo atendimento e apoio nas questões da bolsa didática;

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

aos funcionários da pós-graduação pela dedicação no atendimento;

aos meus pais Leônidas Palma de Mattos “*in memoriam*” e Maria do Carmo Lourenço de Mattos , que mesmo nas adversidades sempre me apoiaram e me incentivaram;

à Fabíola Ortega Vasconcelos pelo companheirismo nas horas mais difíceis;

a todos aqueles que me incentivaram, me ajudaram ou fizeram parte nessa jornada.

MATTOS, T. L. **Análise do desempenho térmico de habitações populares da Microrregião de Guaratinguetá – SP.** 2015. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

O Desempenho térmico é definido como o comportamento térmico mínimo esperado das edificações como resposta ao clima externo e condições de uso dos ambientes, visando melhores condições de conforto térmico interior. O conforto térmico é um dos principais indicadores da qualidade de uma edificação e pode ser alcançado através da aplicação dos conceitos bioclimáticos, com adequação da edificação ao clima e a paisagem do local de construção. A adoção de estratégias bioclimáticas pode proporcionar à edificação alta qualidade ambiental e energética e consequentemente a redução no consumo de energia elétrica e melhoria na saúde e bem-estar dos usuários. A fim de verificar se as condições internas das edificações estão adequadas aos parâmetros de conforto térmicos desejáveis ou aceitáveis, emprega-se a avaliação do desempenho térmico. Sendo as habitações populares carentes de projetos bem planejados, que considerem estratégias de adaptação ao meio, são estas, objetos de maior interesse na verificação de desempenho térmico. O presente estudo tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de habitações populares na microrregião de Guaratinguetá-SP, utilizando métodos teóricos e experimentais, conforme os critérios de desempenho da norma brasileira NBR 15575/2013. Foram avaliadas sete edificações nos períodos de verão e inverno, sob condições reais de utilização, as quais apresentaram desempenho insatisfatório pelo método de cálculo, sendo necessário proceder com o método de medição de campo, para a avaliação final de desempenho térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho térmico. Habitações populares. Conforto térmico.

MATTOS, T. L. **Analysis of thermal performance of low-cost housing of the Microregion of Guaratinguetá - SP.** 2015. 72f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Thermal performance is defined as the minimum expected thermal behavior of buildings in response to the external environment and conditions of use environments, seeking better indoor thermal comfort. Thermal comfort is one of the key indicators of the quality of a building and can be reached through the application of bioclimatic concepts, adapting the building to the climate and the landscape of the construction site. The adoption of bioclimatic strategies can provide high quality environmental building and energy and consequently the reduction in electricity consumption and improved health and well-being of users. In order to verify whether the indoor conditions of buildings are appropriate to the desirable or acceptable thermal comfort parameters, we use the thermal performance evaluation. As low-cost houses do not count on well-planned projects, which consider strategies for adaptation to the environment, they are objects of greater interest when checking the thermal performance. This study aims to evaluate the thermal performance of low-cost houses in the microregion of Guaratinguetá-SP, using theoretical and experimental methods, according to the performance criteria of the Brazilian standard NBR 15575/2013. Seven buildings were evaluated during summer and winter, under actual conditions of use, which showed poor performance by calculation method, being necessary to the field of measurement method, for the final evaluation of thermal performance.

KEYWORDS: Thermal performance. Low-cost housing. Thermal comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zona Bioclimática Brasileira (ZBB)	20
Figura 2: Carta bioclimática	22
Figura 3: método de avaliação do desempenho térmico.....	26
Figura 4: Área efetiva em janela de correr	29
Figura 5: Efeito de inércia térmica segundo Szokolay	30
Figura 6: <i>Datalogger</i> HT-500.....	31
Figura 7: RMVPLN paulista	34
Figura 8: Divisão da RMVPLN.....	35
Figura 9: Tipologias - Paredes.....	41
Figura 10: Tipologias - Coberturas.....	42
Figura 11: Suporte para apoio do <i>datalogger</i>	44
Figura 12: <i>Software</i> para conversão de dados em gráfico	45
Figura 13: Gráfico TBS verão - Beira Rio I.....	49
Figura 14: Gráfico TBS inverno - Beira Rio I.....	50
Figura 15: Gráfico TBS verão - Beira Rio II.....	62
Figura 16: Gráfico TBS verão - Quaresmeiras	63
Figura 17: Gráfico TBS verão – Jd. França.....	63
Figura 18: Gráfico TBS verão - Lorena	64
Figura 19: Gráfico TBS verão - Aparecida	64
Figura 20: Gráfico TBS verão - Potim	65
Figura 21: Gráfico TBS inverno - Beira Rio II	66
Figura 22: Gráfico TBS inverno - Quaresmeiras.....	67
Figura 23: Gráfico TBS inverno – Jd. França	67
Figura 24: Gráfico TBS inverno - Lorena	68
Figura 25: Gráfico TBS inverno - Aparecida	68
Figura 26: Gráfico TBS inverno - Potim	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Critério de transmitância térmica de coberturas	27
Quadro 2: Critério de Transmitância térmica de paredes externas.....	27
Quadro 3: Capacidade térmica de paredes externas	28
Quadro 4: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar	28
Quadro 5: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	32
Quadro 6: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	32
Quadro 7: Características construtivas - Paredes	42
Quadro 8: Características construtivas - Cobertura	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização climática da Microrregião de Guaratinguetá	36
Tabela 2: Dados históricos de temperatura da Microrregião de Guaratinguetá	37
Tabela 3: Aberturas para ventilação	43
Tabela 4: Parâmetros térmicos de elementos opacos - Paredes.....	46
Tabela 5: Parâmetros térmicos de elementos opacos - Cobertura	47
Tabela 6: Critério de área mínima de abertura	47
Tabela 7: Dados experimentais de temperatura.....	48
Tabela 8: Critério de valores máximos de temperatura - Condições de verão	51
Tabela 9: Critério de valores mínimos de temperatura - Condições de inverno	51
Tabela 10: Resistência térmica superficial externa e interna	70
Tabela 11: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	71

LISTA DE SÍMBOLOS

U	Transmitância térmica	W/(m ² . K)
α	Absortância à radiação solar da superfície externa da vedação	-
CP	Capacidade térmica	kJ/(m ² . K)
μ	Amortecimento térmico	-
At int	Amplitude térmica interna	°C
At ext	Amplitude térmica externa	°C
φ	Atraso térmico	h
$t_{T \rightarrow T_e, \text{máx}}$	Tempo quando a temperatura externa é máxima	h
$t_{T \rightarrow T_i, \text{máx}}$	Tempo quando a temperatura interna é máxima	h
FCS	Fator de calor solar de elementos opacos	%
R _T	Resistência térmica de ambiente a ambiente	m ² . K/W
R _t	Resistência térmica de superfície a superfície	m ² . K/W
R _{se}	Resistência superficial externa	m ² . K/W
R _{si}	Resistência superficial interna	m ² . K/W
R	Resistência térmica	
R _{ar}	Resistências térmicas das câmaras de ar	m ² . K/W
e	Espessura de uma camada	m
λ	Condutividade térmica do material	W/(m.K)
ε	Emissividade hemisférica total	-
c	Calor específico do material	kJ/(kg.K)
ρ	Densidade de massa aparente do material	kg/m ³

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. CONFORTO TÉRMICO	15
2.2. DESEMPENHO TÉRMICO E NORMALIZAÇÃO	16
2.3. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	21
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	25
3.1. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	25
3.2. PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO.....	26
3.2.1. Adequação de paredes externas e cobertura	27
3.2.2. Abertura para ventilação e inércia térmica.....	28
3.3. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	31
4. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	33
4.1. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
4.2. PERÍODO DE MEDIÇÃO.....	37
4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES	38
4.4. MEDIÇÃO <i>IN LOCO</i>	44
5. ANÁLISE DE RESULTADOS	46
5.1. PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO.....	46
5.2. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	48
5.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	50
5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	52
6. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	61
APÊNDICE A1 - Gráficos de temperatura para condições de verão	62
APÊNDICE A2 - Gráficos de temperatura para condições de inverno	66
ANEXO A – Cálculo de transmitância térmica de elementos de vedação	70
ANEXO B – Cálculo de capacidade térmica de paredes externas	72

1. INTRODUÇÃO

As edificações segundo Zabihi; Habib; Mirsaedie (2012) têm grande influência sobre seus usuários, no que se refere à qualidade de vida, conforto, segurança, saúde, entre outros. A definição de conforto abrange as variáveis térmicas, visuais, acústicas e de qualidade do ar (SARBU; SEBARCHIEVICI, 2013), e configura como um indicador da qualidade da edificação.

O conforto térmico, uma das variáveis que representam o conforto ambiental, afeta diretamente o desempenho das atividades realizadas pelos indivíduos no interior das edificações (NOGUEIRA et al., 2012) e é um dos mais importantes aspectos a ser considerado nos projetos de edificações.

O conforto térmico pode ser alcançado com a adoção de diretrizes de qualidade, que atendam os conceitos de desempenho como padrão de construção. Um dos fatores mais importantes é a adequação do sistema de fechamento da construção às condições do clima onde ele se implantará, bem como a concepção de projeto adaptado à realidade local (SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011), inclusive considerando aspectos de eficiência energética e conforto ambiental (ALDOSSARY; REZGUI; KWAN, 2014).

Neste sentido, a edificação é responsável por amenizar as sensações de desconforto impostas por climas severos, bem como proporcionar ambientes internos tão confortáveis quanto o ambiente externo em climas agradáveis (FROTA; SCHIFFER, 2001). O desconforto térmico pode ser provocado por temperaturas internas muito altas ou muito baixas e podem estar relacionadas a problemas de saúde (SARBU; SEBARCHIEVICI, 2013; HOLOPAINEN et al., 2014).

O aumento da temperatura está associado ao incremento de partículas alergênicas produzidas pelas plantas, aumentando o número de casos de pessoas com respostas alérgicas e asmáticas. Associadas a elevadas concentrações de poluentes atmosféricos, as altas temperaturas podem aumentar o risco de morte por doenças do coração (BARCELLOS et al., 2009). O resfriamento do ar é também estimulante das doenças respiratórias e do coração. Segundo Holopainen et al. (2014) mortes por doenças cardiovasculares estão diretamente ligados à exposição excessiva a baixas temperaturas em ambientes fechados por longos períodos.

Projetos mal planejados, que não levam em consideração o clima local e as estratégias de adaptação ao meio, afetam diretamente o desempenho térmico da edificação. A análise do

desempenho térmico da edificação ainda na fase de projeto são fatores dos mais importantes (RAJASEKAR; RAMACHANDRAIAH, 2010), pois permitem verificar se as condições internas da edificação estão adequadas aos parâmetros de conforto térmico desejáveis ou aceitáveis. Caso as condições internas sejam desfavoráveis, o projeto edificado pode sofrer ajustes para apresentar um desempenho térmico satisfatório (SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011). Diversas estratégias e tecnologias estão disponíveis para este fim, tais como, tintas especiais para maior refletância dos raios solares, *brise soleil* (quebra-sol) para impedir a radiação direta, coberturas e paredes com vegetação.

Há uma crescente preocupação dos profissionais da construção com a melhoria da qualidade das edificações, porém as habitações populares ainda carecem de projetos de qualidade que favoreçam o bom desempenho na fase de utilização. Esse fato se agrava ainda mais em regiões de climas quentes, como é o caso da maioria das regiões do Brasil. Por habitação popular entende-se como a edificação construída pelo proprietário ou advinda de políticas sociais, com pequena área construída e localizadas em regiões de baixo poder aquisitivo. Pela falta de informação e baixo poder aquisitivo, a população de baixa renda se contenta com uma edificação sem as condições mínimas de desempenho térmico.

Este trabalho busca apresentar as condições de qualidade das habitações populares da Microrregião de Guaratinguetá, através de avaliação do desempenho térmico destas unidades. O procedimento de avaliação de desempenho térmico, adotado neste trabalho, tem por base a norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), a qual estabelece requisitos mínimos de qualidade que devem ser atendidos pela construção depois de pronta, durante a fase de utilização. De acordo com esta norma, a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3 (2005). A avaliação de desempenho pode ser feita de forma simplificada, com base em propriedades térmicas das fachadas e das coberturas, através de simulação computacional, onde são aferidos simultaneamente todos os elementos e todos os fenômenos intervenientes, ou por meio de medições de campo, realizadas *in loco*. Nesta pesquisa a avaliação foi feita pelos procedimentos de cálculo das propriedades térmicas e medições de campo realizadas em habitações populares em quatro municípios da microrregião de Guaratinguetá, no estado de São Paulo.

Os resultados dos estudos de caso não podem ser generalizados e, muitas vezes só se referem à situação especial do edifício em estudo, no entanto, eles podem fornecer

informações mais detalhadas do que os estudos sobre amostras maiores. (OLIVIA; CRISTOPHER, 2015).

O objetivo da pesquisa é analisar o desempenho térmico de habitações populares da Microrregião de Guaratinguetá, conforme os procedimentos de avaliação da norma brasileira de desempenho NBR 15575 (2013). Para alcançar este objetivo, foi necessário o desenvolvimento de etapas, descritas a seguir:

1. Realizar o levantamento das características físicas e construtivas das edificações nos municípios de Guaratinguetá, Lorena, Aparecida e Potim;
2. Calcular as propriedades térmicas dos elementos construtivos utilizados e as áreas das aberturas de ventilação dos ambientes monitorados de acordo com as normas de desempenho NBR 15.220/2005 e NBR 15.575/2013;
3. Avaliar o desempenho térmico das edificações em função dos parâmetros levantados, das características do sistema construtivo utilizado, das características físicas e arquitetônicas das edificações;
4. Avaliar o desempenho térmico das edificações monitoradas, em função de dados de parâmetros térmicos, registrados por meio de medição no local.

Esta pesquisa é constituída de seis capítulos, sendo o primeiro deles a introdução do tema, com as justificativas e objetivos da pesquisa. O capítulo 2 apresenta uma revisão de pesquisas recentes que abordam assuntos relacionados ao desempenho térmico. São apresentadas as relações entre desempenho térmico, conforto humano e qualidade da habitação, bem como o cenário atual de contribuições sobre o assunto e as normas relacionadas.

O capítulo 3 apresenta as etapas para o desenvolvimento da pesquisa, os procedimentos de medição e coleta de dados, os equipamentos utilizados e os parâmetros utilizados para avaliação do desempenho térmico.

O capítulo 4 apresenta a parte experimental da pesquisa, o levantamento das características da região e do ambiente de estudo, os dados das variáveis térmicas da edificação e dados das medições de campo realizadas em sete edificações residenciais em quatro municípios da microrregião de Guaratinguetá-SP.

O capítulo 5 apresenta os resultados de desempenho térmico das unidades habitacionais, avaliadas pelos procedimentos simplificado e de medição *in loco*. Para finalizar, o capítulo 6 apresenta a conclusão da pesquisa, bem como recomendações para pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONFORTO TÉRMICO

As edificações, em sua função básica de abrigo para o homem, têm como um de seus objetivos a promoção de um ambiente interno confortável para o usuário. O conforto térmico é definido pela ASHRAE Standard 55 (ANSI, 2013) como sendo a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. É avaliado de forma subjetiva e é influenciado por parâmetros ambientais e pessoais. A edificação expressa conforto térmico quando esta fornece ambientes termicamente neutros que assegurem a satisfação térmica para a maioria dos ocupantes (UGURSAL; CULP, 2013).

A pesquisa em conforto térmico integra várias ciências como a fisiologia, física do edifício, engenharia mecânica e psicologia (TALEGHANI et al., 2013). Desde 1930 tem-se desenvolvido pesquisas com o intuito de avaliar o conforto dos ambientes ocupados pelos indivíduos, e como consequência, um grande número de índices de conforto térmico foi estabelecido. Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para se estimar a sensação térmica das pessoas quando expostas a determinadas combinações de variáveis ambientais e pessoais. De acordo com a ANSI ASHRAE 55 (2013) e ISO 7730 (2009) as variáveis ambientais são a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar, enquanto as variáveis humanas são a taxa metabólica, gerado pela atividade física e a resistência térmica oferecida pela vestimenta.

A avaliação do conforto térmico pode ser verificada por duas abordagens distintas, a estática e a adaptativa (TALEGHANI et al., 2013; LAMBERTS et al., 2013; OLIVIA; CRISTOPHER, 2015). A primeira delas, a estática, é realizada em câmaras climatizadas e avalia as sensações térmicas humanas de modo analítico, considerando o homem como um simples receptor passivo. Entre a abordagem estática destacam-se os índices de conforto térmico *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Predicted percentage of dissatisfied* (PPD).

De acordo com a ANSI ASHRAE 55 (2013) o primeiro índice, o voto médio predito, prevê o valor médio da sensação térmica de um grande grupo de pessoas em uma escala de sensação expressa de -3 a +3 correspondentes às categorias "muito frio", "frio", "levemente frio", "neutro", "levemente quente", "quente", e "muito quente". O índice PMV é uma ferramenta importante e flexível para a previsão de sensação térmica, onde os níveis de

atividade física, o valor de roupas, bem como outros parâmetros de conforto térmico são considerados (KWONG; ADAM; SAHARI, 2014).

O segundo índice, percentual predito de insatisfeitos, estabelece uma previsão quantitativa do percentual de pessoas insatisfeitas termicamente, determinada a partir do PMV (ANSI, 2013).

Já a segunda abordagem, a adaptativa, proveniente de estudos de campo, considera o homem como um agente ativo, que interage com o ambiente em resposta às suas sensações e preferências térmicas e são capazes de adaptar-se a condições climáticas circundantes (TALEGHANI et al., 2013; HOLOPAINEN et al., 2014; OLIVIA; CRISTOPHER, 2015).

Segundo Holopainen et al. (2014) e Olivia e Christopher (2015) a abordagem adaptativa é particularmente interessante para edifícios ventilados naturalmente, e está incluído em normas como a ASHRAE 55, EN 15251 Europeia, e a holandesa ATG guideline (TALEGHANI et al., 2013; HOLOPAINEN et al., 2014).

Alguns estudos relacionados ao conforto térmico em edificações com ventilação natural foram realizados em vários países, como Indraganti (2010) e Rajasekar e Ramachandraiah (2010) na Índia, Taleghani et al. (2013) na Holanda e Ugursal e Culp (2013) nos Estados Unidos.

Taleghani et al. (2013) e Kwong, Adam e Sahari (2014) apresentam revisões da literatura sobre o conforto térmico adaptativo. No estudo realizado por Ugursal e Culp (2013) foi avaliada a eficácia de resfriamento humano, em condições de fluxo dinâmico de ar. O estudo mostrou que as pessoas têm preferência por fluxo de ar, mesmo quando a sensação térmica é mais fria do que neutra. Segundo os autores a existência do fluxo de ar em torno da pessoa desempenha um papel psicológico e contribui para o bem-estar da pessoa dentro de certos limites. A conclusão dos autores reforça a de Rajasekar e Ramachandraiah (2010) de que através de um comportamento adaptativo é possível ter conforto térmico em temperaturas mais altas.

2.2. DESEMPENHO TÉRMICO E NORMALIZAÇÃO

O conceito de desempenho começou a ser desenvolvido na Europa após a Segunda Guerra Mundial. O cenário pós-guerra exigiu uma mudança do mercado e sociedade para estabelecer parâmetros de qualidade na construção. Após 1960, essa forma de medir a qualidade de edificações por meio de critérios de desempenho frente a testes padronizados

começou a ser adotada em larga escala pelo mundo (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

O desempenho térmico caracteriza-se como o comportamento térmico mínimo esperado das edificações e/ou seus componentes (janelas, coberturas, paredes), visando melhores condições de conforto térmico interior (ABNT, 2013). Segundo Lamberts et al. (2010) o comportamento térmico é caracterizado pela resposta física que a edificação apresenta quando submetida às solicitações do clima externo (variáveis climáticas) e às condições de uso dos ambientes. Esta resposta é verificada frente a variação das variáveis térmicas no ambiente interno ou do fluxo de calor existente nos fechamentos da edificação.

A quantidade de calor ganho ou perdido através das fachadas de um edifício não depende apenas do material de construção usado para sua proteção, mas também das condições ambientais que o rodeiam (ADRIAN et al., 2013, LAMBERTS et al., 2010). Dessa forma o fluxo de energia através das superfícies externas (paredes e cobertura) e aberturas existentes (superfícies envidraçadas), bem como as condições de exposição à insolação e à ventilação, são os principais fatores determinantes do desempenho térmico de uma residência (LAMBERTS et al., 2010). Há três maneiras pelas quais o calor pode ser transferido de um corpo quente para um corpo frio: condução, convecção e radiação.

Quando o comportamento térmico da edificação é comparado com parâmetros de referência tem-se uma avaliação do desempenho térmico (LAMBERTS et al., 2010). Métodos de avaliação do desempenho térmico foram propostos pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., com AKUTSU et al (1987), Akutsu (1992), Akutsu, Vittorino e Yoshimoto (1995), além das contribuições de Barbosa (1997) e Roriz, Ghisi e Lamberts (1999).

No estudo de AKUTSU et al. (1987), Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Manual de Procedimento para Avaliação, sugere-se a utilização das exigências básicas e as recomendações complementares de norma ANSI/ASHRAE 55 - 81, que adota como aceitável uma porcentagem de 80% de pessoas satisfeitas com as condições do ambiente térmico (calculado pela equação de Fanger). Propõe-se, também, que a avaliação seja feita por simulação ou através de medições no local.

No método de avaliação sugerido por Akutsu (1992), conhecido como método IPT, considera as condições dinâmicas de exposição ao clima e à ocupação. Os níveis de desempenho "A", "B" ou "C", são determinados por softwares. Os procedimentos do método IPT foram utilizados por Akutsu, Vittorino e Yoshimoto (1995) em um método simplificado

que utiliza tabelas para uma verificação rápida do nível de desempenho térmico apresentado por habitações térreas de interesse social.

Barbosa (1997) desenvolveu uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares térreas e confirmar condições de conforto térmico da população local, frente a diferentes sistemas construtivos, estabelecendo o limite de horas anuais de desconforto com base em um sistema construtivo referencial.

Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) elaboraram uma proposta de Norma Técnica Brasileira para definição de requisitos mínimos aceitáveis de desempenho térmico para habitações de interesse social. Na proposta de norma os autores dividiram o território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas, através da aplicação de uma Carta Bioclimática e, para cada zona, indicou estratégias de condicionamento térmico passivo que contribuam para elevar os níveis de conforto térmico.

Das pesquisas nacionais e referências de normas internacionais surgiram as normas de desempenho no Brasil, primeiro a NBR 15220 em 2005 e depois a NBR 15575 de 2013. As normas de desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários. Além de ser referência para avaliação da qualidade das edificações, a norma de desempenho possibilita ao consumidor ter um parâmetro de comparação, podendo escolher sua casa avaliando o seu nível de desempenho.

A avaliação de desempenho térmico é realizada com base na norma de desempenho ABNT NBR 15575 de 2013, que utiliza o conceito de zona bioclimática e os cálculos dos parâmetros térmicos determinados pela ABNT NBR 15220/2005. A avaliação de desempenho é medida através de requisitos e critérios, que devem ser obedecidos, com objetivo de analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada (ABNT, 2013). Os critérios de avaliação do desempenho térmico não se aplicam a ambientes com condicionamento artificial, ou seja, são estabelecidos com base em condições naturais de insolação e ventilação.

A ventilação natural é uma estratégia de adaptação importante no desempenho térmico nas edificações. Os resultados obtidos sem analisar a influência da ventilação natural não pode expressar o comportamento do ambiente real, em utilização (PEREIRA; GHISI, 2011). Os usuários têm influência no comportamento da edificação e, portanto, o monitoramento da edificação em uso pode contribuir para compreender as diferenças entre o desempenho real e o esperado dos edifícios (TERÉS-ZUBIAGA et al., 2015).

A norma brasileira de desempenho NBR 15575/13 tem foco nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso; e estabelece requisitos mínimos de qualidade que devem ser atendidos pela construção depois de pronta, ao longo de sua utilização. O conjunto de normas NBR 15575 compreende a Parte 1 – Requisitos Gerais até a Parte 6 - Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

O desempenho térmico das edificações e métodos de avaliação são descritos nas partes 1 - Requisitos Gerais; 4 - Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, e 5 - Requisitos para sistemas de coberturas, da NBR 15575 (ABNT, 2013). A avaliação de desempenho pode ser feita de forma simplificada, com base em propriedades térmicas das fachadas e das coberturas, por simulação computacional, onde são medidos simultaneamente todos os elementos e todos os fenômenos intervenientes, ou por medição in loco, com utilização de aparelhos de medição para o levantamento dos dados de análise.

A edificação deve apresentar níveis de desempenho satisfatórios, estabelecidos pelas normas de desempenho em forma de requisitos e critérios, que são dependentes do procedimento de avaliação. Nos procedimentos de estudo de campo, feitos por medições no local, a edificação deve apresentar nível mínimo de desempenho, para os períodos de verão e de inverno.

No período de verão a ABNT NBR 15575 (2013) estabelece que a edificação deve apresentar em seu interior condições térmicas melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra. No período de inverno a edificação, contidas nas zonas bioclimáticas 1 a 5 deve apresentar condições térmicas melhores que do ambiente externo. Nas zonas 6, 7 e 8 não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico para inverno.

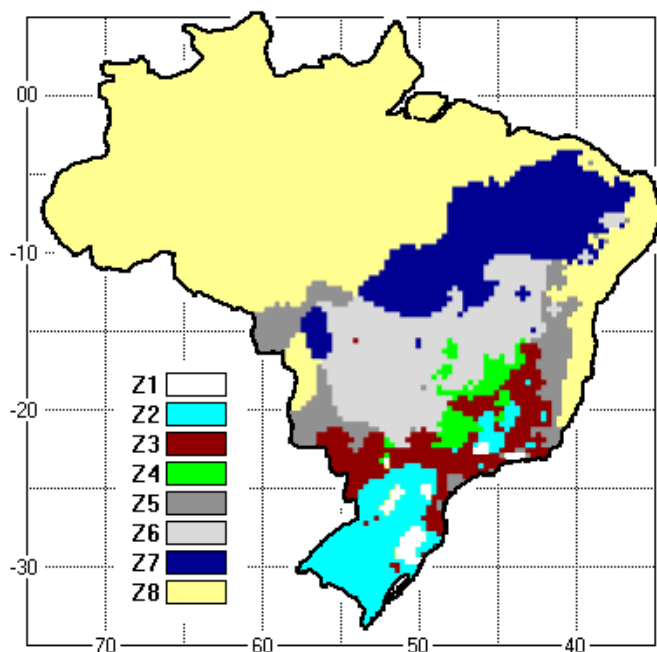
Para a avaliação do desempenho térmico é utilizada também a norma NBR 15220/2005. O conjunto de normas NBR 15220 (ABNT, 2005) compreende as Parte 1 – Definições, símbolos e unidades até a Parte 5 – Medição de resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. A avaliação do desempenho térmico é verificada nas partes 2 – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, e 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar, de elementos e componentes de edificações, que auxiliam a NBR 1557/13 na avaliação do desempenho térmico.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB) e as diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações unifamiliares de interesse social. Apesar de esta norma fazer referência às habitações de interesse social, suas recomendações são fundamentais em estratégias de adaptação ao clima, podendo ser adotada nos projetos de edificações de qualquer porte.

Zonas bioclimáticas são regiões geográficas relativamente homogêneas quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano (ABNT, 2005). De acordo com esta classificação, o Brasil foi subdividido em oito zonas (Figura 1), cujas exigências climáticas se assemelham.

Figura 1: Zona Bioclimática Brasileira (ZBB)



Fonte: software ZBBR 1.1 (RORIZ, 2004)

Além de estabelecer um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, a norma recomenda diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

As diretrizes construtivas são específicas para cada zona bioclimática e a avaliação é prescritiva. O estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo é realizado com base na verificação do atendimento de cada parâmetro identificado pela norma, apresentados a seguir:

- Tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso);

- Proteção das aberturas;
- Vedações externas, parede externa e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

2.3. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Historicamente o conforto no ambiente era proporcionado através da prática da arquitetura bioclimática. Com a adequação da edificação ao clima e a paisagem do local de construção verificava-se o baixo emprego de mecanismos artificiais para a garantia do conforto ambiental (KHALILI; AMINDELDAR, 2014). As edificações construídas após a Segunda Guerra Mundial, no entanto, não apresentavam muitas vezes esta interação da edificação com o meio ambiente, além de mostrar pouca durabilidade ao longo do tempo (LOMBARDO, 2012).

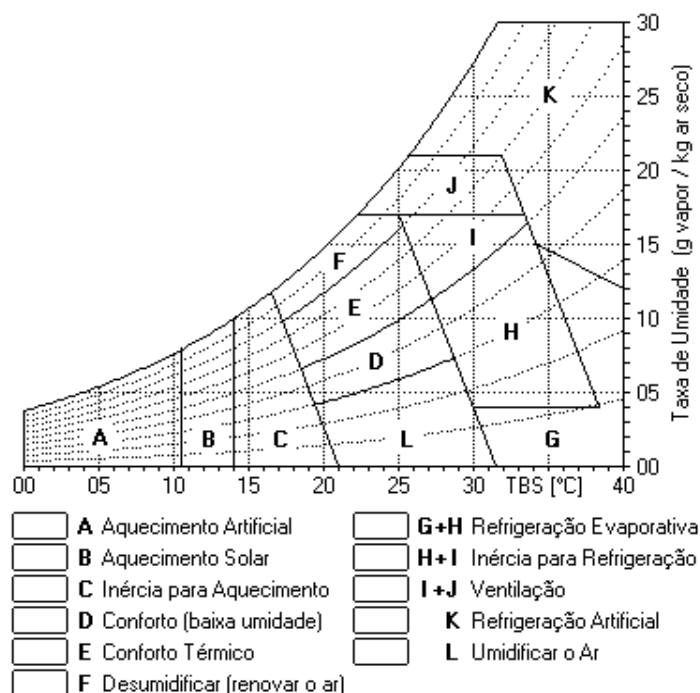
A partir do conhecimento, por parte da população mundial, da crise energética e, posteriormente, ambiental, ficou clara a necessidade de mudança da solução arquitetônica até então empregada (MUSELLI, 2010), dando lugar às construções sustentáveis. A arquitetura sustentável se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com intuito de fornecer ao ambiente construído um alto grau de conforto com pequeno consumo energético. As discussões em torno do assunto geraram uma nova abordagem na maneira de projetar e construir (MAÑAS, 2011).

Segundo Zabihi, Habib e Mirsaedie (2012) construção sustentável é aquela que modifica o ambiente natural de maneira a produzir um espaço confortável, adequado ao clima local, energeticamente eficiente e com baixo custo de manutenção, causando, necessariamente baixo impacto ambiental. Nesse cenário, os edifícios deixam de serem estruturas herméticas que causam desconforto, para dar origem as habitações agradáveis, que estimulam a produção e o bem-estar no trabalho e o relaxamento quando em casa (NUNES; CARREIRA; RODRIGUES, 2009).

Nesse contexto os projetos de edificações devem considerar questões energéticas e ambientais e entregar conforto ao edifício através da utilização de sistemas e fontes de energias naturais (ALDOSSARY; REZGUI; KWAN, 2014), cobrindo as necessidades do ser humano em aspectos térmicos, acústicos e lumínicos (NASCIMENTO, 2013).

Métodos de projeto bioclimático são interessantes para a promoção de um ambiente adequado às exigências de conforto e desempenho. Alguns desses métodos utilizam Cartas Bioclimáticas (Figura 2), que apresentam estratégias de projeto, para cada zona de conforto e comportamento climático local, indicadas para cada período do ano. As estratégias indicadas pela carta podem ser naturais (sistemas passivos) ou artificiais (sistemas ativos).

Figura 2: Carta bioclimática



Fonte: ABNT NBR 15220 / 2005

O projeto da edificação considera a interação com o clima do lugar, o sol, o vento, a vegetação e a topografia, com um desenho que permite tirar proveito das condições naturais do lugar, estabelecendo condições adequadas de conforto físico e mental dentro do espaço físico em que se desenvolve (BRITO CORREA, 2013). As estratégias passivas de adaptação ao meio, presentes nestas construções, são particularmente relevantes nos desafios que agora se colocam à construção contemporânea (FERNANDES; MATEUS, 2012, KIM; TODOROVIC, 2013).

As tecnologias passivas derivam de sistemas de aquecimento e refrigeração de ambientes sem utilização de energia externa (ou de forma passiva) e geralmente implicam em técnicas simples e baixo custo, se apresentando como uma estratégia importante na economia de energia consumida e, portanto, na eficiência energética das edificações. As tecnologias passivas são implantadas através de três conceitos: otimização da entrada da radiação solar,

ventilação natural e inércia térmica. Com o objetivo de alcançar o conforto ambiental, elas podem ser utilizadas para aquecimento, resfriamento e iluminação (KIM; TODOROVIC, 2013).

A radiação solar, a mais importante forma de energia no mundo, governa praticamente todas as formas de energia existentes na Terra como ventos, chuvas e variação de temperatura. A entrada da radiação solar nas residências é tão importante para iluminação quanto para aquecimento do interior. Segundo Frota e Schiffer (2001) o ganho de calor nas edificações é função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas das envolventes (paredes e cobertura) do edifício. Essas características tem forte influência, tanto para o desempenho térmico, quanto para o consumo energético da edificação (JANSSEN; CARMELIET; HENS, 2004, SIQUEIRA et al., 2013).

A ventilação natural é uma estratégia bioclimática importante em regiões de clima quente, favorecendo o resfriamento passivo do ambiente. A ventilação na edificação depende do projeto de aberturas (portas e janelas), sendo que a área de janelas tem uma grande importância na definição das características bioclimáticas e de energia do edifício (ALBATICI; PASSERINI, 2011). A ventilação no interior da edificação vai depender também do comportamento dos moradores com relação a abertura de janelas e portas, se mostrando como um dos mais importantes comportamentos adaptativos.

A inércia térmica dos componentes construtivos é uma estratégia bioclimática que pode auxiliar na redução das amplitudes das temperaturas internas. 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 (FROTA; SCHIFFER, 2001). O amortecimento e o atraso são tanto maiores quanto maior for a inércia da construção.

Orientação da edificação, ventilação cruzada, dispositivos de sombreamento, isolamento térmico das paredes e cobertura, paredes e coberturas vegetadas e tintas reflexivas são algumas das tecnologias passivas comumente utilizadas como estratégias térmicas passivas nas edificações.

A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu cumprimento. A metodologia de pesquisa apresentada no capítulo 3 utiliza-se das recomendações da norma

brasileira de desempenho NBR 15575 de 2013 para avaliação de desempenho térmico pelo procedimento simplificado de análise e pelo procedimento de medição, nas condições de verão e de inverno, cujas situações são extremas, de calor e de frio, respectivamente. Além da norma de desempenho, são utilizadas em conjunto, as normas da ABNT a NBR15220-2 que apresenta os procedimentos de cálculo dos parâmetros térmicos dos componentes da edificação e a NBR 15220-3, que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa tem objetivos científicos exploratórios, com uso de procedimentos baseados em pesquisas bibliográficas e estudos de caso múltiplos. A coleta dos dados para as medições de campo foi feita em condições reais de utilização, não houve controle sobre o ambiente da pesquisa e os resultados dos estudos de caso não podem ser generalizados. A análise de desempenho não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas, tratando-se de uma pesquisa com abordagem qualitativa. A metodologia de pesquisa tem natureza aplicada e objetiva verificar os problemas relacionados ao desconforto dos moradores de habitações populares, devido ao fraco desempenho dessas edificações.

O desenvolvimento do estudo se inicia com uma pesquisa bibliográfica, a fim de conhecer e identificar as melhores contribuições técnicas e científicas a respeito do desempenho térmico em edificações e a relação existente entre o clima, o meio-ambiente e o ambiente construído. A pesquisa consta ainda de estudos de caso múltiplos que são avaliados através de procedimentos de cálculo e medições de campo com a finalidade de diagnosticar o comportamento térmico das edificações frente às condições climáticas e uso dos ambientes.

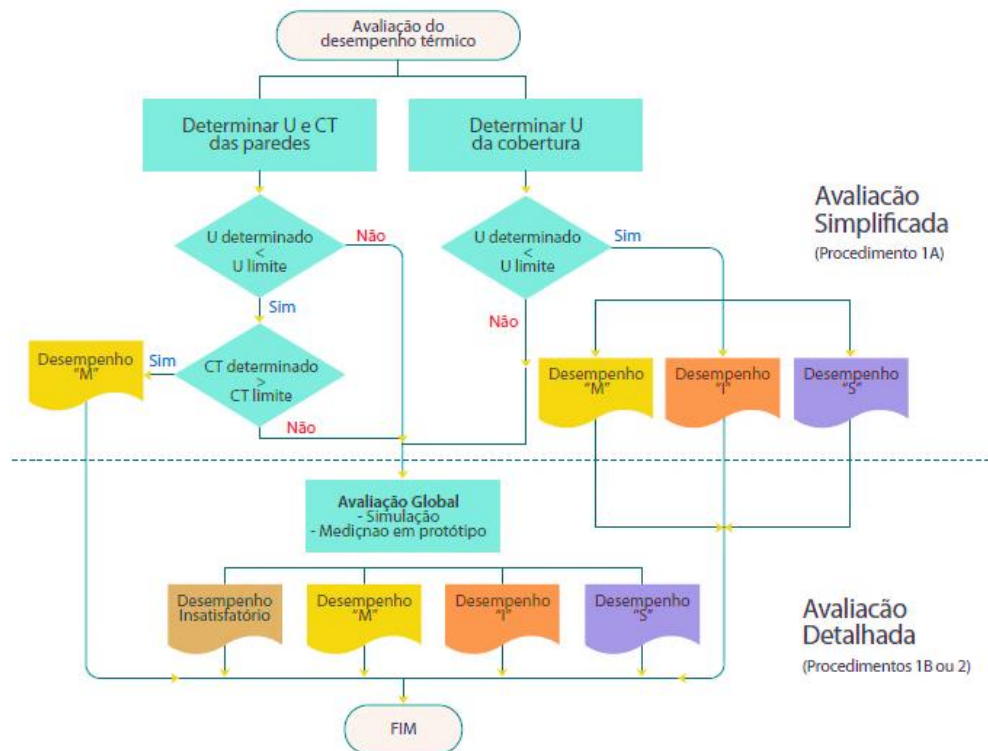
A metodologia de avaliação de desempenho térmico é estabelecida pela norma de desempenho por um procedimento simplificado e outro de medição. Conforme a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Pelo procedimento simplificado a edificação deve atender aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, avaliados por estas normas, resultem em desempenho térmico insatisfatório, deve-se avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional ou por medição *in loco*.

Pelo procedimento de medição os requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-1 devem ser atendidos, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

O fluxograma da Figura 3 apresenta os métodos de avaliação do desempenho térmico. Os níveis de desempenho, mínimo, intermediário e superior, servem de parâmetro para atender as exigências dos usuários, quanto ao conforto térmico.

Figura 3: método de avaliação do desempenho térmico



Fonte: (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p.139).

3.2. PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

No procedimento simplificado os cálculos das propriedades térmicas dos sistemas de vedação (paredes externas) e coberturas devem atender aos requisitos e critérios, estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4/2013 e ABNT NBR 15575-5/2013. São analisadas a resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar, conforme cálculos estabelecidos pela NBR 15220-2/2005.

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) as vedações verticais são partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas. Além de isolamento térmico, também exercem outras funções como isolamento acústico, estanqueidade a água, e até estrutural, devendo atender a NBR 15575-2 (ABNT, 2013). A cobertura, de acordo com a ABNT NBR 15220-5/2005, é o conjunto de elementos dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar

estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional.

3.2.1. Adequação de paredes externas e cobertura

As coberturas e paredes externas devem apresentar valores mínimos de desempenho, de acordo com a norma de desempenho e suas características térmicas devem ser apropriadas a cada zona bioclimática. Os valores de transmitância térmica e absorptância à radiação solar são verificados para os dois casos, e mais a capacidade térmica no caso de paredes externas.

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando fluxo térmico descendente, são apresentados no Quadro 1 e das paredes externas, no Quadro 2. Em algumas zonas bioclimáticas a transmitância térmica (U) limite é influenciada pela absorptância à radiação solar (α).

Quadro 1: Critério de transmitância térmica de coberturas

Transmitância térmica (U)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3FV$	$U \leq 1,5 FV$

Fonte: ABNT NBR 15575-5/2013

O fator de ventilação (FV), estabelecido pela ABNT NBR 15220-2/2005, é utilizado para a correção da transmitância térmica aceitável nas zonas 7 e 8, quando o ático da cobertura recebe ventilação cruzada. Em função da altura de abertura em dois beirais opostos o limite aceitável de transmitância pode ser aumentado, multiplicando-se pelo fator de ventilação. Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados o fator de ventilação é igual a um.

Quadro 2: Critério de Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica (U)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: ABNT NBR 15575-4/2013

Para valores altos de α há maior fluxo térmico nos elementos de vedação, por isso o material deve ter maior resistência ao atravessamento do fluxo de calor. Como a relação entre resistência e transmitância térmicas são inversamente proporcionais, os valores de transmitância térmica são menores para valores de α crescentes, conforme apresentado no Quadro 1 e Quadro 2.

No Quadro 3 são apresentados valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas.

Quadro 3: Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT)	
Zonas 1 a 7	Zona 8
≥ 130	Sem exigência

Fonte: ABNT NBR 15575-4/2013

Os procedimentos de cálculo para determinar a transmitância térmica e capacidade térmica de elementos de vedação são determinados pela NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005), conforme apresentados no ANEXO A e ANEXO B respectivamente.

3.2.2. Abertura para ventilação e inércia térmica

As edificações devem apresentar dimensões adequadas das aberturas em suas fachadas, para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) os ambientes de permanência prolongada (salas, cozinhas e dormitórios) devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, incluindo Códigos de Obras e Códigos Sanitários. Caso o local de implantação da obra não contenha exigências para aberturas, a norma de desempenho fornece valores a serem adotados, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zona 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso A_p (Região norte do Brasil). $A \geq 8\%$ da área de piso A_p (Região nordeste e sudeste do Brasil).

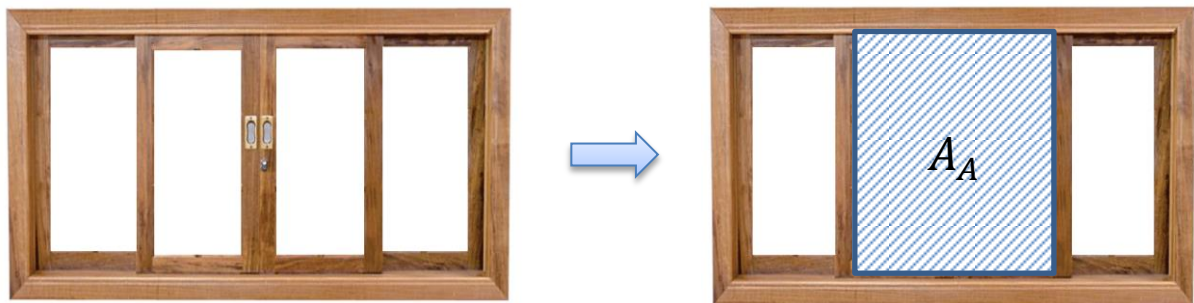
Fonte: ABNT NBR 15575-4/2013

As aberturas para ventilação nas zonas 1 a 6 devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio. O cálculo para definir a abertura para ventilação é dado pela Equação (1).

$$A = 100 \left(\frac{A_A}{A_p} \right) \% \quad (1)$$

Para a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente (A_A) são consideradas somente as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo como apresentado na Figura 4.

Figura 4: Área efetiva em janela de correr



Fonte: (PORTAS BELA VISTA, 2015)

Nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada.

A norma de desempenho não apresenta critérios para a verificação da inércia térmica, mas esta é uma importante estratégia bioclimática que pode auxiliar na redução das amplitudes das temperaturas internas, e por isso é importante sua verificação. A inércia térmica tem origem na capacidade, que os materiais possuem, de armazenar calor e é definida pelos efeitos de amortecimento das ondas de calor e atraso térmico.

O amortecimento (μ) depende da transmitância térmica (U) do fechamento, quanto menor for o valor de U , maior a resistência ao fluxo térmico. O cálculo do amortecimento, segundo Szokolay (RAMOS, 2010) é dado na Equação (2) e envolve a amplitude térmica (At), que consiste na variação entre as temperaturas máximas e médias, dos ambientes interno e externo.

$$\mu = 1 - \frac{At_{int}}{At_{ext}} \quad (2)$$

Sendo: At determinada conforme Equação (3):

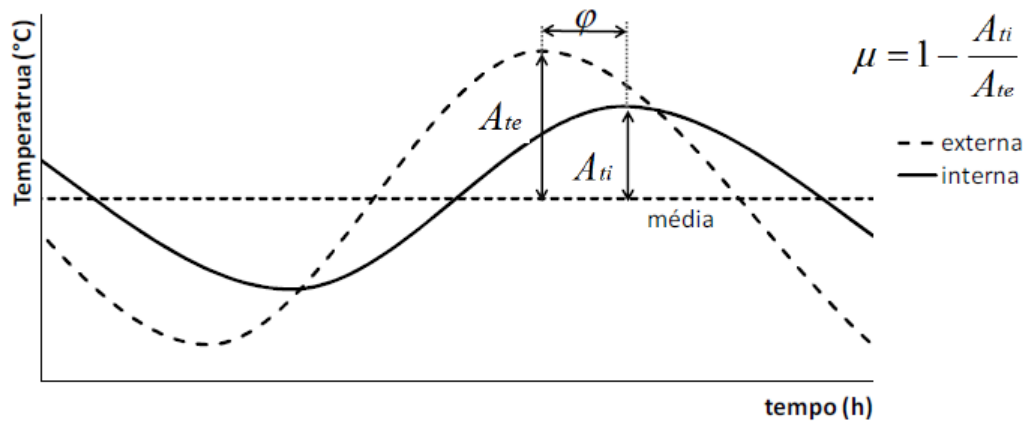
$$At = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{\text{máx}} - T_{\text{méd}})}{n} \quad (3)$$

O atraso térmico (ϕ) está associado à capacidade calorífica do componente, quanto maior a capacidade térmica (CT), menor oscilação e maior retardo térmico. O cálculo de atraso térmico, apresentado na Equação (4), envolve a variação de tempo nos instantes em que as temperaturas externas e internas são máximas.

$$\phi = t_{T \rightarrow T_{e,\text{máx}}} - t_{T \rightarrow T_{i,\text{máx}}} \quad (4)$$

O atraso térmico pode ser estimado conforme cálculos, estabelecidos pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005), porém de forma simplificada, podem-se utilizar os cálculos com dados experimentais das curvas de variação de temperatura externa e interna de um ambiente construído, conforme esquematizado no exemplo da Figura 5.

Figura 5: Efeito de inércia térmica segundo Szokolay



Fonte: Ramos (2010, p. 27)

Outro índice importante na avaliação da inércia térmica é o fator solar de elementos opacos. O fator de ganho de calor solar de elementos opacos (ou apenas fator solar de elementos opacos) FCS é dado pela Equação (5).

$$FCS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad (5)$$

Como a resistência superficial externa R_{se} é admitida constante e igual a 0,04 (ABNT, 2005), a Equação (5) pode ser reescrita na forma da Equação (6).

$$FCS = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad (6)$$

3.3. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

Os instrumentos utilizados para o levantamento dos dados de temperatura do ar e umidade relativa foram *dataloggers* (registradores de dados) da marca *Instrutherm*, modelo HT-500. Estes aparelhos possuem memória para armazenamento de 16 mil leituras para temperatura e 16 mil para umidade.

O *datalogger* HT-500 armazena os dados coletados de tempo em tempo, conforme escolha do usuário, que pode variar de 2 segundos a 24 horas. A escala de medição varia de -40 a 70°C para temperatura (resolução de 0,1°C) e de 0 a 100% para umidade (resolução de 0,1%). A precisão do aparelho é 1,8°C para intervalo de medição de temperatura de -20 a 50°C e de $\pm 3\%$ para intervalo de medição de 0 a 100% para umidade.

O aparelho tem interface USB, conforme Figura 6, para descarregar dados e configurações do aparelho e acompanha software de análise para a conversão dos dados coletados em gráficos.

Figura 6: *Datalogger* HT-500



Fonte: Autor

Os dados foram analisados pelos critérios de valores máximos de temperatura para o período de verão e os valores mínimos de temperatura para o período de inverno, conforme os critérios de desempenho da ABNT NBR 15575/2013.

De acordo com a norma de desempenho a edificação deve apresentar em seu interior condições térmicas melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para condições de verão. O nível para aceitação é o M (denominado mínimo), porém a norma recomenda os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S) para maior conforto dos usuários, conforme Quadro 5.

Quadro 5: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zona 1 a 7	Zona 8
M	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx}$	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx}$
I	$T_{int,máx} \leq (T_{ext,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{int,máx} \leq (T_{ext,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{int,máx} \leq (T_{ext,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{int,máx} \leq (T_{ext,máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{int,mín} \leq (T_{ext,mín} + 1)$

Fonte: ABNT NBR 15575-1/2013

Para as edificação nas zonas 2 e 3 o nível mínimo de desempenho é atendido se a temperatura máxima do ar interno for menor ou igual a temperatura máxima do ar externo. Para níveis melhores a temperatura interna deve ser menor que a externa em pelo menos 2 °C, para intermediário e 4 °C para superior.

Para condições de inverno, a norma de desempenho estabelece que para as zonas bioclimáticas 1 a 5 a unidade habitacional deve apresentar em seu interior condições térmicas melhores que as do ambiente externo.

Os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C. O nível para aceitação é o M (denominado mínimo), porém a norma recomenda os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S) para maior conforto dos usuários, conforme Quadro 6.

Quadro 6: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zona 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i,mín.} \geq T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C}$	Nesta zona, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i,mín.} \geq T_{e,mín.} + 5^{\circ}\text{C}$	
S	$T_{i,mín.} \geq T_{e,mín.} + 7^{\circ}\text{C}$	

Fonte: ABNT NBR 15575-1/2013

Para atingir níveis de desempenho melhores a edificação deve ter em seu interior temperatura mínima maior que a mínima externa, em pelo menos 5 °C para nível intermediário e 7 °C para nível superior. Nas zonas 6, 7 e 8 este critério não precisa ser verificado.

4. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para realizar as medições de campo buscaram-se na Microrregião de Guaratinguetá as edificações que se encaixam como habitação popular, seja habitação de interesse social ou derivada da autoconstrução. Dos nove municípios da microrregião foram excluídos da pesquisa os municípios de Cunha, Piquete e Roseira, que possuem características diferentes com relação ao clima. Dos seis municípios restantes, escolheram-se quatro municípios que apresentavam características urbanas e maior densidade populacional. Guaratinguetá, Lorena e Aparecida configuram ainda como os municípios de maior importância econômica dentro da Microrregião de Guaratinguetá.

Das habitações populares pesquisadas foram escolhidas sete unidades em quatro municípios da microrregião estudada, uma edificação para cada município de Lorena, Aparecida e Potim e quatro edificações para Guaratinguetá. A escolha das edificações deu-se pela disponibilidade dos moradores em colaborar com as pesquisas.

Com a permissão dos moradores, a próxima etapa foi o levantamento das características físicas das edificações. Com os dados até essa etapa foi possível realizar os cálculos dos parâmetros térmicos de paredes e cobertura, bem como os cálculos para abertura de ventilação.

A etapa seguinte foram as medições de temperatura. O monitoramento das edificações foi realizado sem a necessidade de acompanhamento de pesquisador para anotações, com a utilização de equipamentos registradores de dados de temperatura e umidade. Estes equipamentos foram decisivos para a colaboração dos moradores, que se mostraram preocupados com a presença de um pesquisador durante todo o tempo. Os dados foram levantados nos períodos de verão e inverno.

Para a instalação dos aparelhos seguiu-se os procedimentos descritos na norma de desempenho NBR 15575/13. As medições internas foram executadas de forma a não alterar o cotidiano e a realização das atividades diárias nas residências.

Após o levantamento, os dados de temperatura para os períodos de verão e de inverno foram organizados em tabelas e gráficos. Os gráficos foram desenhados pelo programa de plotagem de gráficos da Origin.

4.1. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os municípios estudados situam-se na sub-região 3, antiga microrregião de Guaratinguetá, da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN). A RMVLN foi criada em janeiro de 2012 pela Lei Complementar Estadual nº 1.166 (SÃO PAULO, 2012), substituindo a antiga denominação de Vale do Paraíba Paulista. A RMVLN está situada entre as duas regiões metropolitanas mais importantes do país; São Paulo e Rio de Janeiro, conforme Figura 7. Sua localização possibilita a região destacar-se no desenvolvimento econômico do Sudeste quanto ao escoamento da produção industrial (TAVARES; FONSECA, 2013). A região possui um parque tecnológico dos mais desenvolvidos do país, absorvendo indústrias de diferentes segmentos como petroquímico, automobilístico, químico, bélico, farmacêutico, veterinário, telecomunicações e, sobretudo, aeronáutico (SÃO PAULO, 2012).

Figura 7: RMVPLN paulista



Fonte: blogdovale2 (2014)

A RMVLN possui uma área de 16.179, 95 km², com uma população aproximada de 2,4 milhões de habitantes (BRASIL, 2011), 5,5% do total do Estado. Segundo estimativas do IBGE (BRASIL, 2014) a RMVLN torna-se uma das 11 regiões mais populosas do Brasil em 2014. Formada por 39 municípios a nova região metropolitana está dividida, segundo o artigo 4º da Lei Complementar Estadual nº 1.166, em cinco sub-regiões:

I - Sub-Região 1: Caçapava, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, Monteiro Lobato, Paraibuna, Santa Branca e São José dos Campos;

II - Sub-Região 2: Campos do Jordão, Lagoinha, Natividade da Serra, Pindamonhagaba, Redenção da Serra, Santo Antônio do Pinhal, São Bento do Sapucaí, São Luis do Paraitinga, Taubaté e Tremembé;

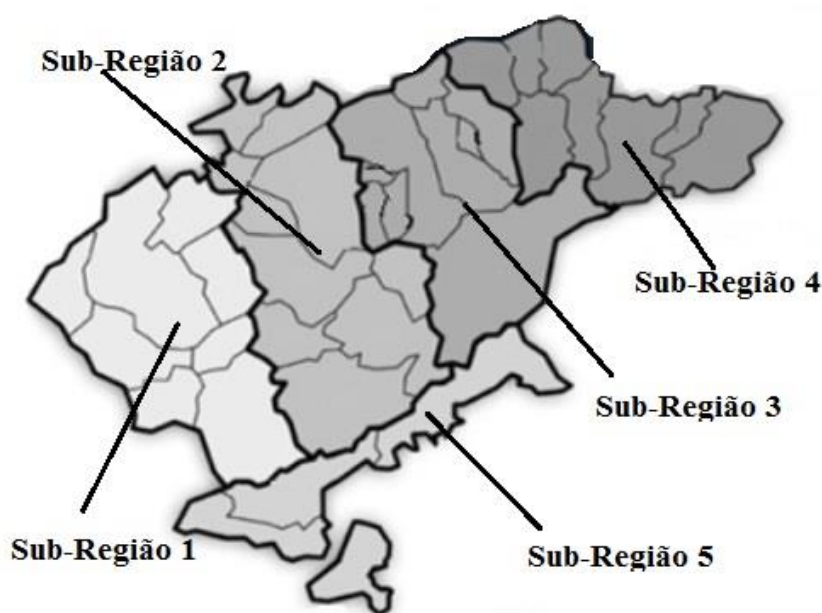
III - Sub-Região 3: Aparecida, Cachoeira Paulista, Canas, Cunha, Guaratinguetá, Lorena, Piquete, Potim e Roseira;

IV - Sub-Região 4: Arapeí, Areias, Bananal, Cruzeiro, Lavrinhas, Queluz, São José do Barreiro e Silveiras;

V - Sub-Região 5: Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba.

As cinco sub-regiões da RMVPLN (Figura 8) correspondem às cinco regiões de governo, ou microrregiões (São José dos Campos, Taubaté, Guaratinguetá, Cruzeiro, e Caraguatatuba), criadas pelo Decreto nº 22.970, de novembro de 1984 (SÃO PAULO, 2012). Define-se como microrregião geográfica um conjunto de municípios, contíguos e contidos na mesma unidade da federação, definidos com base em características do quadro natural, da organização da produção e de sua integração (BRASIL, 2011).

Figura 8: Divisão da RMVPLN



Fonte: blog.agoravale (2014)

A Sub-Região 3 da RMVPLN conta com 9 municípios em uma área total de 2.938,51 km², o que representa 18,16% da área da RMVPLN. A região possui população total de 329.061 habitantes (14,53% do RMVPLN) e 114.715 moradias (12,98% da RMVPLN). Guaratinguetá, Lorena e Aparecida são os municípios com maior número de moradias, representando juntos 69,02% da população da Sub-Região 3 (8,96% da RMVPLN). Situada

entre os eixos Rio-São Paulo essa região possui grande fluxo turístico, destacando-se o turismo religioso de visitação nacional, além do turismo rural, cultural e o ecoturismo. Guaratinguetá e Lorena, contudo, fundamentam seu desenvolvimento no setor industrial e nos ensinos superior e tecnológico. Potim, Canas e Roseira, ao lado da agricultura, vêm incrementando a indústria, o comércio e o turismo (SÃO PAULO, 2012). A região caracteriza-se, ainda, por importantes reservas naturais, como as Serras da Mantiqueira, da Bocaina e do Mar e pelas fazendas de valores histórico e arquitetônico.

A Sub-Região 3 possui uma classificação climática segundo Köppen do tipo Aw em pelo menos seis municípios. Os tipos climáticos de Köppen consideram a distribuição sazonal da precipitação acrescida das características da temperatura. Cada grande grupo climático é caracterizado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, que combinadas representam os tipos e subtipos considerados (SÁ JÚNIOR, 2009). O clima Aw é tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C. Cunha, Piquete e Roseira são exceções na região, sendo classificadas como Cwa, tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

A Tabela 1 apresenta dados da posição geográfica, o clima e a zona bioclimática de cada um dos nove municípios da microrregião de Guaratinguetá.

Tabela 1: Caracterização climática da Microrregião de Guaratinguetá

Município	Latitude	Longitude	Altitude	Clima ^(a)	Zona Bioclimática ^(b)
Piquete	-22,61	45,17	645	Cwa	2
Canas	-22,70	45,05	530	Aw	2
Cachoeira Paulista	-22,66	45,01	521	Aw	2
Lorena	-22,73	45,12	524	Aw	2
Cunha	-23,07	44,96	950	Cwa	3
Potim	-22,84	45,25	535	Aw	3
Roseira	-22,89	45,30	551	Cwa	3
Aparecida	-22,84	45,22	542	Aw	3
Guaratinguetá	-22,81	45,18	530	Aw	3

Fonte: (a) CEPAGRI - Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura (2014), (b) software ZBBR 1.0 (RORIZ, 2004).

As zonas bioclimáticas foram estimadas pelo software ZBBR 1.0 que produz o mapa das zonas bioclimáticas brasileira.

4.2. PERÍODO DE MEDIÇÃO

O período para medição foi dividido em períodos de verão e de inverno, que correspondem às situações críticas de temperatura no local, analisadas por um período de pelo menos dez anos. A Tabela 2 apresenta os dados históricos de temperatura resumidos para a região de estudo para os anos de 2003 a 2012.

Tabela 2: Dados históricos de temperatura da Microrregião de Guaratinguetá

Município		Temperatura (°C)		
		Mínima média	Máxima média	Média
Piquete	Méd.	14,9	27,7	21,3
	Mín.	10,5	24,6	17,6
	Máx	18,6	29,7	24,1
Canas	Méd.	15,6	28,5	22,0
	Mín.	11,1	25,3	18,3
	Máx	19,2	30,6	24,9
Cachoeira Paulista	Méd.	15,6	28,5	22,1
	Mín.	11,1	25,3	18,3
	Máx	19,3	30,6	24,9
Lorena	Méd.	15,5	28,3	21,9
	Mín.	11,0	25,1	18,2
	Máx	19,1	30,4	24,8
Cunha	Méd.	13,4	25,7	19,6
	Mín.	9,0	22,6	15,9
	Máx	17,2	27,9	22,5
Potim	Méd.	15,4	28,2	21,8
	Mín.	10,9	25,0	18,0
	Máx	19,1	30,3	24,7
Roseira	Méd.	15,3	28,1	21,8
	Mín.	10,8	24,9	18,0
	Máx	19,1	30,3	24,7
Aparecida	Méd.	15,4	28,2	21,8
	Mín.	10,9	25,0	18,0
	Máx	19,1	30,3	24,7
Guaratinguetá	Méd.	15,5	28,4	21,9
	Mín.	11,0	25,1	18,2
	Máx	19,2	30,5	24,8

Fonte: CEPAGRI - Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura (2014)

O período de medição foi obtido seguindo as etapas sugeridas por Akutsu e Vittorino (1998), para obtenção de um dia típico de projeto. O período de verão deve conter o mês mais quente do ano, verificado em dados históricos de dez anos ou mais, acrescido dos meses em

que a diferença da máxima temperatura do mês em relação ao mês mais quente não seja maior que β °C ($\Delta T \leq \beta$), sendo β dado pela Equação (7). Para o período de inverno deve conter o mês mais frio do ano, acrescido dos meses em que a diferença da mínima temperatura do mês não seja maior que β °C do mês mais frio.

$$\beta = 0,10 \times (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) \quad (7)$$

$T_{\text{máx}}$ é a média das temperaturas máximas diárias e $T_{\text{mín}}$ é a média das temperaturas mínimas diárias, referentes ao mês mais quente para o verão e ao mês mais frio para o inverno, analisados em um período de dez anos.

Da análise climatológica da microrregião de Guaratinguetá, por um período de 10 anos (2003 a 2012), verificou-se que o mês mais quente da região é fevereiro, e o período definido como verão corresponde aos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. O mês mais frio da região de estudo é julho, e o período definido como inverno corresponde aos meses de junho, julho e agosto.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

A caracterização das unidades habitacionais fornece os materiais de construção, as dimensões construtivas, as aberturas para ventilação e verifica se há adequação do projeto ao meio. Os materiais utilizados para o levantamento desses dados foram bússola e trena. A bússola serve para informar a posição da edificação em relação ao norte; o posicionamento da edificação é importante para verificar a direção de suas aberturas, insolação e sombreamento. A trena foi utilizada para o levantamento das medidas da edificação como paredes, aberturas e pé-direito. A seguir apresentam-se as características das unidades habitacionais da região de estudo.

- Unidade habitacional Beira Rio I

Está situada na região central do município de Guaratinguetá, no bairro Beira Rio I. Essa região é asfaltada e apresenta densidade habitacional média, com maioria de residência térrea. A construção tem 64 m² de área com pé-direito médio de 2,75 m, possui paredes com espessura de 13 cm, em alvenaria de blocos de concreto, com argamassa interna e externa e pintadas na cor branca na parte interna e verde clara na externa. A cobertura é feita com estrutura de madeira e telhas cerâmicas sob laje, em toda a casa.

- Unidade habitacional Beira Rio II

Está situada na região central do município de Guaratinguetá, no bairro Beira Rio II. A região é asfaltada e apresenta densidade habitacional média, com maioria de residência térrea. A construção tem 64 m² de área com pé-direito médio de 2,70 m, possui paredes com espessura de 14 cm, em alvenaria de blocos cerâmicos, com argamassa interna e externa e pintadas na cor branca nas duas faces. A cobertura é de laje em toda a casa, com telhas cerâmicas.

- Unidade habitacional Quaresmeiras

Está situada na região periférica do município de Guaratinguetá, no bairro Quaresmeiras. A região possui pavimento com blocos de concreto intertravados e apresenta densidade habitacional baixa, com residência unicamente térrea de programas de habitação social do governo federal. A unidade habitacional estudada fica próxima a uma área de campo extensa e situada em uma depressão, área mais baixa que o entorno, o que favorece o fluxo de vento na região.

A construção tem 34 m² de área com pé-direito médio de 2,50 m, possui paredes com espessura de 15 cm, em alvenaria de blocos de concreto, com argamassa interna e externa e pintadas na cor branca nas duas faces. A cobertura é de laje em toda a casa, com telhas cerâmicas.

- Unidade habitacional Jd. França

Está situada na região periférica do município de Guaratinguetá, no bairro Jd. França. A região possui pavimento com blocos de concreto intertravados e apresenta densidade habitacional baixa, com residência unicamente térrea de programas de habitação social do governo federal. A unidade habitacional estudada fica próxima a uma área de campo extensa.

A construção tem 40 m² de área com pé-direito médio de 2,50 m, possui paredes com espessura de 13 cm, em alvenaria de blocos de concreto, com argamassa interna e externa e pintadas na cor branca na parte interna e creme na externa. A cobertura é de laje em toda a casa, com telhas cerâmicas.

- Unidade habitacional Lorena

Está situada na região periférica do município de Lorena, no bairro da Cruz. A região possui pavimento asfáltico e apresenta densidade habitacional média, com maioria de residência térrea.

A construção tem 48 m² de área com pé-direito médio de 2,60 m, possui paredes com espessura de 14 cm, em alvenaria de blocos cerâmicos, com argamassa interna e externa e

pintadas na cor branca na parte interna e creme na externa. A cobertura é de laje em toda a casa, com telhas de fibrocimento.

- Unidade habitacional Aparecida

Está situada na região periférica do município de Aparecida, em região de montanha, no bairro Santa Rita. A região possui pavimento asfáltico e apresenta densidade habitacional baixa, com maioria de residência térrea.

A construção tem 45 m² de área com pé-direito médio de 2,80 m, possui paredes com espessura de 14 cm, em alvenaria de blocos cerâmicos, com argamassa interna e externa e pintadas na cor branca nas duas faces. A cobertura é de laje em toda a casa, com telhas de fibrocimento.

- Unidade habitacional Potim

Está situada na região periférica do município de Potim, no bairro Jardim Alvorada. A região não possui pavimentação e apresenta densidade habitacional baixa, com maioria de residência térrea.

A construção tem 53 m² de área com pé-direito médio de 2,70 m, possui paredes com espessura de 14 cm, em alvenaria de blocos cerâmicos, com argamassa interna e externa e pintadas na cor branca interna e externa. A cobertura é de laje em toda a casa, com telhas de fibrocimento.

A caracterização construtiva das unidades habitacionais é essencial para o cálculo dos parâmetros térmicos de paredes e cobertura. A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) apresenta em seus anexos valores de transmitância (U) e capacidade térmica (CT), de materiais comuns utilizados na construção de edificações. Alguns valores são também apresentados por Barbosa (1997) e Caixa Econômica Federal (2010) com os principais materiais de construção de vedação (paredes e coberturas) e seus parâmetros térmicos (U, CT, FCS).

Barbosa (1997) em sua tese de doutorado identificou as principais tipologias construtivas no Brasil para edificações residenciais unifamiliares. O objetivo desse levantamento constituiu-se na determinação das características físicas das tipologias construtivas nas várias regiões do Brasil, no que diz respeito à produção de habitação popular. A autora mostrou que a tipologia construtiva mais frequentemente utilizada no Brasil é a tradicional de alvenaria de tijolos cerâmicos com seis furos, rebocada dos dois lados, com cobertura em duas águas, com telhas cerâmicas e janelas do tipo basculante.

O levantamento das características construtivas das habitações populares na região de estudo apresentam quatro combinações de tipos construtivos, considerando paredes e cobertura. As principais tipologias apresentadas por Barbosa (1997) são representativas da média da região de estudo, conforme Figura 9 e Figura 10, variando-se a espessura de argamassa interna e externa e com isso a espessura da parede.

Na Figura 9 são apresentadas as características construtivas de paredes encontradas nas edificações.

Figura 9: Tipologias - Paredes

argamassa de assentamento 1,5cm

argamassa 2,5cm

argamassa 2,5cm

pintura externa

bloco cerâmico 9cm

2,5cm

9cm

14cm

2,5cm

Descrição:

Argamassa interna (2,5cm)
Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm)
Argamassa externa (2,5cm)
Pintura externa (α)

U	C _T	α	FCS
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]
2,59	145	0,2 0,4 0,8	2,1 4,1 8,3

argamassa de assentamento 1,5cm

argamassa 2,5cm

argamassa 2,5cm

pintura externa

bloco de concreto 9cm

2,5cm

9cm

14cm

2,5cm

Descrição:

Argamassa interna (2,5cm)
Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm)
Argamassa externa (2,5cm)
Pintura externa (α)

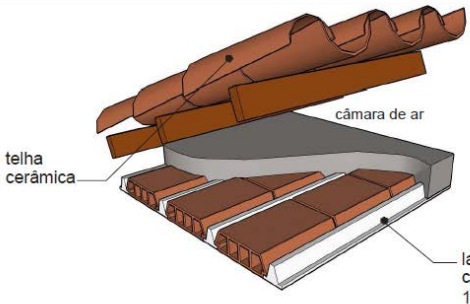
U	C _T	α	FCS
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]
2,86	203	0,2 0,4 0,8	2,3 4,6 9,2

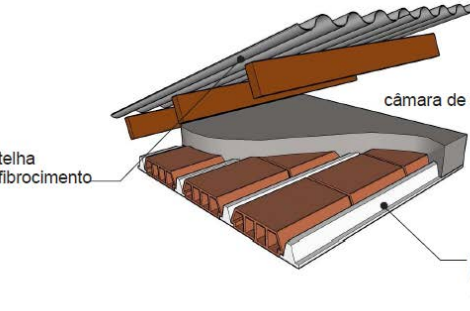
Fonte: Caixa Econômica Federal (2010)

As edificações possuem paredes em alvenaria com blocos de concreto ou cerâmico, com argamassa interna e externa de espessura variável. Todas as unidades contém pintura externa, na cor clara ou branca.

Na Figura 10 são apresentadas as características construtivas de cobertura encontradas nas edificações.

Figura 10: Tipologias - Coberturas

 Diagrama de uma cobertura com telha cerâmica sobre uma laje pré-moldada com câmara de ar. A laje é composta por concreto de 4cm e argamassa de 1cm, com uma lâmina cerâmica de 7cm. A câmara de ar tem uma espessura superior a 5,0 cm. A telha cerâmica é mostrada sobreposta à laje.	Descrição: Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica <table> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th><th>C_T [kJ/m²K]</th><th>α [-]</th><th>FCS [-]</th></tr> <tr> <td>1,79</td><td>185</td><td>0,2 0,4 0,8</td><td>1,4 2,9 5,7</td></tr> </table>	U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	α [-]	FCS [-]	1,79	185	0,2 0,4 0,8	1,4 2,9 5,7
U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	α [-]	FCS [-]						
1,79	185	0,2 0,4 0,8	1,4 2,9 5,7						

 Diagrama de uma cobertura com telha fibrocimento sobre uma laje pré-moldada com câmara de ar. A laje é composta por concreto de 4cm e argamassa de 1cm, com uma lâmina cerâmica de 7cm. A câmara de ar tem uma espessura superior a 5,0 cm. A telha fibrocimento é mostrada sobreposta à laje.	Descrição: Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha fibrocimento 0,8cm <table> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th><th>C_T [kJ/m²K]</th><th>α [-]</th><th>FCS [-]</th></tr> <tr> <td>1,80</td><td>180</td><td>0,2 0,4 0,8</td><td>1,4 2,9 5,8</td></tr> </table>	U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	α [-]	FCS [-]	1,80	180	0,2 0,4 0,8	1,4 2,9 5,8
U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	α [-]	FCS [-]						
1,80	180	0,2 0,4 0,8	1,4 2,9 5,8						

Fonte: Caixa Econômica Federal (2010)

As edificações possuem laje com vigotas pré-moldadas, com cobertura de telhas cerâmicas ou de fibrocimento e câmara de ar.

No Quadro 7 apresenta-se os dados das características construtivas das paredes das edificações da região de estudo.

Quadro 7: Características construtivas - Paredes

Identificação	Bloco de alvenaria	Argamassa interna e externa	Cor externa	α (a)
Beira Rio I	Concreto 9 x 19 x 39 cm	Comum; e = 2,0 cm	Verde clara	0,4
Beira Rio II	Cerâmica 9 x 14 x 24 cm	Comum; e = 2,5 cm	Branca	0,2
Quaresmeiras	Concreto 9 x 19 x 39 cm	Comum; e = 3,0 cm	Branca	0,2
Jd. França	Concreto 9 x 19 x 39 cm	Comum; e = 2,0 cm	Clara	0,3
Lorena	Cerâmica 9 x 14 x 24 cm	Comum; e = 2,5 cm	Clara	0,3
Aparecida	Cerâmica 9 x 14 x 24 cm	Comum; e = 2,5 cm	Branca	0,2
Potim	Cerâmica 9 x 14 x 24 cm	Comum; e = 2,5 cm	Branca	0,2

Fonte: Autor

No Quadro 8 apresenta-se os dados das características construtivas da cobertura.

Quadro 8: Características construtivas - Cobertura

Identificação	Material de enchimento da laje pré-moldada	Telha	α (a)
Beira Rio I	Cerâmica	Cerâmica	0,8
Beira Rio II	Cerâmica	Cerâmica	0,8
Quaresmeiras	Cerâmica	Cerâmica	0,8
Jd. França	Cerâmica	Cerâmica	0,8
Lorena	Cerâmica	Fibrocimento	0,8
Aparecida	Cerâmica	Fibrocimento	0,8
Potim	Cerâmica	Fibrocimento	0,8

Fonte: Autor

A Tabela 3 apresenta as características das aberturas das unidades habitacionais pesquisadas.

Tabela 3: Aberturas para ventilação

Identificação	Área de piso (m ²)		Área de abertura (m ²)		Área efetiva (%)	
	Sala	Dormitório	Sala	Dormitório	Sala	Dormitório
Beira Rio I	13,8	7,8	1,50×0,5	1, 2×0,5	5,4	7,7
Beira Rio II	12,0	8,1	1,54×0,5 + 1,68	1,50×0,5	20,0	9,3
Quaresmeiras	7,1	6,0	1,32×0,5 + 1,68	1,32×0,5	32,9	11,0
Jd. França I	7,9	5,0	1,08×0,5 + 1,68	1,08×0,5	28,1	10,8
Lorena	8,9	9,6	1,08×0,5 + 1,68	1,08×0,5	24,9	5,6
Aparecida	10,4	7,2	4,20×0,4	1,50×0,5	16,2	10,4
Potim	11,8	7,2	1,68	1,26×0,5	14,2	8,8

Fonte: Autor

Apresenta-se na tabela a área do piso de sala e dormitório, área de abertura (considera a porcentagem da área de janela ou porta que permite o fluxo de ar) e área efetiva de abertura, a qual será utilizada nos cálculos, para verificação de desempenho pelo critério de área mínima para ventilação.

4.4. MEDIÇÃO *IN LOCO*

O levantamento dos dados de temperatura e umidade foi realizado por três *dataloggers*, aparelhos registradores de dados, para os períodos de verão e de inverno. Dois desses aparelhos foram instalados no centro dos cômodos dormitório e sala a 1,20 m do piso e um na parede externa, conforme descritos no anexo A da norma de desempenho.

As medições internas foram executadas de forma a não alterar o cotidiano e a realização das atividades diárias nas residências. Para que a altura de 1,20m fosse satisfeita, utilizou-se de uma haste apoiada sobre apoio, conforme Figura 11.

Figura 11: Suporte para apoio do *datalogger*



Fonte: Autor

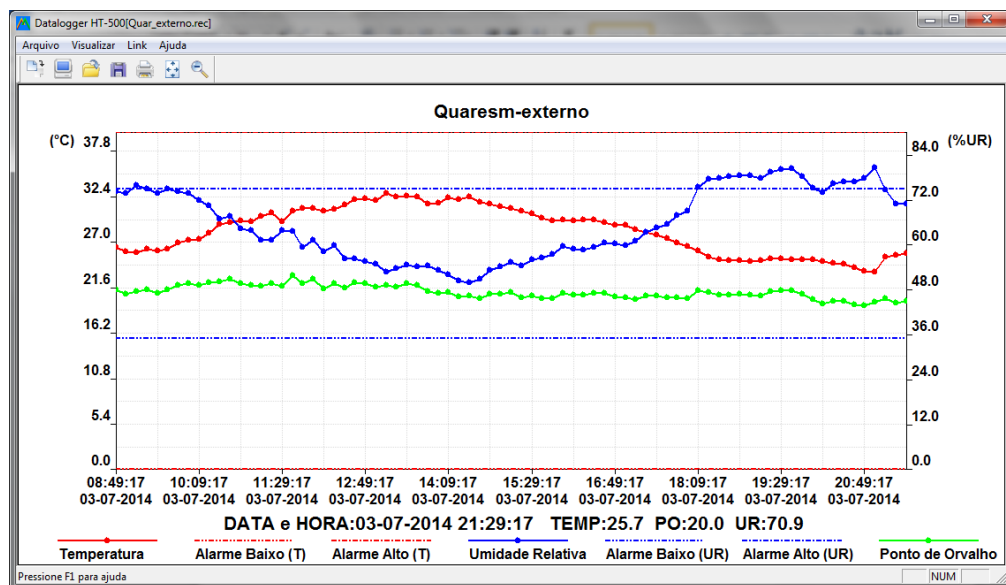
O terceiro aparelho foi instalado no exterior da edificação, a 1,20 m do piso, protegido da radiação solar, por uma embalagem de isopor encapado por papel refletivo, com abertura para a passagem de ar. A instalação do aparelho na parte externa foi feita considerando a situação crítica diária no período de medição, que ocorre ao norte no verão (situação de maior exposição à radiação solar) e leste no inverno, onde a exposição à radiação solar é menor e, portanto, mais frio.

Cada aparelho foi programado para registrar dados a cada dez minutos, sendo no período de verão programados aproximadamente das 9h00min até as 21h00min, totalizando doze horas de medição. Esse período equivale a 72 pontos de medição. No período de inverno

os aparelhos foram programados das 9h00min até as 9h00min do dia seguinte, totalizando vinte e quatro horas de medição, equivalente a 144 pontos de medição.

Os dados registrados foram transferidos para o *software* que acompanha o aparelho, para a conversão dos dados registrados em gráficos. A Figura 12 apresenta um gráfico gerado pela medição de dados de uma das unidades habitacionais, com o aparelho *datalogger*, oferecendo resultados de temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho. Os registros foram tratados em programa de plotagem de gráficos.

Figura 12: *Software* para conversão de dados em gráfico



Fonte: *Software* v.1/*Datalogger*

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

Considerando as características construtivas apresentados no Quadro 7 e Quadro 8 obtêm-se os resultados dos parâmetros térmicos (U, CT, FCS) para as unidades habitacionais. A Tabela 4 apresenta valores de transmitância térmica, capacidade térmica e fator de ganho de calor solar de elementos opacos para paredes.

Tabela 4: Parâmetros térmicos de elementos opacos - Paredes

Identificação	Zona Bioclimática	U	CT	FCS (%)
Beira Rio I	3	2,87	162	4,6
Beira Rio II	3	2,59	145	2,1
Quaresmeiras	3	2,72	203	2,2
Jd. França	3	2,87	162	3,4
Lorena	2	2,59	145	3,1
Aparecida	3	2,59	145	2,1
Potim	3	2,59	145	2,1

Fonte: Autor; (a) NBR 15220/2008

Na tabela 4 segue a unidade habitacional, o tipo de material utilizado nas paredes, os parâmetros térmicos U e CT e o fator de calor solar (FCS) influenciado pela absorvância à radiação solar (α). O valor de α é estimado pela cor da pintura externa das paredes, sendo de 0,2 para paredes brancas e 0,4 para paredes claras, conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Estes valores são confrontados com o critério de desempenho apresentado no Quadro 2. Nas zonas bioclimáticas 2 e 3 a exigência de transmitância térmica (U) é de no máximo 2,5 e 3,7 respectivamente (com U dado em $W/m^2.K$). Sendo assim a unidade habitacional Lorena, apresenta transmitância acima do limite. Com relação à capacidade térmica, todas as unidades habitacionais atendem ao critério de desempenho.

A Tabela 5 apresenta valores de transmitância térmica, capacidade térmica e fator de ganho de calor solar de elementos opacos para cobertura.

Tabela 5: Parâmetros térmicos de elementos opacos - Cobertura

Identificação	Zona Bioclimática	U (b)	CT (b)	FCS (%)
Beira Rio I	3	1,79	185	5,7
Beira Rio II	3	1,79	185	5,7
Quaresmeiras	3	1,79	185	5,7
Jd. França	3	1,79	185	5,7
Lorena	2	1,80	180	5,8
Aparecida	3	1,80	180	5,8
Potim	3	1,80	180	5,8

Fonte: Autor; (a) ABNT NBR 15220/2008; (b) Caixa Econômica Federal (2010)

A tabela 5 apresenta a unidade habitacional, o tipo de material utilizado na cobertura do telhado, os parâmetros térmicos U e CT e o fator de calor solar (FCS) influenciado pela absorvância à radiação solar (α). O valor de α é estimado pelo material da telha, sendo 0,8 para telhas de barro e fibrocimento, conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Estes valores são confrontados com o critério de desempenho apresentado no Quadro 1. Nas zonas bioclimáticas 2 e 3 a exigência de transmitância térmica (U) é de no máximo 2,3 e 1,5 respectivamente (com U dado em $W/m^2.K$). Sendo assim apenas a unidade habitacional Lorena, apresenta transmitância dentro do limite aceitável.

Além das características dos materiais de construção, foram levantados também os tipos de abertura presentes nas edificações e a relação entre abertura e piso. A Tabela 6 apresenta os resultados da avaliação de desempenho térmico segundo o critério de área mínima de ventilação em ambientes de permanência prolongada. São apresentadas as áreas efetivas dos ambientes e se satisfazem (ok) ou não (N) o critério.

Tabela 6: Critério de área mínima de abertura

Identificação	Área efetiva (%)		A $\geq$ 7% da área de piso		Nível de desempenho	
	Sala	Dormitório	Sala	Dormitório	Sala	Dormitório
Beira Rio I	5,4	7,7	N	ok	-	M
Beira Rio II	20,0	9,3	ok	ok	M	M
Quaresmeiras	32,9	11,0	ok	ok	M	M
Jd. França	28,1	10,8	ok	ok	M	M
Lorena	24,9	5,6	ok	N	M	-
Aparecida	16,2	10,4	ok	ok	M	M
Potim	14,2	8,8	ok	ok	M	M

Fonte: Autor

Os critérios pelo procedimento de cálculo apresentaram resultados inconclusivos, sendo necessária a avaliação por medição, cujos resultados servirão para concluir a análise de desempenho térmico.

5.2. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

Este item apresenta os resultados das medições realizadas em edificações populares nos municípios de Guaratinguetá, Lorena, Aparecida e Potim. A Tabela 7 apresenta os dados resumidos de Temperatura de Bulbo Seco máximo, mínimo e médio, em °C, nos ambientes da edificação nos períodos de verão e de inverno.

Tabela 7: Dados experimentais de temperatura

Local / Ambiente		Temperatura					
		Verão			Inverno		
		Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.
Guaratinguetá Beira Rio I	Externo	32,9	25,8	29,3	25,0	15,0	19,5
	Sala	30,3	27,5	28,6	21,0	18,5	19,9
	Dormitório	30,3	27,1	28,3	21,0	18,4	20,0
Guaratinguetá Beira Rio II	Externo	37,5	23,8	30,6	28,9	16,0	20,7
	Sala	29,2	25,2	27,3	22,5	19,2	20,9
	Dormitório	27,6	25,5	26,4	22,2	20,0	21,3
Guaratinguetá Quaresmeiras	Externo	32,8	23,5	28,1	20,4	16,0	17,6
	Sala	27,9	25,6	26,7	20,6	18,9	19,7
	Dormitório	27,0	25,3	25,8	20,7	19,4	19,9
Guaratinguetá Jd. França	Externo	37,8	27,7	32,2	19,7	14,3	16,8
	Sala	32,9	28,3	30,7	19,5	17,2	18,1
	Dormitório	33,5	27,1	30,2	19,0	17,3	18,1
Lorena	Externo	37,3	27,6	33,8	26,2	15,2	18,1
	Sala	34,3	28,1	32,5	21,0	18,2	19,6
	Dormitório	33,2	27,3	30,3	20,5	18,0	19,1
Aparecida	Externo	35,5	24,9	29,7	30,6	14,9	18,6
	Sala	30,3	26,2	28,3	21,1	18,9	20,2
	Dormitório	29,4	27,1	28,2	20,7	19,3	20,1
Potim	Externo	33,9	27,6	30,8	32,3	12,0	19,5
	Sala	31,4	27,5	29,6	22,6	17,1	19,9
	Dormitório	31,2	26,8	29,2	22,1	17,8	20,4

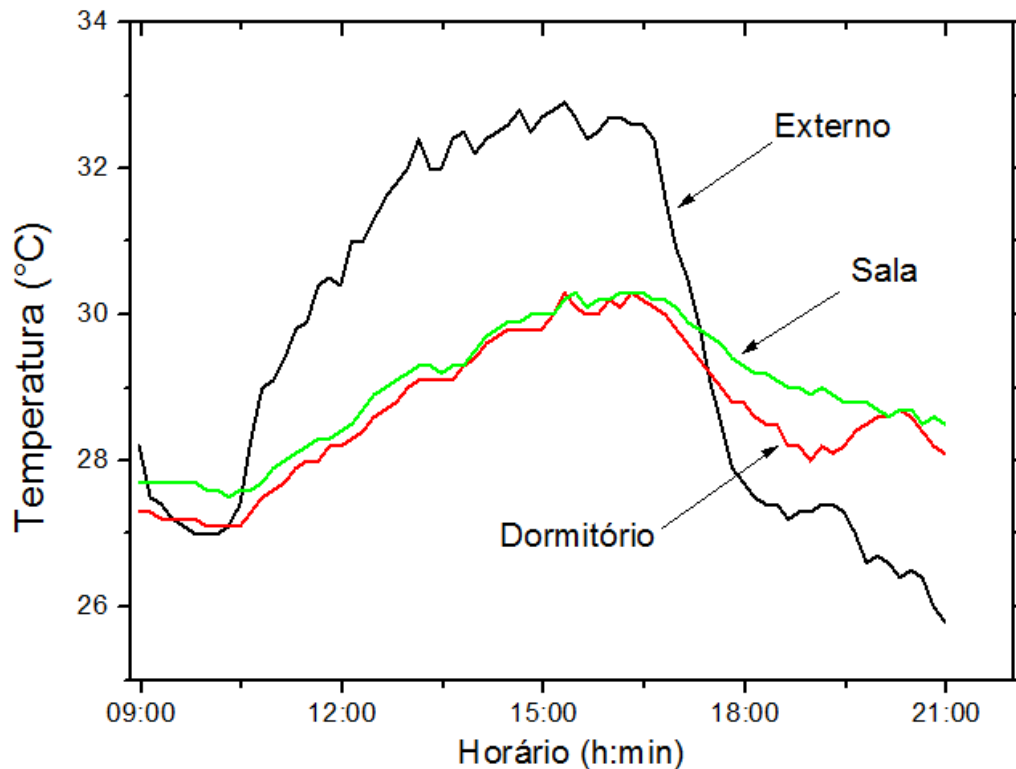
Fonte: Autor

A Tabela apresenta os dados resumidos das medições experimentais. Os dados coletados foram convertidos em gráficos, conforme Figura 13 e Figura 14. Os gráficos de temperatura de bulbo seco do ar (TBS) em função do tempo, medidos nos ambientes interno e

externo da unidade habitacional, apresentam as curvas de temperatura externa e interna, medidas na sala e dormitório, para os períodos de verão e de inverno.

A Figura 13 apresenta o gráfico TBS para a unidade habitacional Beira Rio I, para a condição de verão. Os dados horários foram coletados em um período de 12 horas com medição a cada 10 minutos.

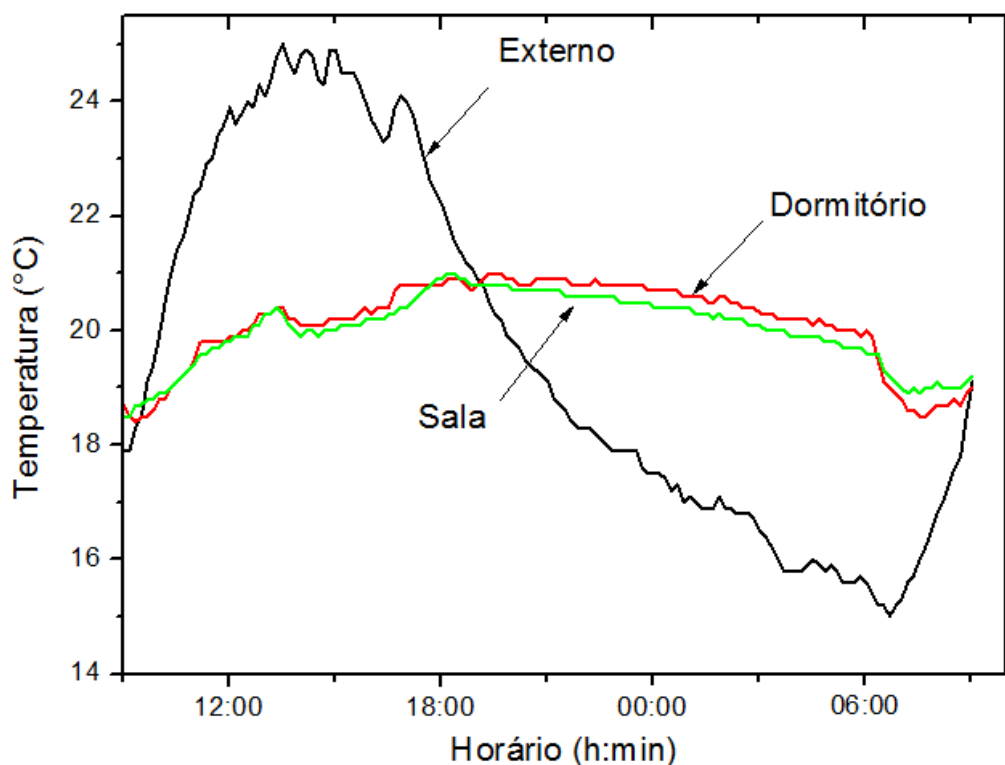
Figura 13: Gráfico TBS verão - Beira Rio I



Fonte: Autor

A Figura 14 apresenta o gráfico TBS para a unidade habitacional Beira Rio I, para a condição de inverno. Os dados horários foram coletados em um período de 24 horas com medição a cada 10 minutos.

Figura 14: Gráfico TBS inverno - Beira Rio I



Fonte: Autor

Os gráficos TBS das unidades habitacionais restantes estão apresentados no APÊNDICE A1 e APÊNDICE A2, sob as condições de medição de verão e de inverno.

5.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

A avaliação de desempenho térmico por medição é feita com base nos critérios de análise descritos na norma de desempenho, considerando os critérios de valores máximos de temperatura e valores mínimos de temperatura, considerados para os períodos de verão e de inverno, respectivamente. As edificações devem atender os requisitos da ABNT NBR 15575/2013 e apresentar níveis de desempenho térmico M, denominado mínimo. A norma ainda recomenda os níveis I e S, denominados Intermediário e Superior respectivamente, a fim de obter melhores condições de qualidade na edificação.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados para os critérios de valores máximos de temperatura, para a condição de verão.

Tabela 8: Critério de valores máximos de temperatura - Condições de verão

AMBIENTE	TEMPERATURA		ΔT	CRITÉRIOS (ZONA 2 e 3)	NÍVEL DE DESEMPENHO
	$T_{ext,máx}$	$T_{int,máx}$	$T_{ext,máx}$ - $T_{int,máx}$		
Beira Rio I	32,9	30,3	2,6	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 2^{\circ}\text{C}$	I
Beira Rio II	38,7	31,9	6,8	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 4^{\circ}\text{C}$	S
Quaresmeiras	32,8	27,9	4,9	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 4^{\circ}\text{C}$	S
Jd. França	37,8	33,5	4,3	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 4^{\circ}\text{C}$	S
Lorena	37,3	34,3	3,0	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 2^{\circ}\text{C}$	I
Aparecida	35,5	30,3	5,2	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 4^{\circ}\text{C}$	S
Potim	33,9	31,4	2,5	$T_{int,máx} \leq T_{ext,máx} - 2^{\circ}\text{C}$	I

Fonte: Autor

A Tabela apresenta os valores medidos de temperatura externa máxima e interna máxima. A diferença entre as temperaturas externa e interna (ΔT) é utilizada para a verificação do critério de desempenho. Se a diferença ΔT for maior ou igual a zero, o critério é atendido, com nível de desempenho mínimo. Se ΔT for menor que zero, significa que a temperatura interna é maior que a externa e o critério não foi atendido. Todas as unidades apresentaram nível de desempenho maior que o mínimo.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados para os critérios de valores mínimos de temperatura, para a condição de inverno.

Tabela 9: Critério de valores mínimos de temperatura - Condições de inverno

AMBIENTE	TEMPERATURA		ΔT	CRITÉRIOS (ZONA 2 e 3)	NÍVEL DE DESEMPENHO
	$T_{ext,min}$	$T_{int,min}$	$T_{ext,min}$ - $T_{int,min}$		
Beira Rio II	15,0	18,4	3,4	$T_{int,min} \geq T_{ext,min} - 3^{\circ}\text{C}$	M
Beira Rio II	16,0	19,2	3,2	$T_{int,min} \geq T_{ext,min} - 3^{\circ}\text{C}$	M
Quaresmeiras	16,0	18,9	2,9	—	—
Jd. França	14,3	17,2	2,9	—	—
Lorena	15,2	18,0	2,8	—	—
Aparecida	14,9	18,9	4,0	$T_{int,min} \geq T_{ext,min} - 3^{\circ}\text{C}$	M
Potim	12,0	17,1	5,1	$T_{int,min} \geq T_{ext,min} - 5^{\circ}\text{C}$	I

Fonte: Autor

A Tabela apresenta os valores medidos de temperatura externa mínima e interna mínima. A diferença entre as temperaturas externa e interna (ΔT) é utilizada para a verificação do critério de desempenho. Se a diferença ΔT for maior ou igual a três, o critério é atendido, com nível de desempenho mínimo. Se ΔT for menor que três, significa que o critério não foi atendido. As unidades habitacionais Quaresmeiras, Jd. França e Lorena não apresentaram nível mínimo de desempenho.

5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As medições de campo foram desafiadoras especialmente pelo recusa dos moradores em aceitar o monitoramento em suas casas. Os dados de temperatura das unidades habitacionais foram coletados em um período de 24 horas com leitura a cada 10 minutos; isso só foi possível com a utilização dos aparelhos registradores de dados. O monitoramento com aparelhos de leitura, sem armazenamento, precisaria de um pesquisador durante o período, a fim de fazer as anotações; essa abordagem poderia não ser aceita pelos moradores.

O levantamento dos dados foi feito sob condições reais de utilização, significando que os resultados tiveram forte influência dos usuários. A sensação térmica pode ser diferente para cada usuário dentro do mesmo ambiente, a preferência por frio ou calor depende de vários fatores, como o sexo, idade e cultura. Os resultados seriam diferentes em uma situação controlada e não traduziria o real comportamento da edificação.

O verão de 2014 atingiu altas temperaturas e apresentou-se menos chuvoso que a média dos anos anteriores. Durante as medições não houve problemas com chuva ou ventos fortes

6. CONCLUSÃO

As habitações populares são reconhecidamente objetos importantes em pesquisa sobre desempenho térmico, pois as questões energéticas e de conforto ambiental são muitas vezes desconsideradas neste tipo de edificação. A pesquisa expõe a necessidade de projetos de edificações de qualidade, que se utilize de recursos eficientes na busca de melhor desempenho ambiental e energético.

As edificações analisadas apresentam área entre 34 m² e 64 m², com pé-direito (altura medida do piso ao teto) entre 2,50 m e 2,80 m, com forro em laje e cobertura com telhas cerâmicas ou de fibrocimento. As paredes apresentam espessura variável entre treze e quinze centímetros, com blocos cerâmicos ou blocos de concreto, com espessura de nove centímetros e acabamento com argamassa e pintura em ambos os lados, interno e externo. A pintura externa das paredes é feita nas cores branca ou clara.

Com base nas características das edificações foram calculados os parâmetros térmicos dos elementos construtivos. A avaliação do desempenho térmico pelo procedimento de cálculo se mostrou inconclusiva, pois não apresentou desempenho satisfatório para ambos os componentes analisados, parede e cobertura. A capacidade térmica e transmitância térmica das paredes apresentaram valores melhores que os recomendados na norma de desempenho, mas para as coberturas, a transmitância térmica foi insatisfatória. Dessa forma, a avaliação foi feita pelo procedimento de medição, nas condições de verão e de inverno, pelos critérios de valores máximos de temperatura e valores mínimos de temperatura, respectivamente.

A avaliação de desempenho pelo critério de valores máximos de temperatura apresentou desempenho satisfatório para todas as habitações estudadas, algumas delas com nível de desempenho superior. Pelo critério de valores mínimos de temperatura, quatro das sete unidades (57%) apresentaram desempenho satisfatório.

Embora o desempenho térmico seja satisfatório no período de verão, as condições de conforto dos moradores devem ser avaliadas, pois a temperatura interna nas edificações alcançou até 31 °C. Os dados elevados de temperatura demonstram a importância de um estudo sobre o comportamento térmico das edificações populares na região, visto que temperaturas muito altas, acima de certos níveis, causam desconforto aos moradores. O conforto térmico pode ser alcançado através de um comportamento adaptativo dos moradores, por exemplo, com o uso de ventilação cruzada e cortinas.

Nas condições de inverno embora tenha tido quatro das sete edificações com desempenho satisfatório, essas unidades obtiveram nível mínimo em três delas. Esse resultado mostra a fragilidade das habitações populares em períodos de frio, pois a falta de isolamento ou massa térmica nessas habitações torna o ambiente desconfortável, obrigando os moradores a fecharem todas as aberturas com a finalidade de aumentar a temperatura do ambiente interno. O problema é que os ambientes fechados e com ventilação reduzida facilitam a transmissão de vírus. Além disso, nesse período há ainda baixa umidade, resfriamento do ar e o contato com ácaros de roupas guardadas, que são fatores que estimulam a ocorrência das doenças respiratórias. O bom desempenho térmico nesse período é importante para evitar o resfriamento demasiado do ambiente, reduzindo o desconforto térmico e os problemas de saúde comuns nessa época do ano.

A avaliação de desempenho térmico é uma ferramenta importante para o diagnóstico atual de qualidade das habitações populares e poderão auxiliar nas decisões de projetos futuros. A adequação do sistema de fechamento da construção às condições de inverno deve ser estudada, para se adotar melhores técnicas e materiais, que proporcionem melhores condições de desempenho da edificação neste período.

A norma de desempenho deve mudar o modo de produção na construção, norteando o setor para habitações de melhor qualidade, inovação nos materiais de construção e técnicas construtivas. O tema deve ser cada vez mais discutido nos meios acadêmicos a fim de gerar cada vez mais benefícios à sociedade em geral. Apresenta-se como sugestão para trabalhos futuros:

- Simulações computacionais ou medições de campo de edificações construídas com materiais de fechamento alternativos, com características térmicas melhores, para efeito de comparação de desempenho térmico de habitações populares;
- O monitoramento de edificações por bairros ou regiões menores, para verificar a influência e importância das características climáticas e da paisagem do local, tais como os ventos, a umidade relativa, vegetação e materiais de pavimentação, no desempenho térmico das edificações;
- Análise de conforto térmico e determinação de um limite de conforto, ajustado para as condições climáticas da região.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações – Parte 2:** Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005. 21p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 23p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). **NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais – Parte 1:** Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013. 60p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). **NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais – Parte 4:** Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013. 57p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). **NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais – Parte 5:** Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013. 63p.

ADRIAN, Chong Zhun Min. Predicting the envelope performance of commercial office buildings in Singapore. **Energy And Buildings**. Singapore, p. 66-76. jul. 2013.

AKUTSU, M.; SATO N. M.; PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: manual de procedimento para avaliação**. São Paulo: IPT, 1987. 74p. (IPT Publicação n. 1732).

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. **Critérios para a avaliação do desempenho térmico de edificações não condicionadas**. A Construção São Paulo, v. 2326, 1992.

AKUTSU, Maria, VITTORINO, Fúlvio. **Tratamento de dados climáticos para a avaliação do desempenho térmico de edificações – Manual de Procedimentos** (Aplicação à Cidade de São Paulo) - Anexo I. São Paulo, 1998. Publ. IPT 1732.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio; YOSHIMOTO, Mitsuo. Método expedito para avaliação do desempenho térmico de habitações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Gramado. **Anais**. Gramado: ANTAC, 1995. p. 299-304.

ALBATICI, Rossano; PASSERINI, Francesco. Bioclimatic design of buildings considering heating requirements in Italian climatic conditions. A simplified approach. **Building And Environment**. Italy, p. 1624-1631. ago. 2011.

ALDOSSARY, Naief A; REZGUI, Yacine, KWAN, Alan. Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: A multiple-case study analysis. **Applied Energy**, v.114, p. 353–365, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.061>>. Acesso em 30 out. 2013.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ASHRAE STANDARD 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013. 54 p.

BARBOSA, Miriam Jeronimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 277 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Produção, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BARCELLOS, Christovam et al. **Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil**. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 18, n. 3, set. 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742009000300011>>. Acesso em 04 maio 2015.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. . **Censo Demográfico 2010**: Características da população e dos domicílios Resultados do universo. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Ibge, 2011. 270 p.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas de população para 1º de julho de 2014**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Ibge, 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2015.

BRITTO CORREA, Celina. **Arquitetura bioclimática. Adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural**. Drops, São Paulo, ano 02, n. 004.07, Vitruvius, abr. 2002. <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590>>.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (Brasil). **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010. 204 p. ISBN 978-85-86508-78-3.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia orientativo da norma de desempenho: BRASIL ADOTA NOVOS PADRÕES DE QUALIDADE PARA CONSTRUÇÃO DE CASAS E APARTAMENTOS**. Rio de Janeiro, 2013.

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA (Campinas). **Clima dos Municípios Paulistas**. Em parceria com o Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Unesp - IPMet e com o CPTEC/INPE, o Cepagri está instalando no Campus da Unicamp um Radar Meteorológico para monitoramento de chuvas no Leste do Estado e Sul de Minas.. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

FERNANDES, Jorge; MATEUS, Ricardo. **Princípios de racionalização energética na arquitetura vernacular**. Minho: Universidade do Minho, 2012. 11 p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/21738>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

HOLOPAINEN, Riikka. et al. Comfort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. **Building and Environment**, v.71, p.60-70. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.009>>. Acesso em: 29 out. 2013.

INDRAGANTI, Madhavi. Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India. **Applied Energy**. India, p. 866-883. mar. 2010. Disponível em: <[10.1016/j.apenergy.2009.08.042](http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.042)>. Acesso em: 17 dez. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 4 ed. Geneva, Switzerland: International Organization For Standardization, 2009.

JANSSEN, H.; CARMELIET, J.; HENS, H. The Influence of Soil Moisture Transfer on Building Heat Loss Via the Ground. *Building and Environment*, v. 39. n. 7, p. 825-836, 2004.

KHALILI, Mitra; AMINDELDAR, Sanaz. Traditional solutions in low energy buildings of hot-arid regions of Iran. **Sustainable Cities And Society**. Tehran, p. 171-181. out. 2014.

KIM, Jeong Tai; TODOROVIC, Marija S.. Tuning control of buildings glazing's transmittance dependence on the solar radiation wavelength to optimize daylighting and building's energy efficiency. **Energy And Buildings**. Korea, p. 108-118. ago. 2013.

KWONG, Qi Jie; ADAM, Nor Mariah; SAHARI, B.B. Thermal comfort assessment and potential for energy efficiency enhancement in modern tropical buildings: A review. **Energy and Buildings**. v.68, p. 547-557. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.034>>. Acesso em: 29 out. 2013.

LAMBERTS, Roberto et al. **Casa eficiente : Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: Ufsc/labee, 2010. 123 p.

LOMBARDO, Grazia. Restoration of modern buildings. **Frontiers Of Architectural Research**. Italy, p. 357-364. out. 2012.

MAÑAS, Sonia Salazar. **Construcción y Desarrollo Sostenible “Arquitectura Bioclimática”**. 2011. 32 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitectura, Universidad de Almería, Almería, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10835/800>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

MUSELLI, Marc. Passive cooling for air-conditioning energy savings with new radiative low-cost coatings. **Energy And Buildings**. Vignola, p. 945-954. jan. 2010. Disponível em: <[10.1016/j.enbuild.2010.01.006](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.006)>. Acesso em: 02 dez. 2013.

NASCIMENTO, Juliana et al. **Bioclimatic buildings strategies for the climate of Araras city**, São Paulo-Brazil. 2013.

NOGUEIRA, C.E.C. et al. Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do “Projeto CASA”, Unioeste, Campus de Cascavel. **Acta Scientiarum**. Technology, Maringá, v. 34, n. 1, p. 3-7, Jan-Mar., 2012.

NUNES, Ilda Helena Oliveira; CARREIRA, Luzimeire Ribeiro de Moura; RODRIGUES, Waldecy. A arquitetura sustentável nas edificações urbanas: uma análise econômico-ambiental. **arquiteturarevista** - Vol. 5, nº 1:25-37 (janeiro/junho 2009).

OLIVIA, Guerra-santin; CHRISTOPHER, Tweed Aidan. In-use monitoring of buildings: An overview and classification of evaluation methods. **Energy And Buildings**. Uk, p. 176-189. jan. 2015.

PEREIRA, Cláudia Donald; GHISI, Enedir. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy And Buildings**. p. 3391-3399. 2011.

RAJASEKAR, E.; RAMACHANDRAIAH, A.. Adaptive comfort and thermal expectations – a subjective evaluation in hot humid climate. In: ADAPTING TO CHANGE: NEW THINKING ON COMFORT, 2010, Windsor. **Proceedings...** . London: Network For Comfort And Energy Use In Buildings, 2010. p. 1 - 18.

RAMOS, Jussara Grosch Ludgero. **Efeito da inércia térmica em edifícios de escritórios: Estudo de caso em Belo Horizonte, MG**. 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

RORIZ, Maurício; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. UMA PROPOSTA DE NORMA TÉCNICA BRASILEIRA SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5. ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1999, Fortaleza. **Anais**. Brasília: ANTAC, 1999. p. 1 - 10.

SÁ JÚNIOR, Arionaldo de. **Aplicação da classificação de Koppen para zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Constituição (1994). **Lei Complementar nº 1.166, de 09 de janeiro de 2012**. Cria a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, e dá providências correlatas. Lei Complementar Nº 1.166, de 9 de Janeiro de 2012. São Paulo, SP: Assessoria Técnico-legislativa, 09 jan. 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Região metropolitana do vale do Paraíba e litoral norte**. São Paulo, 2012. 128 p.

SARBU, Ioan; SEBARCHIEVICI, Calin. Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. **Energy And Buildings**. Romania, p. 410-419. fev. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.005>>. Acesso em: 29 nov. 2014.

SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessotto Alves et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Rem: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 2, n. 58, p.133-138, abr. 2005.

SOUZA, Henor Artur de; AMPARO, Lucas Roquete; GOMES, Adriano Pinto. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p.113-128, out. 2011. ISSN 1678-8621.

TALEGHANI, Mohammad et al. A review into thermal comfort in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.26, p. 201–215. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050>>. Acesso em: 29 out. 2013.

TAVARES, Sara Rebello; FONSECA, Maria de Lourdes Pereira. A REDE URBANA DA RMVPLN: dinâmicas territoriais. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 14., 2013, Lima. **Reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos**. Lima: Reencuentro de Saberes Territoriales Latinoamericanos, 2013. p. xx.

TERÉS-ZUBIAGA, J. et al. Methodology for evaluating the energy renovation effects on the thermal performance of social housing buildings: Monitoring study and grey box model development. **Energy And Buildings**. N, p. 390-405. 01 set. 2015.

UGURSAL, Ahmet; CULP, Charles H. The effect of temperature, metabolic rate and dynamic localized airflow on thermal comfort. **Applied Energy**, v. 111, p. 64–73. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.014>>. Acesso em 30 out. 2013.

ZABIHI, Hossein; HABIB, Dr. Farah; MIRSAEEDIE, Leila. Sustainability in Building and Construction: Revising Definitions and Concepts. **International Journal Of Emerging Sciences**, Tehran, p. 570-578. Dez. 2012. Disponível em: <<http://ijes.info/2/4/42542406.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BLOG AGORA VALE. **Criação da região metropolitana do vale do paraíba e litoral norte e serra da mantiqueira.** 2014. Disponível em: <<http://blog.agoravale.com.br/21841-7288/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BLOG DO VALE. **Características Físicas do Vale do Paraíba.** 2014. Disponível em: <<http://blogdovale2em.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013.

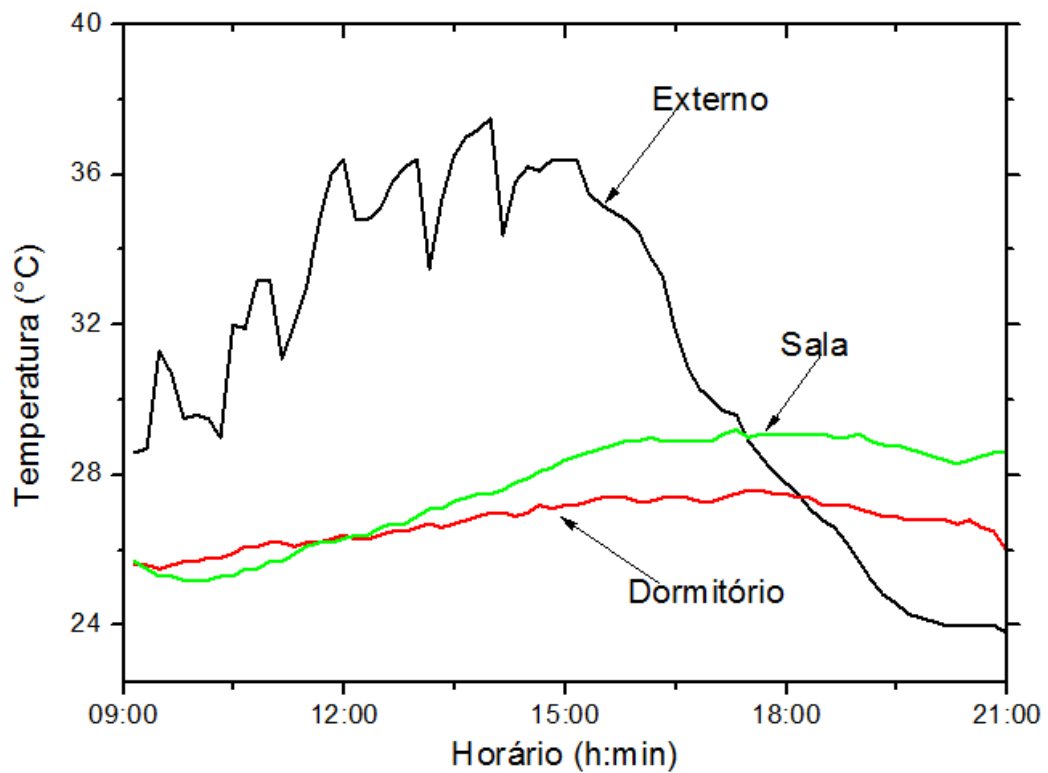
PORTAS BELA VISTA. **Linha de produtos:** categoria janelas. 2015. Disponível em: <http://www.portasbelavista.com.br/php/index.php?ir=produtos.php&Categoria_Id=3>. Acesso em: 10 fev. 2015

RORIZ, Maurício. **ZBBR 1.1:** Classificação bioclimática dos municípios brasileiros. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004.

APÊNDICE A1 - Gráficos de temperatura para condições de verão

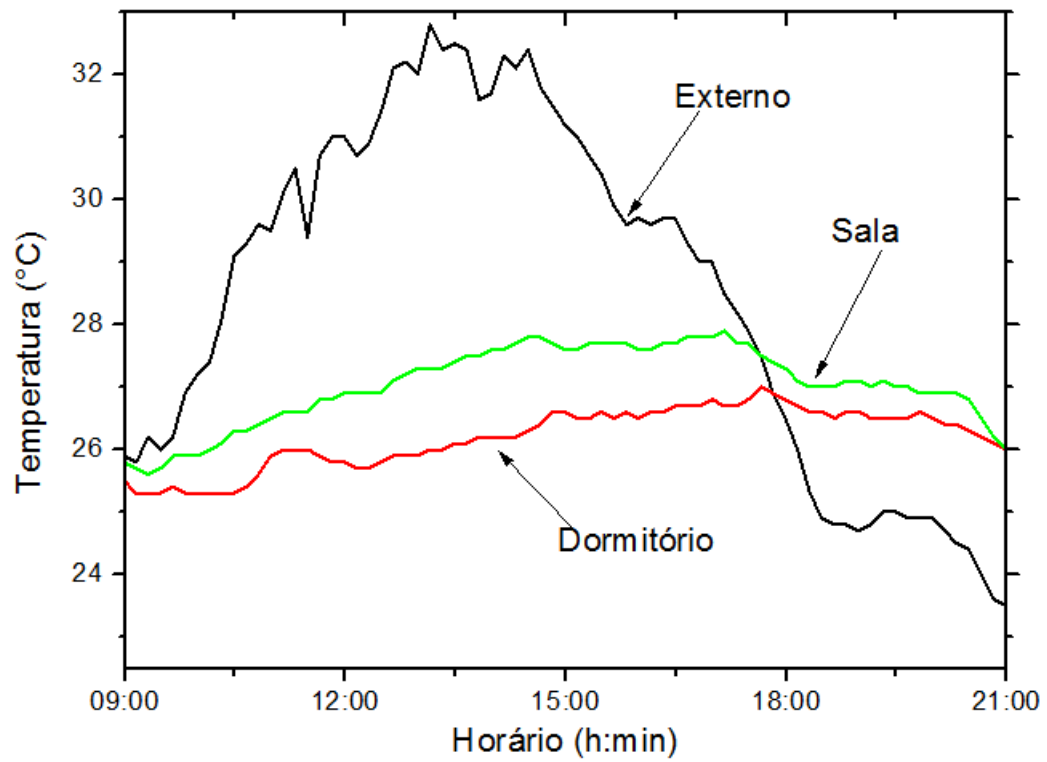
As Figuras a seguir, Figura 15 a Figura 20, apresentam os gráficos de temperatura de bulbo seco do ar (TBS), em °C, em função do tempo, medidos nos ambientes interno e externo da unidade habitacional, com dados medidos no período de verão. Os dados horários foram coletados em um período de 12 horas com medição a cada 10 minutos.

Figura 15: Gráfico TBS verão - Beira Rio II



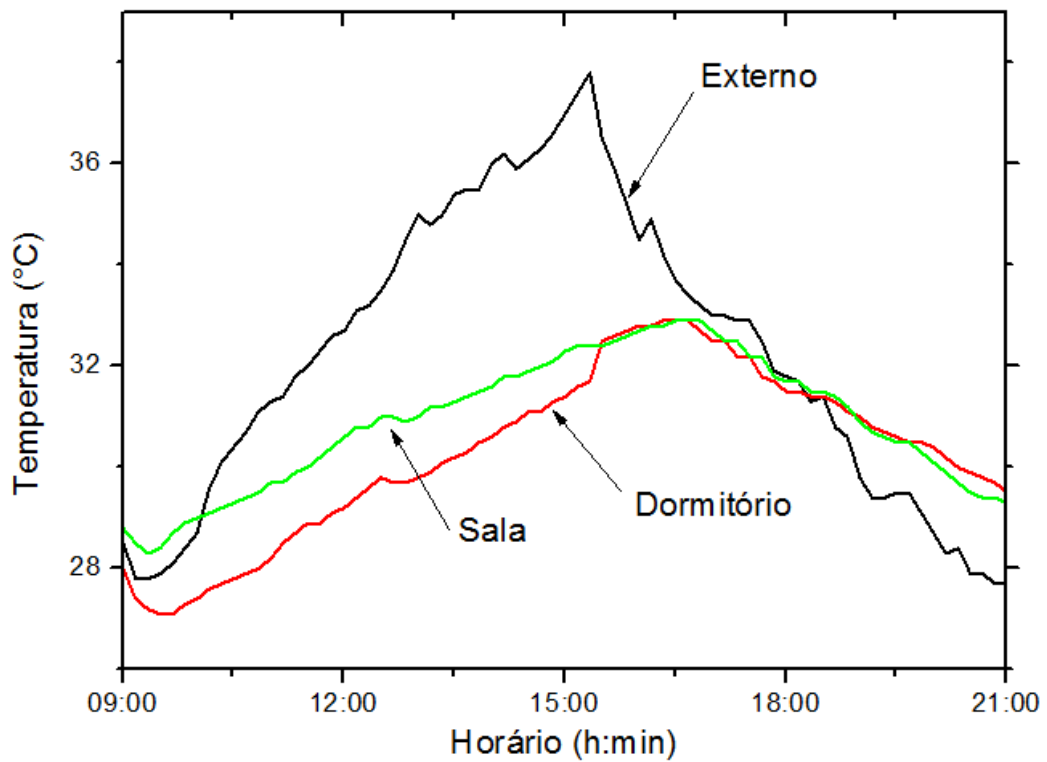
Fonte: Autor

Figura 16: Gráfico TBS verão - Quaresmeiras



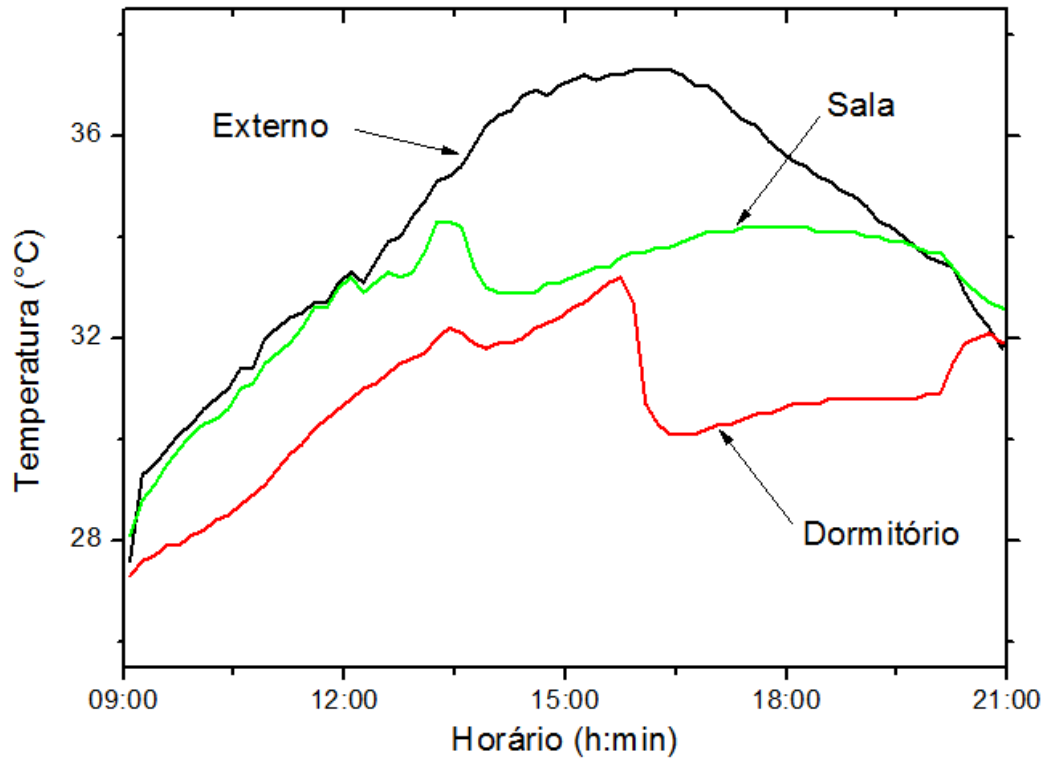
Fonte: Autor

Figura 17: Gráfico TBS verão – Jd. França



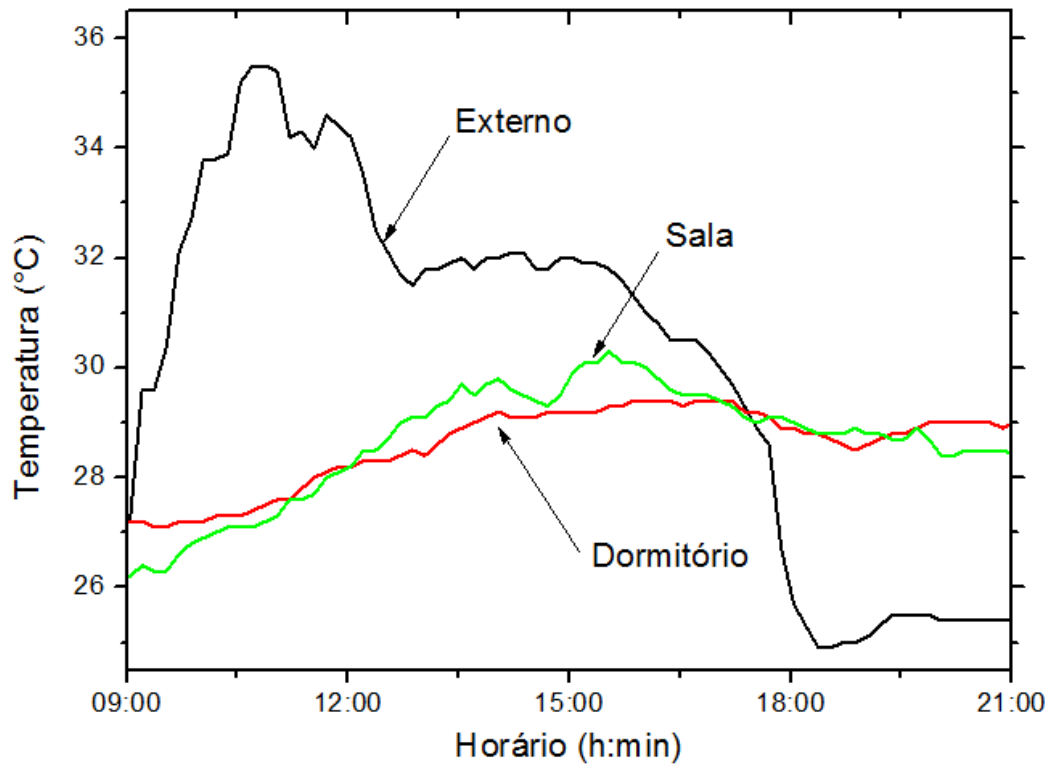
Fonte: Autor

Figura 18: Gráfico TBS verão - Lorena



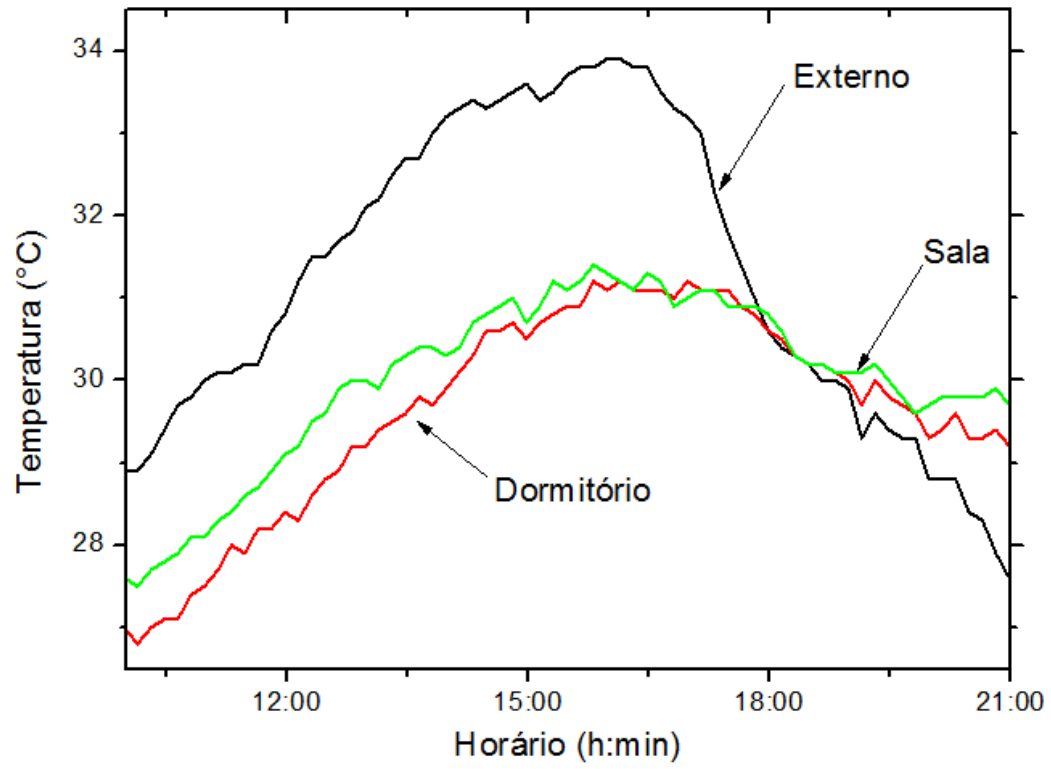
Fonte: Autor

Figura 19: Gráfico TBS verão - Aparecida



Fonte: Autor

Figura 20: Gráfico TBS verão - Potim

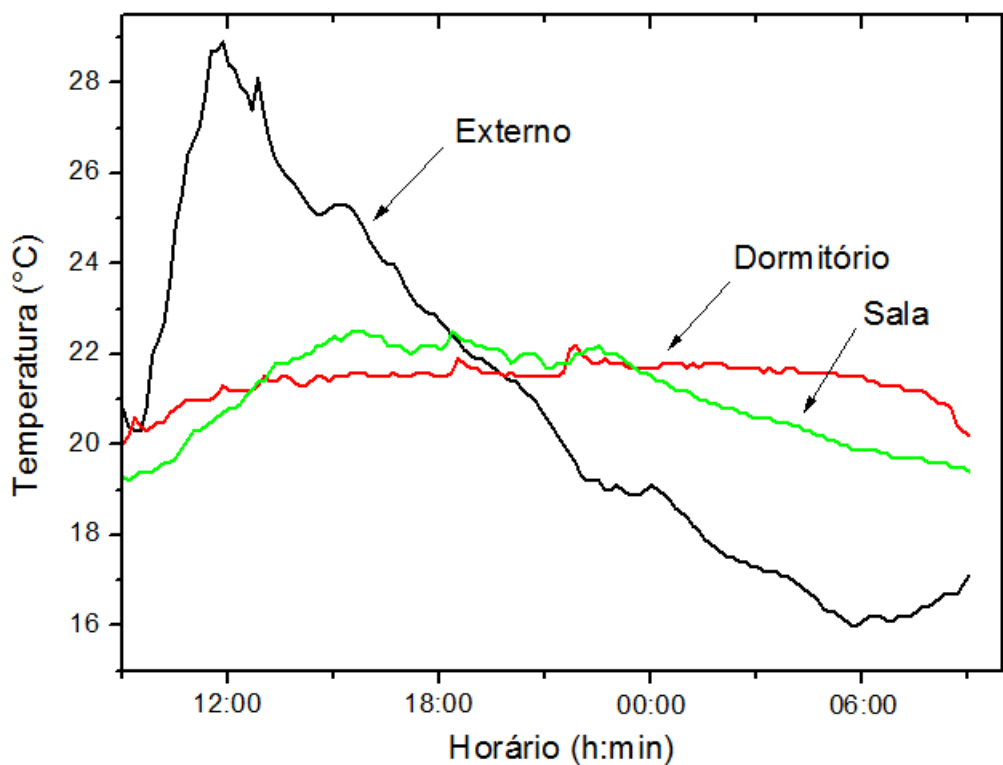


Fonte: Autor

APÊNDICE A2 - Gráficos de temperatura para condições de inverno

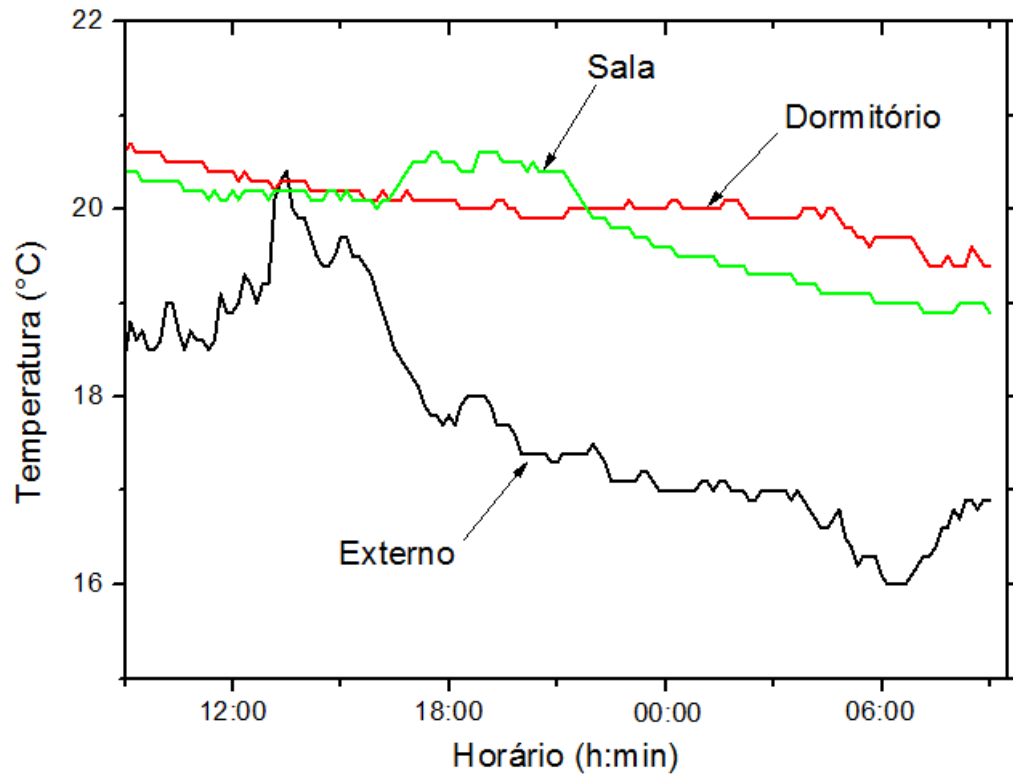
As Figuras a seguir, Figura 21 a Figura 26, apresentam os gráficos de temperatura de bulbo seco do ar (TBS), em °C, em função do tempo, medidos nos ambientes interno e externo da unidade habitacional, com dados medidos no período de inverno. Os dados horários foram coletados em um período de 24 horas com medição a cada 10 minutos.

Figura 21: Gráfico TBS inverno - Beira Rio II



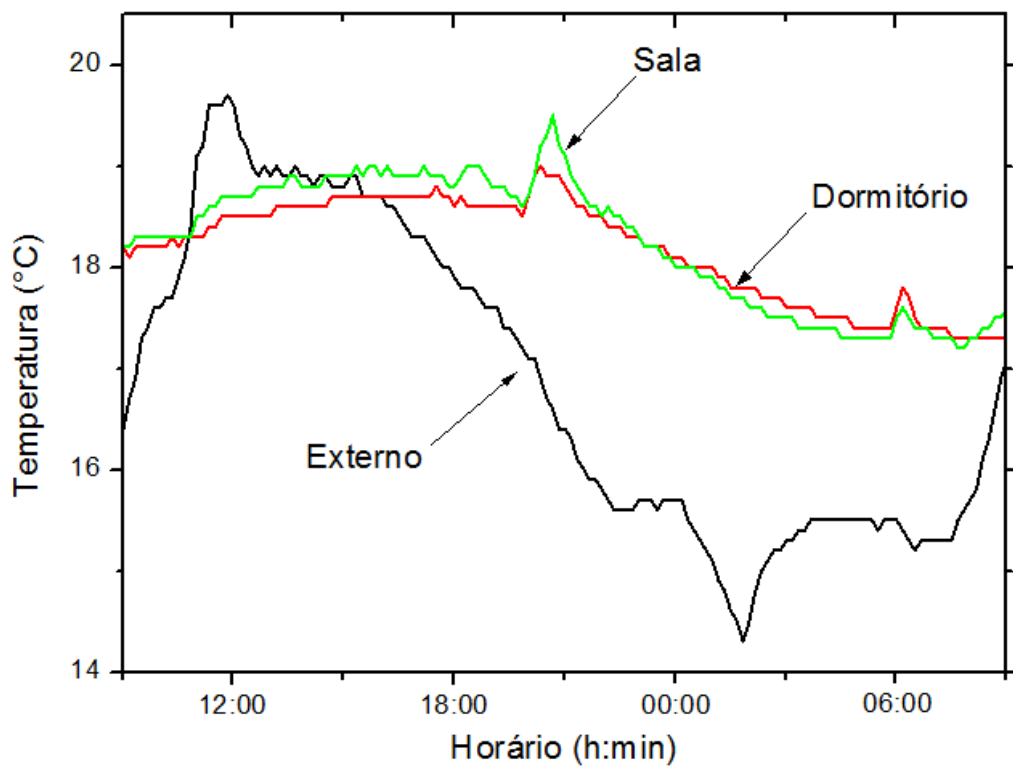
Fonte: Autor

Figura 22: Gráfico TBS inverno - Quaresmeiras



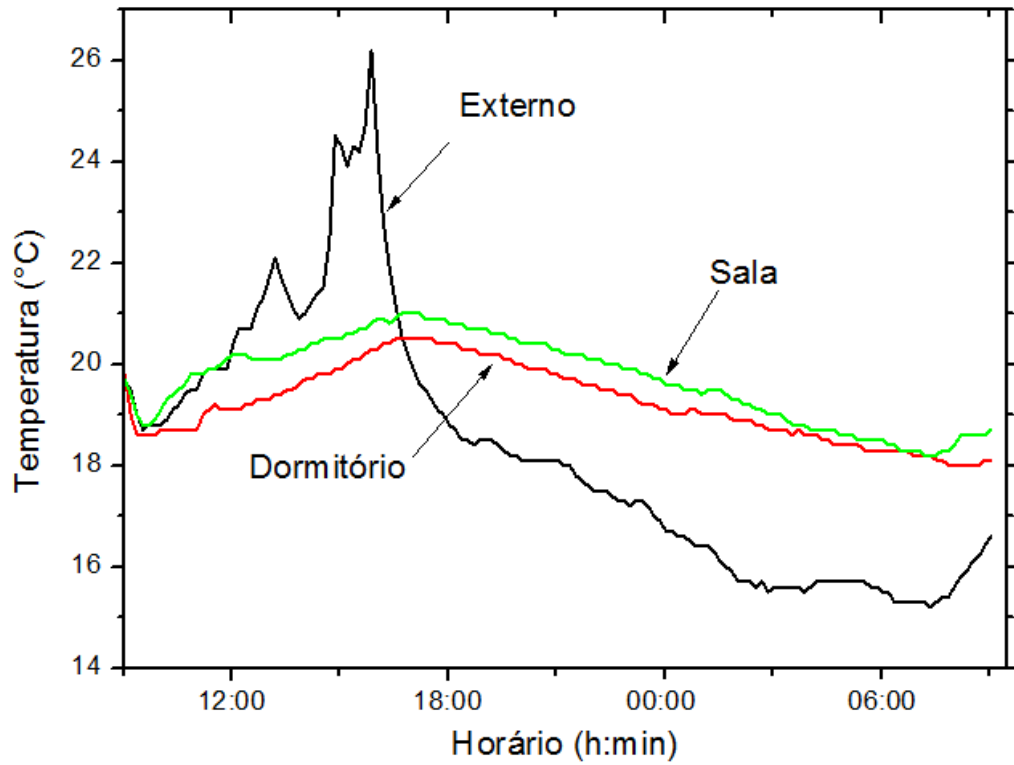
Fonte: Autor

Figura 23: Gráfico TBS inverno – Jd. França



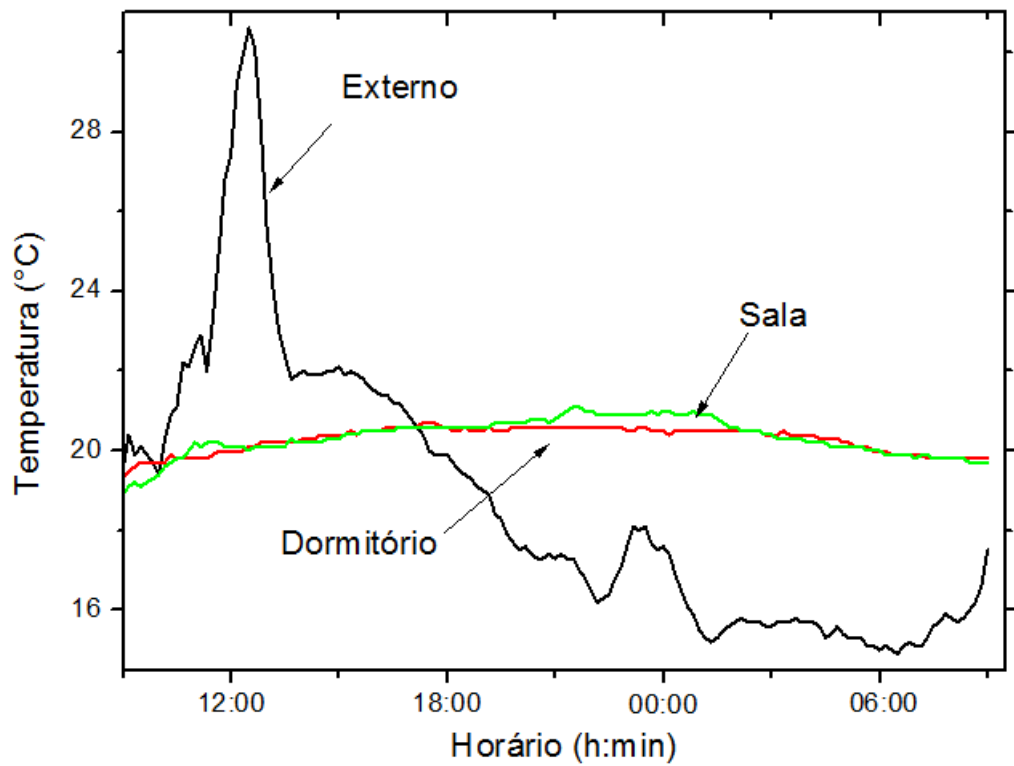
Fonte: Autor

Figura 24: Gráfico TBS inverno - Lorena



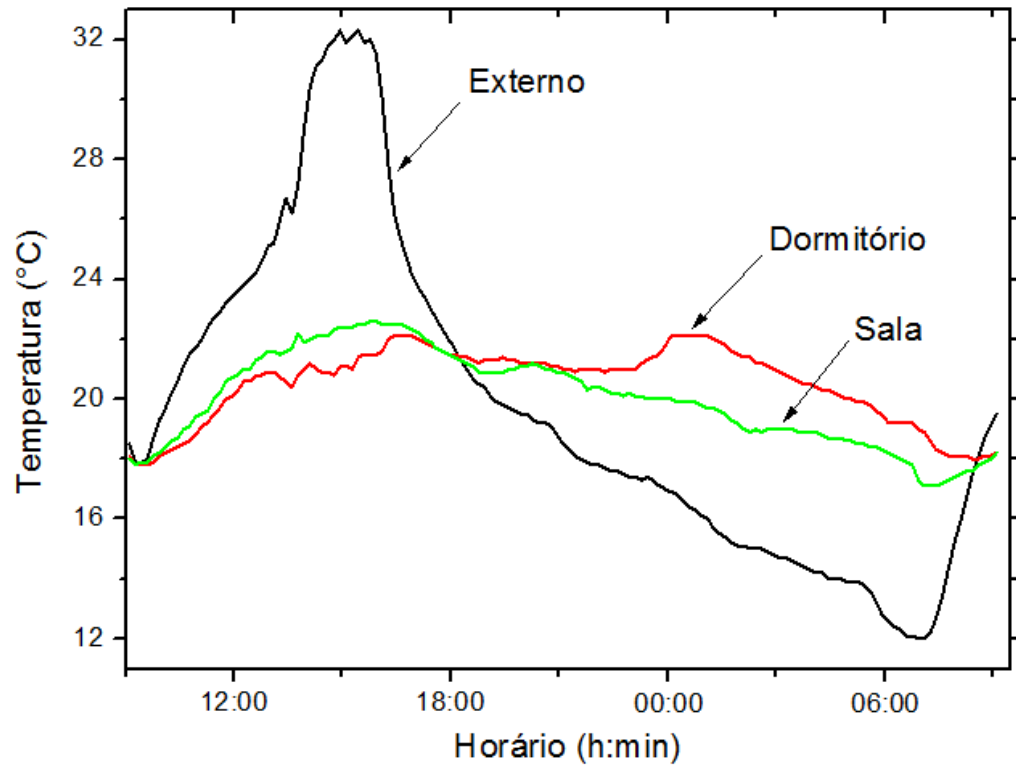
Fonte: Autor

Figura 25: Gráfico TBS inverno - Aparecida



Fonte: Autor

Figura 26: Gráfico TBS inverno - Potim



Fonte: Autor

ANEXO A – Cálculo de transmitância térmica de elementos de vedação

O cálculo de transmitância térmica é apresentado pela Equação (8), conforme ABNT NBR 15220-2.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (8)$$

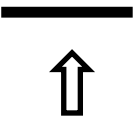
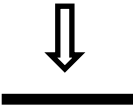
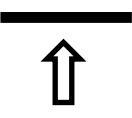
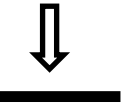
Sendo:

R_T a resistência térmica de ambiente a ambiente, dada pela equação (9):

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (9)$$

Conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) a resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperatura da superfície do ar e superfícies próximas. A norma recomenda valores médios de resistência superficial externa (R_{se}) e interna (R_{si}) apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resistência térmica superficial externa e interna

Rse			Rsi		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15575-4/2013

A resistência térmica de superfície a superfície R_t para superfícies homogêneas e não homogêneas é determinada pela Equação (10).

$$R_t = \sum_{i=1}^n R_{t,i} + \sum_{i=1}^n R_{ar,i} \quad (10)$$

Sendo:

$R_{t,i}$ determinadas pela Equação (11).

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (11)$$

Sendo:

A a área da seção de cálculo;

R a resistência da superfície, calculada pela Equação (12).

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (12)$$

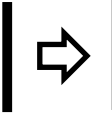
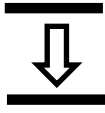
Sendo:

e a espessura da camada;

λ a condutividade térmica do material da camada.

A ABNT NBR 15220-2 recomenda valores da resistência térmica de câmaras de ar R_{ar} não ventiladas, conforme Tabela 16. Os valores são válidos para uma temperatura média da camada entre 0°C e 20°C e com uma diferença de temperatura entre as superfícies limitantes menor do que 15°C.

Tabela 11: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	R _{ar}		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
				
Superfícies de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: Adaptada NBR 15575-4/2013

ANEXO B – Cálculo de capacidade térmica de paredes externas

A capacidade térmica (CT) de paredes externas com camadas homogêneas e não homogêneas é calculada conforme Equação (13).

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (13)$$

Sendo:

A a área da seção de cálculo;

C_T calculado pela Equação (14).

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i c_i \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i c_i \rho_i \quad (14)$$

Sendo:

c_i o calor específico do material na camada i;

ρ_i a densidade de massa aparente do material da camada i.