



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL

# INFLUÊNCIAS DA ENVOLTÓRIA VERTICAL OPACA DE EDIFICAÇÕES NAS TEMPERATURAS INTERNAS DO AR

JOSÉ RODRIGO VIANA MONTEIRO

JOÃO PESSOA-PARAÍBA-BRASIL

JANEIRO-2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL

## INFLUÊNCIAS DA ENVOLTÓRIA VERTICAL OPACA DE EDIFICAÇÕES NAS TEMPERATURAS INTERNAS DO AR

JOSÉ RODRIGO VIANA MONTEIRO

Arquiteto e Urbanista - Mestrando em Engenharia Urbana e Ambiental

Dissertação de mestrado apresentado a Universidade Federal da Paraíba para a obtenção de título de mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, área de concentração Ambiente Urbano, linhas de pesquisa de construções urbanas e adequação ambiental, sob a orientação da prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Solange Maria Leder.

JOÃO PESSOA-PARAÍBA-BRASIL

JANEIRO-2013

M775 Monteiro, José Rodrigo Viana.  
Influências da envoltória vertical opaca de edificações nas  
temperaturas internas do ar / José Rodrigo Viana Monteiro.--  
João Pessoa, 2012.  
121f. : il.  
Orientadora: Solange Maria Leder  
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT  
1. Engenharia Urbana e Ambiental. 2. Arquitetura e Clima.  
3. Edificações – características da envoltória. 3. Superfície.  
4. Cor. 5. Sombreamento. 6. Massa Térmica.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

---

JOSÉ RODRIGO VIANA MONTEIRO

INFLUÊNCIAS DA ENVOLTÓRIA VERTICAL OPACA DE EDIFICAÇÕES NAS  
TEMPERATURAS INTERNAS DO AR

Aprovado em 28 / 09 / 2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Solange Maria Leder – Orientadora  
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr<sup>o</sup> Maurício Roriz - Membro  
Universidade Federal de São Carlos

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Solange V. G. Goulart – Membro  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr<sup>o</sup> Luiz Bueno da Silva – Membro  
Universidade Federal da Paraíba

## DEDICATÓRIA

*À Meus Pais, Paulo Tomé e Maria Albanisa,*

*Igualmente belos e admiráveis em essência, concedendo a oportunidade de me realizar ainda mais. Ensinaram-me a falar, a caminhar, a viver, ungiram-me com amor, me ajudaram a crescer, sanaram minhas dúvidas, me deram de comer, protegeram minha infância, seguraram minha mão, apontando-me o melhor caminho a concretizar meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradecer a todos que ajudaram a construir esta dissertação não é tarefa fácil. O maior perigo que se coloca para o agradecimento seletivo não é decidir quem incluir, mas decidir quem não mencionar. Então, a meus amigos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

Se devo ser seletivo, então é melhor começar do início. Meu maior agradecimento é dirigido a Deus, por me abençoar desde o início deste trajeto acadêmico, aos meus pais ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência de meus próprios valores.

Agradeço em especial à minhas amigas Rafaela Mabel, Simone Morais e Juliana Carvalho, companheiras nesta trajetória, que souberam compreender, como ninguém, a fase pela qual eu estava passando. Agradeço-lhes, carinhosamente, por tudo isto.

No âmbito acadêmico, devo a excelência profissional de Dr<sup>a</sup> Maria Solange Leder, que conferiu prestígio e valor a meu trabalho de mestrado, na esperança de retribuir com seriedade meu trabalho, agradeço a orientação, confiança e agradável amizade construída. Agradeço a professora Flavia, e a equipe de pesquisa do Labcon, pela iniciação a docência e a pesquisa nesta instituição.

Incluo, de forma especial, o nome de Professor Perazzo, Bueno e Eivaldo nesta minha lista seletiva, por terem contribuído de forma direta na construção dos protótipos e no suporte estatístico nesta etapa de conclusão do mestrado.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa concedida durante os anos do curso.

Agradeço também, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, na figura dos professores e coordenadores, por oferecer à formação acadêmica tanto pleiteada.

## RESUMO

Grande parte do desempenho térmico de uma edificação está relacionada com as características da envoltória da edificação, especialmente a absorptância e a espessura das paredes, a área de fechamento transparente e a possibilidade de sombreamento e de ventilação. Considerando essa premissa, o presente trabalho tem como objetivo analisar o impacto de variações nos fechamentos verticais da envoltória sobre as temperaturas internas de seis células-teste, com volume interno de 1 m<sup>3</sup>. As variáveis da envoltória em análise são: a absorptância, a massa térmica e o sombreamento. Quatro protótipos foram construídos com tijolos de barro de 6 furos e dois com tijolos maciços de solo-cimento, tendo como fechamento vertical placas onduladas de cimento amianto com uma camada de isolamento. O coeficiente de absorção adotado nas células-teste foi de 0,2 (cor branco neve), 0,9 (cor preto fosco) e 0,4 (cor bege-alaranjado, tom de argila). Para a variável sombreamento foi utilizada uma tela plástica flexível com trama equivalente a 50% de proteção solar. Medições horárias das temperaturas internas e externas foram realizadas em dois períodos do ano, durante o solstício de inverno e verão. Simultaneamente foram medidas as variáveis climáticas: velocidade do ar, umidade do ar, radiação solar, temperatura do ar. Também foram realizadas medições das temperaturas superficiais dos protótipos, utilizando-se uma câmera termográfica. Os dados foram analisados a partir de gráficos de distribuição de temperatura e análise estatística com modelos de regressão linear, sendo geradas seis equações de temperatura interna – mínima, média e máxima - para cada célula-teste, observando-se o maior coeficiente de correlação ( $r > 0,8$ ), comum a todas as células-teste. A equação preditiva de Temperatura Média Interna ( $T_{int\ méd}$ ) foi a equação adotada para as análises. Com a observação da temperatura média interna, a partir das equações de regressão, verificamos o maior aquecimento de temperatura média interna na célula-teste de alta absorptância 0,9, com temperatura média interna na faixa de 2,2°C à 4,1°C em relação a temperatura média externa. Na célula-teste de absorptância 0,9 com nível de sombreamento em 50% da envoltória, o aquecimento ficou na faixa de 1,35°C à 2,55°C. Na célula-teste de absorptância de 0,2 verificamos um menor aquecimento da temperatura média interna, na faixa de 0,49°C à 1,15°C, enquanto na condição de envoltória de absorptância com sombreamento o aquecimento da temperatura média interna foi de 1,17°C à 1,58°C. Para a célula-teste de solocimento a temperatura média interna apresentou-se na faixa de 1,37°C à 3,93°C, sendo para esta mesma superfície com a influência do sombreamento temperatura média interna de 0,6°C à 2,57°C.

Palavras-chave: Superfície, absorptância, Sombreamento, Massa Térmica.

---

## ABSTRACT

Much of the thermal performance of a building is related to the characteristics of the envelope of the building, especially the absorptance and wall thickness, the area of closing and the possibility of transparent shading and ventilation. Given this premise, this paper aims to examine the impact of variations in vertical envelopment locks on internal temperatures of six cell-test, with an internal volume of 1 m<sup>3</sup>. The variables in the envelope analysis are: absorptance, thermal mass and shading. Four prototypes were built with mud bricks of 6 holes with solid bricks and two soil-cement, with the closing vertical corrugated asbestos cement with a layer of insulation. The absorption coefficient used in commercial cell-test was 0,2 (snow white), 0,9 (matt black) and 0,4 (orange-beige color tone, clay). For variable shadowing used a flexible plastic screen with plot equivalent to 50% sun protection. Hourly measurements of internal and external temperatures were performed in two periods of the year, during the summer and winter solstice. Simultaneously climatic variables were measured: air speed, humidity, solar radiation, air temperature. Measurements were also made of the surface temperatures of the prototypes, using a thermographic camera. Data were analyzed from graphs of temperature distribution and statistical analysis with linear regression models, with six equations generated internal temperature - minimum, average and maximum - for each test cell, observing the highest correlation coefficient ( $r > 0,8$ ), common to all the cells tested. The predictive equation Internal Temperature Average (avg. Tint) equation was adopted for the analysis. With the observation of the internal medium temperature from the regression equations, we find the greatest warming of mean temperature in the cell-internal test high absorptance 0.9, with an average temperature inside the range of 2,2°C to 4,1 °C above the average temperature outside. In cell-test with a level of 0.9 absorptance shading in 50% of the envelope, the heating was in the range of 1,35°C to 2,55°C. In cell-test absorptance of 0,2 verify a lower average internal temperature heating in the range from 0,49 °C to 1,15°C, while in the condition of envelopment absorptance with shading heating the average internal temperature was from 1,17°C to 1,58°C. For the test cell Cemen average temperature inside appeared in the range of 1,37°C to 3,93°C, to this same surface with the influence of shading average internal temperature of 0,6°C to 2 , 57°C.

Keywords: Surface, absorptance, shading, thermal mass.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1 – Diversidade construtiva e a condição climática	5
Figura 2 – Fenômenos de transmissão de calor ocorridos no estudo com as células-teste.	9
Figura 3 – Elementos que compõem a Envoltória e sua contribuição na carga térmica interna	11
Figura 4 – Bloco de Tijolo Cerâmico e Bloco de Concreto Celular	21
Figura 5 – Células-testes empregadas no estudo da cor e massa térmica da envoltória	25
Figura 6 – Corte esquemático da estrutura das células-teste concebidas por Kruger e Roriz	26
Figura 7 – Edificações utilizadas na análise de ambientes com alta massa térmica na envoltória	26
Figura 8 – Protótipo com cobertura verde	27
Figura 9 – Protótipo com vedações em painéis de madeira	28
Figura 10 – Planta Baixa Célula-Teste	30
Figura 11 – Corte Célula-Teste	30
Figura 12 – Maquete Eletrônica da proposta para as células-teste	31
Figura 13 – Células-teste com a simulação do efeito de sombreamento de 50% na envoltória	31
Figura 14 – Maquete eletrônica dos protótipos com o sistema de sombreamento investigado	32
Figura 15 – Maquete eletrônica da disposição das células-teste para execução	32
Figura 16 – Célula-teste P	33
Figura 17 – Célula-teste PS	33
Figura 18 – Célula-teste B	34
Figura 19 – Célula-teste BS	34
Figura 20 – Célula-teste S	35
Figura 21 – Célula-teste SS	35
Figura 22 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 8:00 a.m. do dia 03/07	35
Figura 23 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 16:00 p.m. do dia 03/07	35
Figura 24 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 8:00 a.m. do dia 03/12	36
Figura 25 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 16:00 p.m. do dia 03/12	36
Figura 26 – Mini-estação meteorológica Davis Pró-Plus 2	36
Figura 27 – Data Logger	36
Figura 28 – Câmera Termográfica B400	37
Figura 29 – Ensaio Termográfico em ambiente urbano	38
Figura 30 – Flutuações de temperaturas representativo do período de medição de inverno ou Verão	39
Figura 31 – Histograma demonstrativo do numero de ocorrências por classe.	39
Figura 32 – Configuração do Boxplot	40
Figura 33 – Gráfico de caixa de temperaturas de uma Célula-teste	41
Figura 34 – Elementos formadores da reta de Regressão Linear	42
Figura 35 – Oscilações da temperatura observadas no período do inverno	49
Figura 36 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste P e PS	51
Figura 37 – Distribuição de Frequências de temperatura interna para as células-teste B e BS	51
Figura 38 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste S e SS	52
Figura 39 – Perfil de concentração das temperaturas internas em relação as temperaturas externas no período do inverno	52
Figura 40 – As maiores concentrações de temperatura interna no período de inverno	53
Figura 41 – Demonstração da oscilação de temperatura interna máxima em relação as temperaturas externas	54
Figura 42 – Oscilações da temperatura observadas no período de verão	56
Figura 43 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste P e OS	57

Figura 44 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste B e BS	58
Figura 45 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste S e SS	58
Figura 46– Perfil de concentração das temperaturas internas em relação as temperaturas externas no período do verão	60
Figura 47 – As maiores concentrações de temperatura interna no período de verão	61
Figura 48 – Temperatura interna máxima observada nas células-teste	62
Figura 49 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste P	63
Figura 50 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste PS	63
Figura 51 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste B	64
Figura 52 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste BS	64
Figura 53 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste S	64
Figura 54– Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste SS	64
Figura 55 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P e PS, em °C.	67
Figura 56 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-BS, em °C.	68
Figura 57 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste S-SS, em °C.	68
Figura 58 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-BS, em °C.	68
Figura 59 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-BS, em °C.	69
Figura 60 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-SS, em °C.	69
Figura 61 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-PS, em °C.	69
Figura 62 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste S-BS, em °C.	70
Figura 63 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste S-PS, em °C.	70
Figura 64 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-B, em °C.	71
Figura 65 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste PS-BS, em °C.	71
Figura 66 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-S, em °C.	71
Figura 67 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-S, em °C.	72
Figura 68 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste PS-SS, em °C.	72
Figura 69 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste BS-SS, em °C.	72
Figura 70 - Célula teste com envoltória de alta absorvância - P (12/07 - 8:00h)	74
Figura 71 - Célula-Teste Com Superfície Escura Cor Preto - Com Sombreamento – PS (dia 12/07 - 8:00 a.m.)	74
Figura 72 - Célula-teste com envoltória de baixa absorvância - B (12/07 - 8:00 h)	74
Figura 73 - Célula-teste de baixa absorvância e sombreamento (12/07 - 8:00h)	75
Figura 74 - Célula-teste com envoltória em solo-cimento (12/07 - 8:00h)	75
Figura 75 - Célula-teste com envoltória em solo cimento e sombreamento (12/07 - 8:00h)	76
Figura 76 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância (12/07 - 16:00h)	78
Figura 77 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância e sombreamento (12/07 - 16:00h)	78
Figura 78 - Célula-teste com envoltória de baixa absorvância (12/07 - 16:00h)	78
Figura 79 - Célula-teste com baixa absorvância e sombreamento (12/07 - 16:00h)	79
Figura 80 - Célula-teste com envoltória em solo cimento (12/07 - 16:00h)	79
Figura 81 - Célula-teste com envoltória em solo cimento e sombreamento (12/07 - 16:00h)	79
Figura 82 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância (14/07 - 8:00 h)	82
Figura 83 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância e sombreamento (14/07 - 8:00 h)	83
Figura 84 - Célula-teste com envoltória de baixa absorvância (14/07 - 8:00 h)	83
Figura 85 - Célula-teste de baixa absorvância e sombreamento (14/07 - 8:00 h)	83
Figura 86 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento (14/07 - 8:00 h)	84

Figura 87 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento e sombreamento (14/07 - 8:00 h)	84
Figura 88 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância (14/07 - 16:00 h)	86
Figura 89 - Célula-teste com alta absorvância e sombreamento (14/07 - 16:00 h)	86
Figura 90 - Célula-teste com envoltória de baixa absorvância (14/07 - 16:00 h)	87
Figura 91 - Célula-teste de alta absorvância com sombreamento (14/07 - 16:00 h)	87
Figura 92 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento (14/07 - 16:00 h)	87
Figura 93 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento e sombreamento (14/07 - 16:00 h)	88

## LISTA DE TABELAS

TABELAS	PÁGINA
Tabela 1 – Valores de Absortância Solar Publicados Por Diversos Autores	14
Tabela 2 – Propriedades termofísicas de alvenarias.	17
Tabela 3 – Correlação entre as temperaturas medidas e temperaturas estimadas	21
Tabela 4 – Diferença entre os valores medidos e valores estimados pelas equações preditivas.	24
Tabela 5 – Nível do coeficiente de Correlação	46
Tabela 6– Exemplo de Equações de previsão de Temperatura Interna - $T_i$	47
Tabela 7 – Total de observações de temperatura interna registradas em cada célula-teste	48
Tabela 8 - Temperatura média interna Estimada - $T_{intméd}$	66
Tabela 9 – Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 12/07 às 8:00 h	77
Tabela 10 – Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 12/07 às 16:00 h.	80
Tabela 11 - Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 14/07 às 08:00 h	84
Tabela 12 – Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 14/07 às 16:00 h	88

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1.1 <i>Objetivos</i>	2
1.2 <i>Justificativa</i>	2
1.3 <i>Universo de Estudo</i>	3
1.4 <i>Estrutura do Trabalho</i>	4
CAPITULO 02 – REFERÊNCIAL TEÓRICO	5
2.1 <i>Arquitetura e Clima</i>	5
2.2 <i>Condicionamento Natural nas Edificações</i>	6
2.3 <i>Transmissão de Calor nos Fechamentos</i>	9
2.3.1 <i>Coefficiente de Absorção</i>	12
2.3.2 <i>Sombreamento</i>	15
2.3.3 <i>Material</i>	16
2.4 <i>A Termografia de Imagem em Infravermelho</i>	18
2.5 <i>Equações Estimativas de Temperatura Interna</i>	20
CAPITULO 3 - METODOLOGIA	29
3.1 <i>Projeto das Células-Teste</i>	29
3.2 <i>Monitoramento das Variáveis Climáticas</i>	36
3.3 <i>Tratamento dos Dados</i>	38
3.4 <i>Descrição do Método para Obtenção de Equação Preditiva de Temperatura Interna</i>	41
3.5 <i>Geração das Equações de Regressão Linear</i>	45
3.6 <i>Construção das Relações entre as Diferentes Células-Teste</i>	47
CAPITULO 4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1 <i>Medição da temperatura do ar no Período de Inverno</i>	49
4.2 <i>Medição da temperatura do ar no Período de Verão</i>	56
4.3 <i>Geração das Equações de Regressão Linear</i>	62
4.4 <i>Influência do Sombreamento na Envoltória das Células-Teste</i>	67
4.5 <i>Influência da Absortância da Envoltória das Células-teste</i>	70
4.6 <i>Influência da Massa Térmica na Envoltória das Células-Teste</i>	71
4.7 <i>Termografia de Imagem em Infravermelho</i>	73
4.7.1 <i>Período de Medição Chuvoso</i>	73

4.7.2 <i>Período de Medição com Céu Claro</i>	81
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAL BIBLIOGRAFICO	93
APÊNDICE	I - XXIV

## **CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO**

No Brasil, principalmente na região Nordeste, o consumo energético dado pelo condicionamento de ar para arrefecimento ou resfriamento no edifício é significativo durante a maior parte do ano. A adequação da edificação ao clima e a consequente melhora das condições de conforto reduzem o consumo energético e a crescente demanda por geração de energia elétrica para a cidade.

O excessivo ganho de calor que ocorre na envoltória das edificações localizadas em regiões de clima quente e úmido é um dos principais problemas de adequação da edificação à condição de conforto térmico. O uso de variadas técnicas a amenizar ganhos excessivos de calor no ambiente com isolantes térmicos em argamassas, proteções solares nas aberturas da fachada, utilização de cores com baixa absorvência térmica, entre outros, visam harmonizar a edificação ao clima.

O desenvolvimento de estudos térmicos é indispensável para avaliar o desempenho dos elementos construtivos da envoltória da edificação. A definição de regras quantitativas e qualitativas para a concepção dos elementos construtivos nos permite assegurar a funcionalidade do espaço e conforto aos usuários. O conhecimento das características térmicas dos materiais junto às premissas do partido arquitetônico proporcionam edifícios e espaços urbanos cuja adequação térmica atenda às exigências de conforto.

A realização de estudos térmicos em células-teste consiste uma forma de subsidiar pesquisas em elementos construtivos sob efeito das condições atmosféricas no estado real. O monitoramento da temperatura interna e externa em células-teste nos permite analisar o desempenho térmico em diferentes materiais construtivos e diversa característica de envoltória.

A cor na envoltória das edificações denota diferentes valores na escolha, seja o valor estético e/ou de amenização térmica do espaço construído. O desempenho térmico perante a absorvência da envoltória e as variáveis atmosféricas podem assim ser analisadas.

O sombreamento nas superfícies externas da envoltória apresenta-se como uma variável difícil de ser quantificada, avaliar este, perante o fator de obstrução da radiação solar, é uma das variáveis externas que pode ser investigada.

No mercado da construção civil existe uma diversidade de materiais de vedação que podem ser empregados na construção da envoltória, essa diversidade construtiva também é acompanhada de diferentes resultados térmicos dos componentes, sendo importante o desenvolvimento de pesquisas à aferir o desempenho térmico destes materiais.

Para quantificar as variáveis absorptância, material de vedação e sombreamento, foram concebidas relações estatísticas, a partir da construção de modelos de regressão linear simples, originadas de dados de temperatura interna em células-teste, produzindo-se equações preditivas de temperatura interna, para assim proceder-se às devidas relações entre as diversas variáveis.

### **1.1 Objetivos**

A presente dissertação tem como objetivo analisar o impacto das variáveis absorptância, sombreamento e tipo de material de vedação empregado em fechamentos verticais na transferência de calor para o ambiente interno.

Objetivos Específicos:

- Comparar o impacto do sombreamento de fachadas na amenização da transferência de calor para o ambiente interno com o uso da baixa absorptância na superfície externa;
- Avaliar o impacto das variáveis absorptância, material de vedação e sombreamento empregados na superfície externa e seus efeitos nas temperaturas internas;
- Analisar a temperatura superfície da envoltória exposta a diferentes condições absorptância, sombreamento e tipo de material nas vedações utilizando a termografia de imagem em infravermelho;

### **1.2 Justificativa**

A arquitetura deve servir o homem e ao seu conforto, oferecendo condições compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios. Por outro lado, a intervenção humana no meio ambiente natural altera as principais variáveis climáticas<sup>1</sup>, devendo-se

---

<sup>1</sup> As variáveis climáticas correspondem à ação na dinâmica climática causada pelos fatores climáticos, globais (Radiação Solar, Latitude, Altitude, Regime de Ventos, Massas de Água e Terra) e locais (Topografia, Vegetação, Revestimento do Solo, Ilhas de Calor), e elementos climáticos (Temperatura, Umidade, Ventos, Precipitações, Nebulosidade).



prover uma arquitetura adequada ao contexto climático do sítio, a condicionar o conforto e minimizar o consumo energético, racionalizando os recursos para minimizar a produção de resíduos.

Para Fossati (2010), parte do consumo de energia nas edificações está relacionada aos ganhos ou perdas de calor pela envoltória da edificação, associados à carga interna gerada pela ocupação, ao uso de equipamentos, à iluminação artificial e ao consumo dos sistemas de condicionamento de ar. A racionalização do consumo da energia elétrica pode provir da adequação da arquitetura ao clima, com o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, como a ventilação, a iluminação natural e o sombreamento.

Segundo Marinoski (2010), às edificações localizadas em países de clima quente é aconselhável a aplicação de materiais que tenham aquecimento reduzido, em função da menor absorção da radiação solar, podendo proporcionar reduzidos ganhos de calor, melhorando o bem estar dos ocupantes e reduzindo o consumo de energia com o condicionamento de ar. A partir de decisões projetuais bem sucedidas, como a utilização de diferentes cores e texturas (Wu, 2008), pode-se reduzir os ganhos térmicos gerados nas fachadas e coberturas das edificações. Considerações como estas estão contidas nos métodos de avaliação de eficiência energética em todo o mundo (Goulart, 2005<sup>1</sup>; 2005<sup>2</sup> e 2007<sup>3</sup>), mas com ponderações discutíveis acerca da adoção de pré-requisitos e parâmetros para a classificação das edificações no Brasil.

Portanto, para caracterizar a eficiência energética e as condições de conforto humano, especificamente em cidades de clima quente e úmido ou quente e seco, um dos artifícios é a redução da incidência direta da radiação solar na envoltória, com a influência do entorno ou utilização de elementos de proteção solar. Este estudo propõe analisar a envoltória exposta ao sol e os efeitos causados pelo uso do sombreamento, baixa absorvância da envoltória e o uso de blocos de solo-cimento na adequação térmica do ambiente interno.

### **1.3 Universo de estudo**

A cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, está situada na porção oriental a 7° 08'S e 34° 53'W, com zona horária compreendida no UTC-3, correspondente ao horário de Brasília, sem a adoção do horário de verão.

A altitude média em relação ao nível do mar é de 37 metros, com predominância no sítio urbano de terrenos planos com cotas de nível na ordem de 10 metros de diferença.

Caracteriza-se por duas estações climáticas definidas pelo regime pluviométrico, com um forte regime de chuvas no período de outono e inverno, que corresponde ao período dos meses de maio à agosto, com o restante do ano de céu claro com temperatura média por volta dos 27°C.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

Esta dissertação se estrutura em 05 capítulos: Introdução; Revisão Bibliográfica; Metodologia; Resultados e Conclusões.

No capítulo 1 apresentamos as variáveis a serem estudadas, explanando os objetivos, justificativas e limitações desta pesquisa.

No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica sobre os assuntos pertinentes explanando os seguintes itens: Arquitetura e Clima - referenciando a adequação da arquitetura ao clima local a assim seguir diretrizes básicas a conceber edificações sustentáveis; Transmissão de calor dos fechamentos – que ressalta os fenômenos de transmissão de calor que atuam sobre a envoltória das edificações; Condicionamento natural das edificações - que descreve meios a conceber e valorizar os sistemas passivos de condicionamento térmico; Envoltória – descreve os elementos que compõem a envoltória e as variáveis externas que podem interagir no desempenho térmico destes fechamentos; Termografia de imagem em infravermelho – que insere a análise de superfícies externas com o mapeamento da temperatura de superfície.

No capítulo 3 está contida a metodologia do estudo, descrevendo as características materiais das seis células-teste, os objetos de medição de dados, e as ferramentas utilizadas na análise dos dados.

No capítulo 4 são analisados os dados de medição, realizando-se a correlação entre a temperatura interna diária e a média das médias da temperatura externa, determinando a construção das equações estimativas das temperaturas internas através de modelos de regressão.

O capítulo 5 descreve as conclusões alcançadas pelo método proposto indicando as condições de envoltória e sombreamento das diferentes células-teste empregadas na pesquisa, apresentando sugestões para trabalhos futuros validando o método estimativo proposto.

## CAPÍTULO 02 - REFERENCIAL TEÓRICO

Resumo do Capítulo: Neste capítulo abordaremos a relação arquitetura e clima, referenciando a importância de se planejar a partir das condicionantes climáticas, perceptivamente investigando as condições atenuantes às quais o meio natural oferece a desenvolver situações de conforto ao usuário do meio ambiente em estudo, explanando também a relação entre a adequação climática do meio construído referenciando a condição de envoltória e suas propriedades térmicas, apresentando o método de estimação da temperatura interna.

### 2.1 *Arquitetura e Clima*

No meio ambiente diversos elementos constituem o entorno, como a luz, clima, som, etc, podendo estimular as atividades ou exprimir maior esforço biológico, na adaptação humana as condições do meio.

A adaptação do refugio ao clima era um principio essencial estabelecendo a função de abrigo contra fatores adversos, como o excesso de frio, calor, chuva e sol, satisfazendo as necessidades humanas básicas perante os vários elementos atmosféricos e o rigor climático, determinando uma diversidade construtiva. Exemplos de arquitetura e ambiência podem ser ilustrados através do habitat de povos primitivos (Figura 1), construídos a partir de materiais e soluções construtivas adequadas ao meio natural, constituindo-se, invariavelmente, em indícios do clima local.

Figura 1 – Diversidade construtiva e a condição climática



Fonte: Lamberts *et al*, 1997.

Com a evolução dos materiais e técnicas construtivas, soluções tradicionais de condicionamento térmico por sistemas passivos<sup>1</sup> passaram a ser substituídas indiscriminadamente por novas tecnologias baseadas nos sistemas ativos<sup>2</sup>, dotando o ambiente com soluções artificiais de climatização e iluminação. Essa substituição tem como consequência além do alto consumo energético das edificações a insatisfação dos usuários com os meios essencialmente artificiais, problemas como a síndrome dos edifícios doentes (*Sick buildings*) e outros tem sido apontados como causa de doenças laborais e absenteísmo.

Em 1987, com o relatório Brundtland destaca-se o conceito de desenvolvimento sustentável, que prega uma interação do homem com o meio, utilizando os elementos e recursos naturais disponíveis, preservando o planeta para as gerações futuras, com soluções socialmente justas, economicamente viáveis e ecologicamente corretas. Dentre as diretrizes apontadas pelo relatório destaca-se: a eficiência energética; o uso de técnicas passivas das condições e dos recursos naturais; o uso de materiais e técnicas ambientalmente corretas e o conforto e a qualidade interna dos ambientes (BRUNDTLAND, 1991).

O projeto e a execução da edificação, em um contexto de desenvolvimento sustentável, devem estar pautados na adoção de técnicas construtivas e materiais inerentes ao entorno e ao lugar. Tendo em consideração não somente a construção da edificação, mas todo o seu ciclo de vida, destacando-se, no âmbito deste trabalho, os custos com a adequação às necessidades dos usuários. Para Romero (1988) as principais condicionantes arquitetônicas e urbanísticas devem priorizar a integração da edificação com o entorno natural, objetivando a adequação ao clima, bem como considerar o entorno construído.

## **2.2 Condicionamento natural das edificações**

O aproveitamento das variáveis climáticas positivas e a mitigação das variáveis negativas do clima deve ser, idealmente, inerente à arquitetura. Conforme Lamberts (1999) a adequação do padrão construtivo ao sítio exige investimentos menores (apenas 5% do total da construção) e proporciona maior economia de energia (23%), devido a dois fatores básicos: o desempenho do

---

<sup>1</sup> Sistemas passivos: envolvem o fluxo natural dos elementos climáticos como condicionante de conforto no ambiente.

<sup>2</sup> Sistemas ativos: adotam dispositivos elétricos ou mecânicos para dispor o ambiente da condição de conforto.

---

edifício no processo de trocas térmicas da envoltória (paredes de vedação, cobertura e aberturas) e o conforto térmico (satisfação do usuário).

Os climas úmidos apresentam menor exposição ao sol no plano horizontal, devido à nebulosidade, e maiores perdas por evaporação da umidade que cobre o solo. Nas regiões litorâneas próximas ao mar a influência das massas de água influencia nas pequenas variações diárias e anuais de temperatura, originando pequenas oscilações térmicas (Rivero, 1986).

As variáveis climáticas mais intensas no clima quente e úmido são: a precipitação, a radiação solar e a ventilação. As principais recomendações de adequação ao clima são: o uso de fechamentos opacos leves; emprego de tetos altos e grandes aberturas para ventilação (sombreadas); proteção da radiação solar e a preservação dos canais de ventilação do entorno (BUSSOLOTI, 2008).

Segundo Synnefa (2011) as temperaturas das superfícies e as características térmicas dos materiais contribuem significativamente para as condições de conforto térmico do edifício e dos espaços urbanos. De acordo com Gartland (2010) a formação das ilhas de calor ocorre devido à elevada capacidade de absorção de calor das superfícies urbanas das edificações, dos materiais das construções e das vias urbanizadas. A redução da velocidade do vento, a poluição, a impermeabilização do solo, e a redução dos processos de evapotranspiração realizados pela vegetação, reduzem a perda de radiação de onda longa pelas superfícies para a atmosfera.

Givoni (1999) ressalta que a troca constante de energia térmica entre edifício e entorno ocorre em função da característica da envoltória. A absorção da carga térmica é determinada pelas características dos materiais, forma, localização, orientação e tipo de abertura do ambiente.

Conforme Silva e Crisostomos (1989) nas regiões de clima quente o efeito da radiação solar que incide nas paredes aumenta a temperatura interna do ar provocando desconforto térmico nos usuários, este efeito pode ser reduzido com o uso de pintura ou revestimento de baixa absorvância, ou sombreamento, por meio de vegetação ou dispositivos de proteção solar nas superfícies externas ao ambiente, utilizando-se, na estrutura interna da vedação, materiais isolantes e paredes com grande capacidade calorífica, objetivando amortecer a temperatura exterior, além do uso da ventilação.

Na cobertura das edificações a redução da carga térmica pode provir do uso de forro, telhas claras, ou isolantes térmicos e materiais de cobertura com grande inércia térmica (COSTA, 1982).

---

Frota e Schiffer (1999) citam a ventilação como elemento de forte impacto sobre as condições de higiene, dissipando o calor e desconcentrando vapores, fumaças e poluentes, esses fenômenos influenciam na saúde, no conforto e no bem-estar dos ocupantes.

A vegetação também é um elemento que contribui favoravelmente na redução da temperatura (Olgay, 1998). Espécies arbustivas ou arbóreas podem ser usadas no sombreamento de aberturas, ou como proteção solar frente à incidência de sol na fachada, árvores caducas podem sombrear a abertura no verão e permitir a insolação no inverno sem bloquear a luz natural (LAMBERTS, 1997). O uso de plantas com diversas composições de copa, folhagem e altura pode produzir diferentes efeitos de sombreamento em paredes, janelas, pisos, além de pequenos efeitos de sombra nas cobertas.

No estudo sobre as consequências do uso de plantas próximas às edificações, realizado por Givoni (1999), concluiu-se que o sombreamento reduz os ganhos solares, porém proporciona relativos bloqueios ao vento. O uso de trepadeiras nas paredes e arbustos altos próximos à edificação produz sombreamento na fachada e também reduz a velocidade dos ventos incidentes sobre a superfície sombreada. As plantas próximas à edificação podem baixar a temperatura do ar, a condutividade e a infiltração de ar, como também a radiação solar refletida por paredes e pisos. A redução da temperatura do ar próximo à edificação, perante o processo de condensação do ar pelas plantas, tem como consequência a redução do consumo de energia elétrica com os sistemas de condicionamento térmico artificial.

Parker apud Gartland (2010) diagnosticou em estudos realizados na cidade de Miami, que as temperaturas médias de paredes sombreadas com uso de árvores e arbustos atingiam uma redução de temperatura de 13,5°C a 15,5°C. Com o uso de trepadeiras a redução na temperatura das superfícies foi de 10°C a 12°C. Outro ponto observado foi a média diária de consumo de energia elétrica com ar condicionado no período de verão de 5.56Kw. Com o uso do sombreamento proporcionado por plantas neste período o consumo reduziu-se para 2.28Kw. O consumo médio de energia nas edificações apresentou uma redução de 8.65Kw para 3.67Kw, apenas com o uso da vegetação como sombreamento das edificações (Parker, 1983).

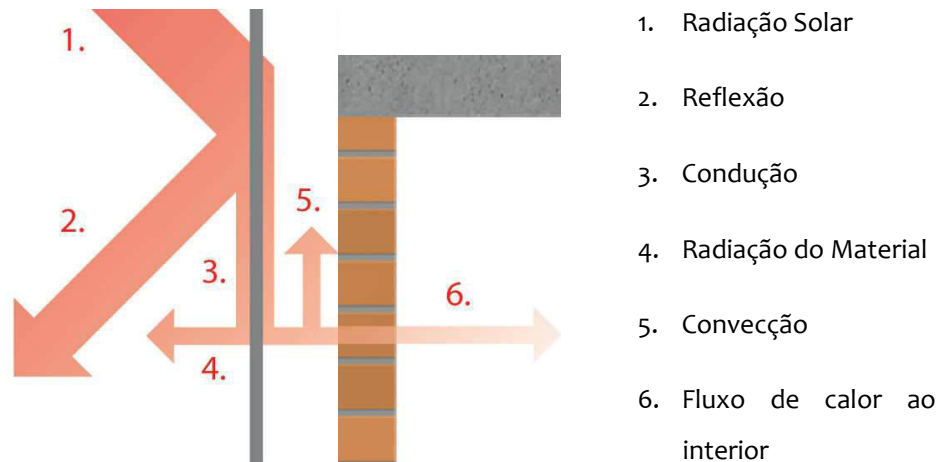
## 2.3 Transmissão de calor nos fechamentos

A diferença de temperatura entre dois espaços tende a passagem de calor<sup>3</sup> de uma região para outra, a esta passagem dá-se o nome de transmissão de calor. As trocas térmicas entre o edifício e o ambiente natural são de dois tipos:

- Trocas Térmicas Secas - que envolvem variação de temperatura por fenômenos físicos de convecção, radiação e condução;
- Trocas Térmicas Úmidas - que ocorrem por processos de evaporação – ambas com o fluxo térmico sempre no sentido da maior para a menor temperatura.

A transmissão de calor por condução se realiza através do contato entre as moléculas ou partículas de um corpo, que se tocam. A convecção acontece quando os corpos estão em contato molecular e um deles é um fluido (líquido ou gás). Na transmissão por radiação parte do calor entre dois corpos se encontram sob uma distância qualquer e se converte em energia radiante até chega ao outro corpo, onde é absorvida (Ver Figura 2).

Figura 2 – Fenômenos de transmissão de calor ocorridos no estudo com as células-teste.



Nas edificações a intensidade das trocas de energia é causada em função da intensidade da radiação solar incidente, das propriedades térmicas dos materiais da envoltória (principalmente condutividade<sup>4</sup> e capacidade<sup>5</sup> térmica), da absorvância<sup>6</sup> dos fechamentos opacos, das

<sup>3</sup> Calor é o estado energético de um corpo que depende da temperatura ou do grau de agitação molecular, aparece em todo o processo de troca ou transformação de uma forma de energia para outra (Riveiro,1988).

<sup>4</sup> A condutividade térmica ( $k$ ) quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica, ou seja, de propiciar calor. Estruturas feitas com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de

temperaturas interna e externa do meio ambiente e da transmitância dos fechamentos transparentes.

As superfícies exteriores da edificação apresentam um aumento de temperatura que depende da quantidade de radiação solar absorvida e dos fenômenos de transmissão do calor por radiação. No intercâmbio de radiação de onda longa entre superfície de fechamento e o meio, a atmosfera sempre terá uma temperatura muito baixa, significando perda de energia em direção ao céu. Nos planos verticais este efeito é compensado pela radiação de onda longa recebida do chão e de outras superfícies (RIVEIRO, 1988).

A variação de temperatura interna da edificação deve-se a fatores como:

- Insolação;
- Calor interno gerado por pessoas e equipamentos;
- Trocas térmicas por transmissão de calor através das superfícies;
- Trocas térmicas de aquecimento ou resfriamento propiciadas pela ventilação.

A intensidade das trocas de energia é causada em função da intensidade da radiação solar incidente, das propriedades térmicas dos materiais da envoltória (principalmente condutividade e capacidade térmica), da absortância dos fechamentos opacos, das temperaturas interna e externa do meio ambiente e da transmitância dos fechamentos transparentes (RIVEIRO, 1988).

A envoltória é formada pelo conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, e outros elementos (Figura 3a), composto de elementos opacos - que absorvem e refletem a radiação - e elementos

---

forma mais rápida e eficiente que estruturas análogas feitas contudo de materiais com baixa condutividade térmica. Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados em dissipadores térmicos e materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamentos térmicos.

<sup>5</sup> Capacidade térmica ou capacidade calorífica ( $c$ ) é o calor necessário para fornecer a um corpo uma determinada variação de temperatura (NBR 15.220).

<sup>6</sup> Absortância ( $\alpha$ ) define-se como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Absortância é a propriedade de um conjunto que compõe uma superfície, enquanto que a Absortividade é a propriedade de um material isolado (NBR 15.220).

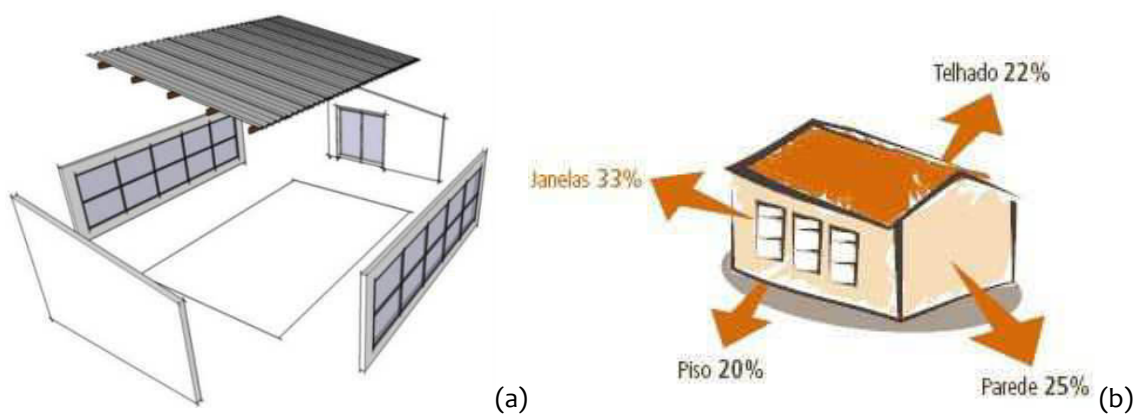


transparentes e translúcidos – que permitem a transmissão direta ou difusa de parte da radiação solar (RTQ-R, 2010).

É através da envoltória que ocorrem as trocas térmicas da edificação com o ambiente externo. Segundo dados do RTQ-R em edificações residenciais essas trocas ocorrem na proporção de 22% pelos planos de cobertura, 25% através dos fechamentos verticais opacos, 33% através dos fechamentos transparentes e 20% por meio do piso (Figura 3b).

O conhecimento sobre o comportamento dos materiais, mais especificamente, sobre as propriedades térmicas como: a absorvância, a emissividade, a condutividade térmica e o calor específico, aliado ao conhecimento do clima, são indispensáveis para o projeto da envoltória capaz de proporcionar melhores condições de habitabilidade da edificação.

Figura 3 – Elementos que compõem a Envoltória e sua contribuição na carga térmica interna



Fonte: RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade de Eficiência Energética para Edificações Residenciais, 2010.

Edifícios de grande altura apresentam em seus pavimentos unidades autônomas com limitada proporção de envoltória exposta à condição climática externa, diferentemente de edificações térreas ou de pouca altura, que agregam os elementos de cobertura e piso da envoltória, expostos às trocas de energia com o ambiente externo.

O balanço de energia de uma edificação depende da radiação solar incidente sobre as superfícies externas, a absorvância das superfícies externas, por sua vez, determina o efeito que a radiação solar terá sobre o desempenho térmico da edificação, porém, este desempenho como controlador das temperaturas internas é variável (GIVONI, 1999).

### 2.3.1 Coeficiente de absorção

A carga térmica dos edifícios é fortemente influenciada pela incidência de radiação solar sobre as superfícies externas, cuja absorção depende de uma propriedade denominada absorptância, ou coeficiente de absorção de uma superfície, definida como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. A absorptância é a propriedade de um conjunto que compõe uma superfície, enquanto que a Absortividade é a propriedade de um material isolado (NBR 15.220).

Para Givoni (1998), a absorptância da envoltória determina o impacto da radiação solar na edificação, pois indica a fração da energia solar absorvida nos planos da envoltória, influenciando no ganho de energia e nas temperaturas internas. Para Rosado e Pizzutti (1997) a partir da escolha da absorptância das superfícies externas das edificações pode-se minimizar gastos excessivos com equipamentos de climatização artificial, racionalizando o uso da energia elétrica. Em inúmeros países leis, normas e diretrizes de eficiência energética determinam ou recomendam o uso de baixos coeficientes de absorptância da radiação como forma de diminuir o ganho de calor, sendo uma eficaz maneira de reduzir custos e consumo de energia com refrigeração nas edificações.

À absorptância associa-se a cor da superfície. As cores refletivas (com baixa absorptância) permitem diminuir o ganho de calor solar mantendo a capacidade da edificação de perder calor rapidamente após o pôr-do-sol (Mulhall; Aynsley, 1999).

Contudo, a escolha da cor no desenvolvimento do projeto deve-se a inúmeros aspectos, frequentemente associados à questões subjetivas e simbólicas que muitas vezes pode contrapor-se aos requisitos de adequação ao conforto térmico (WU, 2008).

Estudos experimentais e simulações por computador demonstram que envoltórias com alta refletância solar podem diminuir a temperatura do ar no interior da edificação. Além disso, o elevado albedo permite diminuir o consumo anual de energia em climas onde predomina o uso intensivo de mecanismos de refrigeração (Taha et al., 1988). Entretanto, o uso intensivo de cores claras, de baixa absorptância, principalmente na envoltória da edificação e no espaço urbano, pode causar a sensação de desconforto visual, como ofuscamento e alta reflexão nos usuários e em edificações vizinhas (SYNNEFA, 2007).

Para Berdhal e Bertz (1997) a economia nos sistemas de ar condicionado é alcançada reduzindo-se a temperatura superficial externa de edificações, que conseqüentemente reduz o fluxo de calor

---

através da envoltória da edificação, através do aumento da refletância solar das superfícies opacas externas da edificação.

Givoni (1981), com estudos realizados em Israel, demonstrou o efeito da absorvância solar da envoltória nas temperaturas internas das edificações. As temperaturas superficiais externas de paredes com alta absorvância foram muito superiores à temperatura do ar no exterior da edificação, indicando o efeito da radiação solar incidente. Já a situação de envoltória da edificação constituída de paredes de baixa absorvância solar apresentou temperaturas de superfície externa próxima à temperatura do ar exterior. Segundo o autor, a diferença de temperatura de paredes com alta absorvância (preto) em diferentes orientações pode chegar até 23°C, enquanto que paredes de baixa absorvância (branco) obtiveram, entre as diferentes orientações da envoltória, temperaturas de superfície externa com diferença inferior a 3°C.

Com os estudos em protótipos, realizados por Bansal, Garg e Kothari (1992), concluiu-se que a absorvância da envoltória tem efeito considerável sobre o comportamento térmico das edificações. Mesmo com trocas de ar, um ambiente pintado de branco externamente (baixa absorvância) apresenta temperaturas mais baixas que o mesmo ambiente pintado de preto externamente (de elevada absorvância). No período de verão essa diferença é de até 7°C, para o inverno, essa diferença pode ser de até 4°C.

Shariah et al. (1998), analisaram o efeito da absorvância solar de superfícies externas de edificações sobre as cargas de aquecimento e refrigeração para o clima de duas cidades na Jordânia: uma com clima moderado e outra de clima quente. Através do uso de programas de simulação computacional analisou-se a variação da absorvância de 0 a 100% para diferentes tipos de paredes. Como principais resultados os autores destacaram que: diminuindo-se a absorvância solar de 100% até 0%, a carga de energia de aquecimento e refrigeração teve um decréscimo de aproximadamente 30% para uma cidade de clima moderado e cerca de 40% para uma cidade de clima quente.

Cheng (2004) apresentou resultados de um experimento realizado em Hong Kong, utilizando-se dois protótipos: um deles pintado de branco fosco - absorvância solar de 25% e o outro, pintado com preto fosco - absorvância solar de 80%. Com os resultados observou-se que, tanto no verão quanto no outono, a temperatura máxima interna no protótipo preto foi cerca de 12°C superior à do protótipo branco. A temperatura do ar no protótipo branco, durante o dia, permaneceu próxima à temperatura do ar exterior, com temperatura máxima interna cerca de 2°C a 3°C superior à externa. Durante à noite, as temperaturas internas nos dois protótipos foram similares.

Um aspecto a ser considerado é a associação entre a absorptância e a cor do material. A cor de um material é determinada pela frequência de onda refletida, ou seja, corresponde às frequências não absorvidas. Segundo Dornelles (2008), utilizar a percepção visual para a identificação do coeficiente de absorção em superfícies, invariavelmente, resulta em valores médios de absorptâncias e refletâncias<sup>7</sup>, que nem sempre correspondem aos valores reais, assim nem sempre uma cor considerada mais clara que outra apresentará baixos valores de absorptância ou refletância, conforme podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de Absortância Solar Publicados Por Diversos Autores

CORES	ABSORTÂNCIA SOLAR ( $\alpha$ )						
	Rivero (1986)	Szokolay (1987)	Mascaró (1991)*	Frota e Schiffer (1995)**	Lamberts, Dutra e Pereira (1997)	ASHRAE (2001)	ABNT (2005b)
<b>PINTURA:</b>							
Escuras	0,85-0,98	---	0,70-0,85	---	0,70-0,90	0,65-0,80	---
Médias	0,65-0,80	---	0,50-0,70	---	0,50-0,70	---	---
Claras	0,25-0,50	---	0,30-0,50	---	0,20-0,50	---	---
Preta	---	0,96	0,92-0,96	0,90-1,00	---	0,85-0,98	0,97
Vermelha	---	---	0,65-0,90	0,30-0,70	---	0,65-0,80	0,74
Amarela	---	---	0,30-0,70	0,30-0,50	---	0,50-0,70	0,30
Branca	---	0,30	0,05-0,15	0,20-0,30	---	0,23-0,49	0,20
<b>TIPO DE SUPERFÍCIE:</b>							
Pinturas betuminosas	0,85-0,98	0,90	---	---	---	---	0,85-0,98
Concreto aparente	0,65-0,70	0,55	0,40-0,75	---	---	0,65-0,80	0,65-0,80
Tijolo cerâmico vermelho	0,65-0,80	0,54	---	0,65-0,80	---	0,65-0,80	0,65-0,80
Telhas de barro vermelho	---	0,65	---	---	---	0,65-0,80	0,75-0,80
Chapas de alumínio novas	0,40-0,65	---	0,30-0,40	---	---	0,40-0,65	0,05
Aço galvanizado (novas)	0,40-0,65	---	---	0,40-0,65	---	0,40-0,65	0,25
Caiação (pintura com cal)	---	---	---	---	---	---	0,12-0,15

Fonte: Dornelles, 2008.

A investigação sobre o efeito da cor da envoltória, com o uso de cores de baixa absorptância na superfície demonstra resultados significativos de redução da temperatura interna na edificação (CHENG, 2005), contudo, apenas o uso de baixo coeficiente de absorção não é suficiente para reduzir a temperatura interna ao nível de conforto térmico humano. Conforme Kolokotroni e Young (1990), quase 70% do desempenho térmico de uma edificação está relacionado às

<sup>7</sup> A capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua refletância, enquanto que a capacidade de absorver energia radiante é indicada pela sua absorptância e, da mesma forma, a capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua transmitância. Certamente um objeto escuro e opaco tem um valor baixo para a refletância, alto para a absorptância e nulo para a transmitância. A refletância, absorptância e a transmitância costumam ser expressas em percentagem (ou por um número entre 0 e 1).

absortâncias e à espessura das paredes da envoltória do edifício, à orientação das aberturas e à possibilidade de sombreamento e à ventilação.

### 2.3.2 Sombreamento

A incidência da radiação solar sobre os edifícios constitui-se como a maior fonte de ganhos térmicos. Para Bonduki (1999) a orientação e especificação de tipologia e dimensionamento de elementos de proteção podem contribuir para a redução do uso dos sistemas ativos (equipamentos de condicionamento artificial).

Labaki e Gutierrez (2007) ressaltam que dispositivos de proteção solar são elementos construtivos que permitem minimizar a carga solar na envoltória da edificação, também servindo para a concepção das fachadas, melhorando o desempenho energético, térmico e luminoso.

Segundo Barker (1998), os sistemas de sombreamento caracterizam e definem a arquitetura do edifício requerendo atenção aos aspectos funcionais e aos aspectos estéticos, forma, geometria e materialidade. Na vertente funcional, o sombreamento procura responder às preocupações ambientais, às exigências arquitetônicas e ao conforto do ocupante.

Givoni (1981) destaca que os sistemas de sombreamento são responsáveis pelo controle térmico; evitam o aquecimento na estação quente e na estação fria permitem a captação dos ganhos solares úteis, assim como, o controle da iluminação, promovendo o equilíbrio entre a captação e difusão do fluxo luminoso. A entrada de luz natural no espaço interior reduz o desconforto visual através do controle da luminância local das superfícies, do contraste e do brilho.

Segundo Fiori (2001), a vegetação é um importante elemento regulador da temperatura urbana, pois absorve grande parte da radiação solar para seus processos biológicos de fotossíntese e transpiração. Conforme estudos realizados na UNICAMP por Gomes e Amorim (2003), a arborização urbana reduz os efeitos da radiação solar direta e oferece melhor conforto térmico ao ambiente. Cinco espécies se destacam por atenuar a radiação solar, a saber:

- sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) com 88,5% de atenuação;
- chuva-de-ouro (*Cassia fistula*) e o jatobá (*Hymenaea courbaril*) com 87,2%;
- magnólia (*Michelia champaca*) com 82,4%;
- ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*) com 75,6%.

### 2.3.3 Material

Os materiais opacos comumente utilizados na envoltória das edificações são distinguidos pelas variáveis: condutividade térmica, capacidade calorífica, resistência térmica, transmitância térmica e atraso térmico (NBR 15.220).

A habilidade dos materiais de conduzir energia térmica, ou seja, de propiciar calor, é quantificada através da condutividade térmica. Estruturas feitas com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida e eficiente que estruturas análogas feitas de materiais com baixa condutividade térmica. Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados em dissipadores térmicos e materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamentos térmicos. A capacidade térmica ou capacidade calorífica é a grandeza física que determina o calor que é necessário fornecer a um corpo para produzir neste uma determinada variação de temperatura. Ela é medida pela variação da energia interna necessária para aumentar em um grau a temperatura de um material (NBR 15.220).

A resistência Térmica é a capacidade dos materiais em reter o calor, quanto maior o valor de "R", melhor o seu desempenho térmico/ isolamento térmico do material. Em oposição, a transmitância térmica é a variável associado ao fluxo de calor que atravessa, em uma hora, um metro quadrado de parede ou vidro, por uma diferença de um grau centígrado, entre as temperaturas de dois ambientes divididos por este mesmo elemento. Enquanto, o atraso térmico indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo (NBR 15.220).

O uso do tijolo em fechamentos opacos é uma prática recorrente no Brasil. Estruturas em concreto armado com fechamentos em alvenaria são comumente empregados em edificações térreas ou multipavimentos. A construção com terra foi largamente utilizada no passado principalmente em decorrência da necessidade de aproveitamento dos recursos naturais. O uso da terra como material de construção promove-se por dois modos: a sobrevivência de sistemas construtivos primitivos, preservados pela carência de recursos de algumas populações ou pelo uso de técnicas inovadoras incentivadas pelas pesquisas em universidades e outras instituições, caracterizadas pela simplicidade, eficácia e baixo custo (BARBOSA E GHAVAMI, 2007).

A principal característica dos fechamentos opacos em alvenaria é a inércia térmica - propriedade associada à quantidade de calor que um corpo pode conservar e a velocidade com que este cede e absorve (calor) do seu entorno. Os blocos de solo-cimento, comparados aos blocos de alvenaria

convencional (tijolo cozido com furos), apresentam alta inércia térmica e apresentam reduzidos picos de calor provindos do meio externo, evitando assim, a influência das grandes oscilações de temperatura externa e o excesso de calor proveniente da exposição ao sol (BARBOSA, 2002).

O solo-cimento trata-se da mistura homogênea de solo, cimento e água, que após compactação e cura úmida, resulta num produto com características de durabilidade e resistências mecânicas definidas. Os solos mais adequados são os solos arenosos, que apresentam uma quantidade de areia na faixa de 60% a 80% da massa total da amostra. O traço, proporção entre solo e cimento, pode variar entre 1:10, 1:12 ou 1:14. Quando este tipo de solo não for encontrado, pode-se fazer uma correção granulométrica no solo, misturando uniformemente e peneirando-os. (BARBOSA, 1996).

No âmbito deste trabalho dois tipos de fechamentos verticais opacos serão utilizados: tijolo comum (6 furos) e tijolo de solo-cimento, em relação às propriedades termofísicas destaca-se na Tabela 2 um conjunto de propriedades termofísicas que caracterizam as principais diferenças entre esses dois sistemas de fechamento vertical.

Tabela 2 – Propriedades termofísicas de alvenarias.

<b>Tipo</b>	<b>Resistência térmica total [(m<sup>2</sup>.K)/W]</b>	<b>Capacidade térmica [kJ/(m<sup>2</sup>.K)]</b>	<b>Transmitância térmica [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>	<b>Atraso térmico (h)</b>
<b>Solo-cimento</b>	0,50	317,21	2,00	7,5
<b>Tijolo comum</b>	0,13	145,00	2,59	4,48

Fonte: Ferreira, 2003.

Conforme Ferreira (2003) dentre as propriedades térmicas do solo-cimento destaca-se a massa específica aparente seca de 1,655 g/cm<sup>3</sup>, condutividade térmica de 0,65 W/(m.K), calor específico de 0,96 kJ/(kg.K), emissividade de 0,85 e absorvância de 0,65.

## **2.4 A Termografia de Imagem em Infravermelho**

Todos os corpos apresentam certa quantidade de energia térmica ou energia interna, a qual chamamos de calor, que se manifesta por movimento das moléculas, átomos e partículas, sendo sempre possível extrair parte de seu calor num processo que pode ser contínuo até chegar a uma temperatura de  $-273^{\circ}\text{C}$ , estado em que o corpo não apresenta calor algum, que chamamos de zero absoluto (OCAÑA, 2004).

O calor tem a particularidade de transmitir sempre do corpo mais quente para o mais frio, sendo apenas possível opor-lhe resistências de eficácia variável nunca impedindo a total transmissão. Diversas são as fontes como a radiação solar, o próprio corpo humano ou qualquer aparelho gerador de calor (MEOLA *et al*, 2005).

As fontes de energia radiante são o sol, cuja radiação chega a Terra com comprimento de onda compreendida na faixa de 0,3 e  $3\mu\text{m}$ , esta última situada dentro das radiações visíveis, nos permite comprovar a adaptação de nossos olhos aos comprimentos de onda de maior conteúdo energético do sol, o qual favorece a visão (GIRIDHARAN *et al*, 2007).

O espaço que nos rodeia está carregado de energia radiante, já que todos os corpos possuem energia interna e tem a propriedade de transformá-la parcialmente em ondas eletromagnéticas, que se propagam em todas as direções e seguem as leis da ótica. Ao chegar a um corpo são absorvidas, refletidas ou transmitidas. Todos os elementos do ambiente, paredes, piso, teto, equipamentos, árvores, terra e edifícios emitem radiação, e toda a energia radiante absorvida por um corpo se transforma em calor (GUERRERO *et al*, 2005).

Normas internacionais relativas ao consumo de energia dos edifícios têm desenvolvido parâmetros, como o coeficiente de perda de calor através da envoltória, avaliado por métodos prescritivos. Porém existe uma grande diferença entre o desempenho previsto por meios prescritivos e os aferidos na envoltória da edificação. Até agora, o único método aceito pelos padrões internacionais é o Medidor de Fluxo de Calor (MFC), que apresenta algumas restrições e incertezas nos resultados. Assim estudos apontam o uso de um método mais rápido e menos invasivo, como a técnica de Termovisão Infravermelha (TI), sendo possível investigar dados quantitativos da real transmitância térmica da envoltória do edifício, realizando uma avaliação do desempenho térmico e energético do edifício. (OCAÑA, 2004; ALBATI, 2010).

A termografia de imagem em infravermelho também é aplicada no monitoramento dos edifícios históricos na área de restauração arquitetônica, utilizada para detectar falhas, avaliando



---

condições da estrutura interna das paredes, do estado do acabamento e a presença do excesso de umidade (GRINZATO, 2002).

Uso da termografia infravermelha na inspeção não destrutiva da performance dos elementos da edificação, com ganhos e perdas de energia, dado pela envoltória, apresenta dados de claridade das aberturas e os ganhos de calor, ventilação, além de diagnosticar problemas nas instalações elétricas, mecânicas e de condicionamento de ar, provendo inspeção quantifica, prevenindo ou minimizando o potencial risco de falha. (BALARAS, 2002)

A termografia infravermelha é uma tecnologia de ensaios não-destrutivos que pode ser aplicada para determinar a temperatura superficial dos objetos, criando uma imagem térmica da distribuição de temperatura na superfície. Porém a aplicação dos materiais de construção não tem sido muito estudada, e os parâmetros para as medições não são completamente entendidos, sendo a interpretação dos resultados sendo difícil e confusa. (BARREIRA, 2007)

A precisão da medição termográfica na ausência de ventos fortes e de radiação solar é um fato reconhecido; à noite, a confiabilidade dos resultados de uma câmera de infravermelho é melhor do que durante o dia, porque a diferenças de temperatura associadas as variáveis estudadas são menores (OCAÑA, 2003).

## 2.5 Equações estimativas de temperatura interna

O uso de protótipos em escala reduzida para avaliação do desempenho de sistemas e materiais construtivos ocorre desde a Segunda Guerra Mundial, conforme citado por Littler (1993), tendo sido de fundamental importância na avaliação de materiais e soluções não convencionais. Equações para estimativa de temperaturas internas podem ser desenvolvidas através do uso de protótipos (GIVONI, 1999; ABREU, 2004; CHENG, 2005; FERNANDES, 2005, KRUGER, 2007; LIMA, 2009 e LAROCA, 2011).

Equações para estimativa de temperaturas internas tem diversas aplicações, destacando-se a previsão das condições de conforto térmico e o consumo de energia com condicionamento artificial. Fernandes (2005) comparou diferentes métodos (método de regressão múltipla, método dois períodos e método duas regressões) de gerar equações preditivas. O autor verificou os erros de temperaturas estimadas com temperaturas monitoradas, conferindo variáveis como a inserção do coeficiente de variação da temperatura externa na confiabilidade das estimativas.

Conforme Fernandes (2005) destacam-se três métodos de estimativa das temperaturas internas:

*“O Método de Regressão Múltipla tem como vantagem a aplicação da equação para todo o ano, e oferece melhores resultados quando se trata de calcular a temperatura interna mínima. Porém, a necessidade de calcular  $\Delta T_{\text{Geral}}$  (Média da temperatura máxima global interna com a temperatura média global externa) complica o método em relação aos demais, a obter neste caso uma equação única de temperatura interna mínima ou máxima” (FERNANDES, 2005).*

O segundo método, considerado o mais usual por Fernandes (2005), é:

*“O Método Dois Períodos utiliza a regressão linear simples, utilizando boas variáveis explicativas, como por exemplo, para explicar o desconforto no período do inverno, utiliza-se a temperatura mínima externa diária do inverno, produzindo melhores resultados sem necessitar utilizar a mínima de verão, como ocorre em outros métodos, mas o grande número de equações geradas dificulta o uso, pois gera maior número de cálculos” (FERNANDES, 2005).*

Por último e, considerado por Fernandes (2005), o método mais complexo:

*“O Método das Duas Regressões é o método mais complexo, apresenta dados estimados muito próximos dos dados medidos, não constitui um único método, pois*

envolve a regressão múltipla com 3 variáveis explicativas para gerar a equação de temperatura” (FERNANDES, 2005).

Aplicando-se o método de regressão múltipla em duas células-teste de diferentes materiais de vedação (Figura 4), Fernandes (2005) verificou que a célula-teste de tijolo cerâmico apresentou a temperatura média interna bem correlacionada com a temperatura média externa, assim como, no bloco de concreto celular, os índices de correlação apresentados na tabela 3 apontam a temperatura média externa como explicativa para a temperatura interna. Edificações de menor inércia térmica possibilitaram melhores resultados, visto a aproximação da temperatura máxima medida com a temperatura externa.

Figura 4 – Bloco de Tijolo Cerâmico e Bloco de Concreto Celular



Fonte: Teste com protótipos experimentais, Fernandes, 2005.

Tabela 3 – Correlação entre as temperaturas medidas e temperaturas estimadas

TIPOLOGIA	EQUAÇÃO							
	Ti min		Ti med		Ti max1		Ti max2	
	R <sup>2</sup> inverno	R <sup>2</sup> verão	R <sup>2</sup> inverno	R <sup>2</sup> verão	R <sup>2</sup> inverno	R <sup>2</sup> verão	R <sup>2</sup> inverno	R <sup>2</sup> verão
Tijolo Cerâmico	0,92	0,83	0,92	0,90	0,78	0,75	0,92	0,90
Concreto Celular	0,85	0,78	0,82	0,86	0,86	0,89	0,75	0,81

Fonte: Fernandes, 2005

Através da aplicação de equações de regressão linear Givoni (1999) realizou uma pesquisa de 18 meses no período de 1993 a 1994, averiguando o efeito da massa térmica e da ventilação noturna na redução das temperaturas internas durante o dia.

O experimento utilizou dados de temperatura e radiação solar para a predição das temperaturas internas em edificações na cidade de Pala, Califórnia. Duas edificações com mesmo coeficiente de

perda de calor, com área de 23m<sup>2</sup>, com altura interna de 2,40m e abertura de janelas de 4,60m<sup>2</sup> distribuídas igualmente entre as quatro paredes foram utilizadas na pesquisa.

O estudo foi desenvolvido em protótipos pintados de cor clara (absortância de 0,2) e cor escura (absortância de 0,6), com janelas abertas e fechadas, sombreadas e não sombreadas, utilizando-se a ventilação mecânica com 30 e 50 trocas de ar por hora à noite, configurando sete situações distintas, relacionando-as por correlação estatística.

Conforme Givoni (1999) os dados de temperatura medidos tiveram alta correlação com os dados de temperatura estimados, verificando-se que a adição de dados referentes à radiação solar não melhorou o coeficiente de correlação entre temperaturas medidas e estimadas. Como resultado foi verificado que é possível estimar a performance térmica da edificação em relação ao clima, baseado em dados de média das temperaturas diárias.

Acerca destas observações foi expressa a fórmula preditiva geral:

$$T_{\max} = GT_{\text{med}} + \text{DelT} + k \times (T_{\text{med}} - GT_{\text{med}}) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$T_{\max}$  – Temperatura interna máxima do dia;

$GT_{\text{med}}$  – Média global das temperaturas externas;

$\text{DelT}$  – Média da temperatura máxima interna com a temperatura média externa. Estes valores dependem da massa, sombreamento e condições de ventilação;

$T_{\text{med}}$  – Temperatura média externa do dia;

$k$  - Razão entre as taxas de variações diárias da temperatura máxima interna e a taxa de variação da temperatura média do ar externo, variando conforme o nível de massa térmica da edificação.

As variações de  $k$  e  $\text{DelT}$  representam as características térmicas da edificação, sombreamento, cor da envoltória, massa térmica da edificação e taxa de ventilação noturna.

Para os experimentos realizados por Givoni (1999) pode-se concluir que a estrutura material de alta massa, como concreto e tijolos em diferentes formas, e a ventilação natural noturna podem oferecer meios de resfriamento. Em regiões de clima árido e deserto, especificamente em Israel, a alta temperatura no verão, confere um aumento de 10°C na temperatura interna máxima. Devido ao extremo calor diurno é recomendável nestas regiões apenas a ventilação durante a noite. Para que a ventilação possa ser aproveitada para o resfriamento do ambiente foi estabelecido um

---

limite de 30°C na temperatura externa, com valores superiores a este, a ventilação deve ser controlado, pois pode provocar o aquecimento no interior da edificação.

Pesquisas realizadas em protótipos não ocupados, o controle sobre a edificação (abertura de janelas e portas, e sombreamento) é constante, em edificações ocupadas moradores tem a liberdade de alterar as condições ambientais mediante necessidades e desejos. O estudo de Kruger e Givoni (2008) foi realizado em 18 residências ocupadas, elaborando modelos de regressão linear para estimar a temperatura interna de 06 destas casas, tentando correlacionar a temperatura máxima interna com as características termo físicas: transmitância de paredes, transmitância de cobertura, transmitância equivalente (produto da transmitância pela área do componente), atraso térmico, atraso térmico equivalente da casa, fator solar e a proporção de área de abertura pela área de piso das casas.

Com os resultados os pesquisadores obtiveram um valor de  $R^2 < 0,7$  para a relação das características termo físicas das residências com a temperatura máxima interna, sugerindo que a interferência decorrente da ocupação da residência pode ter maior efeito na temperatura interna que as características termo físicas. No entanto, a pesquisa também revelou boa concordância entre as temperaturas medidas e estimadas para as habitações em estudo.

Kruger e Givoni (2008) também compararam os resultados das equações preditivas com resultados de simulação realizados pelos softwares COMFIE e ARQUITROP, demonstrando que as equações preditivas apresentaram resultados satisfatórios. Comparando-se os dados medidos e estimados observou-se diferenciações de temperatura superior em 4°C.

A pesquisa realizada por Kruger (2008) durante um ano em quatorze casas, construídas com diferentes materiais por diferentes construtoras, na Vila Tecnológica de Curitiba consistiu em estimar a temperatura interna horária máxima, média e mínima diária a partir das temperaturas medidas em curtos períodos (ver Tabela 4).

Tabela 4 – Diferença entre os valores medidos e valores estimados pelas equações preditivas.

Construtora	Temp. máxima	Temp. média	Temp. mínima
MLC	-0,7 a 3,0°C	-0,1 a 2,1°C	-1,4 a 2,5°C
Batistella	-1,2 a 2,7°C	-0,5 a 2,2°C	-1,4 a 2,8°C
Kuerten	-1,1 a 1,9°C	-0,5 a 2,3°C	-0,4 a 3,0°C
Constroyer	-0,2 a 3,0°C	-0,5 a 2,8°C	-1,5 a 2,9°C
Andrade Gutierrez	0,5 a 3,1°C	0,5 a 3,0°C	-0,6 a 3,9°C
Todeschini	-2,3 a 2,1°C	-1,4 a 1,2°C	-2,2 a 1,9°C
ABC	-2,2 a 3,4°C	-0,5 a 2,0°C	-0,6 a 2,4°C
Eternit	-1,9 a 2,5°C	-0,7 a 2,5°C	-0,1 a 2,9°C
Facicasas	-0,8 a 2,1°C	-1,0 a 1,7°C	-2,2 a 2,1°C
Paineira	0 a 3,5°C	0,4 a 2,9°C	-0,5 a 3,5°C
Cohab-Pará	-0,7 a 4,4°C	0,1 a 2,7°C	-1,2 a 3,5°C
Castellamare	-2,2 a 4,7°C	-0,4 a 2,6°C	-1,1 a 3,2°C
Tetolar	-0,3 a 3,2°C	-0,6 a 2,5°C	-0,3 a 3,2°C
CHJ	0,1 a 5,1°C	0 a 2,6°C	-1,3 a 2,6°C

Fonte: Kruger, 2008.

Para Abreu (2004) a determinação da equação estimativa é representativa de determinado ambiente, perante a presente ocupação e tipo de clima, e cada equação representa a assinatura térmica daquele ambiente. As equações estimativas de temperatura interna podem ser determinadas a partir de dados de temperatura de dois meses, desde que o período de medição possuam temperaturas externas de dias típicos de inverno e verão no nível de 10%.

No cálculo das correlações das temperaturas internas: máxima, média e mínima, opta-se pela equação com forte correlação ( $R > 0,8$ ), pois um  $R = 0,8$  corresponde a um coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,64, que significa uma equação estimativa que explicaria apenas 64% da variação da temperatura interna (ABREU, 2004).

A relação entre a temperatura medida e a estimada para a temperatura horária máxima variou de 0,8°C à 2,9°C; para a temperatura média a faixa de valores foi de 0,6°C à 1,8°C, e para a temperatura mínima os valores foram de 1,0°C à 2,0°C (ABREU, 2004).

No estudo referente a diferentes níveis de massa térmica Ogoli (2002) monitorou a temperatura em quatro células-teste durante o período de aquecimento de janeiro e março de 1997, em José Rodrigo Viana Monteiro

Nairobi no Quênia. Duas células-teste apresentavam envoltória de pedra, enquanto outras duas apresentavam vedação em painéis de madeira. Duas coberturas das células-testes eram de telha de concreto, enquanto outros dois exemplares apresentavam telha de chapa leve ondulada galvanizada.

As células-teste com elevada massa térmica apresentaram-se eficientes, com temperaturas máximas internas abaixo da máxima externa, observando-se em um dia quente temperatura exterior de mais de 33°C, sendo a máxima interna de 25,4°C. A equação preditiva da temperatura interna máxima em relação às temperaturas medidas apresentaram variação de 2°C à 3°C, apresentando boas estimativas dos dados (OGOLI, 2002).

Cheng e Givoni (2005) desenvolveram estudos em células-teste de dimensão reduzida para apresentar uma investigação acerca do efeito da cor e da massa térmica que compoem a envoltória no papel de reduzir as temperaturas máximas internas (Figura 5).

Figura 5 – Células-testes empregadas no estudo da cor e massa térmica da envoltória

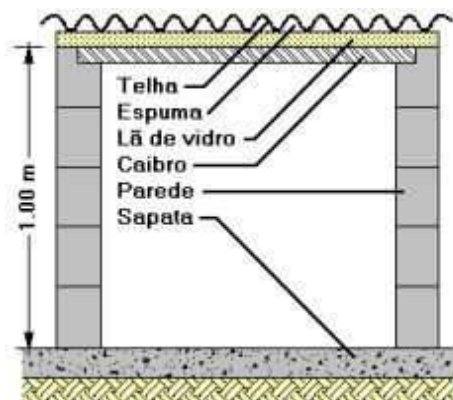


Fonte: Cheng e Givoni, 2004.

Com o intuito de reduzir os ganhos de calor pela envoltória a partir dos dados de absorvância das cores, o experimento buscou a análise individual de cada célula-teste na condição variável de envoltória com diferentes níveis de absorvância (figura 5). Como resultado, foi verificada a sensibilidade que a envoltória apresenta perante a cor empregada na envoltória, demonstrando que a aplicação de cores leves é um meio simples de reduzir as temperaturas internas em condição de clima quente e úmido. A massa térmica também é um meio eficiente de controle da absorção e ganhos de calor dados pela radiação solar.

Roriz e Kruger (2005), partindo de estudos realizados por Givoni, aplicaram o método de previsão de temperatura mínima e máxima para análise térmica em protótipos experimentais (Figura 6).

Figura 6 – Corte esquemático da estrutura das células-teste concebidas por Kruger e Roriz

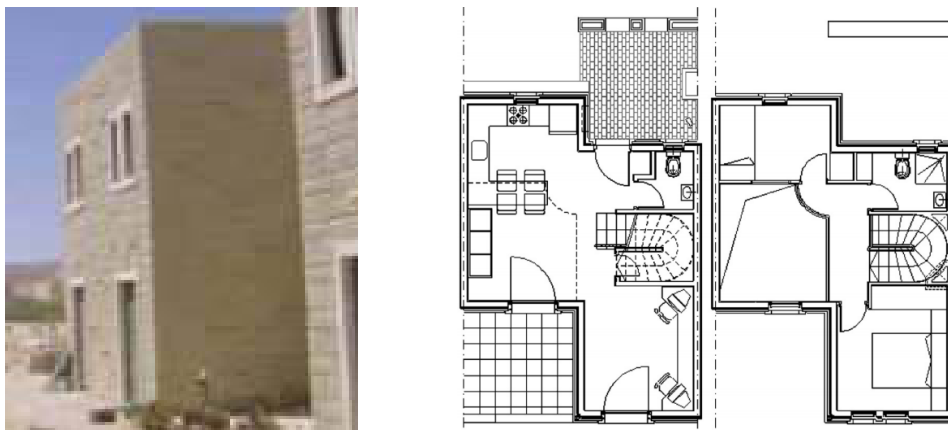


Fonte: Roriz e Kruger, 2005.

Neste estudo foram construídas três células-teste com  $1,00\text{m}^3$  de volume interno (Figura 6), sendo um exemplar confeccionado com blocos de tijolo cerâmico, outro de concreto celular, e um terceiro de bloco de concreto, oferecendo resultados bastante satisfatórios, com coeficientes de correlação na faixa de 0,98, com equações preditivas possibilitando estimar as temperaturas internas ao longo do dia (RORIZ E KRUGER, 2005).

Givoni e Kruger (2007) realizaram estudo de predição de temperatura em uma residência de dois pavimentos em Israel, com análise térmica a partir de equações preditivas de temperatura interna. Os dados das variáveis externas foram obtidos de uma estação meteorológica, observando-se uma variação  $9^{\circ}\text{C}$  nas temperaturas externas, enquanto nas temperaturas internas esta oscilação foi de apenas  $2^{\circ}\text{C}$  (ver Figura 7).

Figura 7 – Edificações utilizadas na análise de ambientes com alta massa térmica na envoltória



Fonte: Givoni e Kruger, 2007.



O uso da equação preditiva de temperaturas máximas, médias e mínimas foi fundamental para análise da geometria da construção de vedações em pedra (GIVONI E KRUGER, 2007).

Lima (2009) através da análise de regressão múltipla verificou o comportamento térmico do ar interno de uma edificação com paredes compostas por painéis de concreto alveolar e laje com sistema de cobertura verde (ver Figura 8).

Figura 8 – Protótipo com cobertura verde



Fonte: Lima, 2009.

Como resultado, foram geradas sete equações preditivas de temperatura interna para o período seco, e cinco equações preditivas de temperatura interna para o período chuvoso, com diferenças máximas entre as temperaturas estimadas e medidas de aproximadamente 2°C, com coeficiente de correlação superior a 0,75, descrevendo satisfatoriamente o comportamento térmico da edificação.

Kruger, Givoni e Laroça (2011) realizaram análises térmicas em um protótipo com vedações em painéis de madeira, na cidade de Canoinhas, Brasil. Os modelos de regressão para estimar a temperatura interna foram concebidos para os vários cômodos do protótipo (ver Figura 9).

Figura 9 – Protótipo com vedações em painéis de madeira



Fonte: Kruger, Givoni e Laroca, 2011.

Os resultados desta pesquisa comprovaram a rápida resposta das variações ambientais a este tipo de construção leve. Neste experimento dados de radiação solar foram utilizados na concepção das equações preditivas de temperatura interna de cada cômodo, sendo a orientação dos cômodos uma importante variável para as condições térmicas do ambiente.

## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Neste capítulo será detalhado o procedimento adotado na análise sobre a transmissão de calor em fechamentos opacos, tendo como base metodológica o experimento realizado por Givoni em 1991, que investigou a carga de temperatura interna em diferentes condições de envoltória de células-teste<sup>1</sup>.

Neste experimento foi determinado um período de registro de dados correspondente a um mês do trimestre mais quente (Dezembro), e outro período com dados referente ao mês do trimestre mais frio (Julho). A construção dos dados desenvolveu-se através de medições simultâneas de temperatura do ar no espaço interno de seis células-teste e temperatura externa ao ar livre, em intervalos de uma hora, em 15 dias consecutivos, para os meses característicos de inverno e verão do local.

Após a coleta dos dados de temperatura interna e externa e o tratamento do conjunto de dados de cada célula-teste (amostra) foram realizadas observações no comportamento térmico interno através da construção de gráficos e de análise estatística, tendo como foco as variáveis: coeficiente de absorção da envoltória vertical, o sombreamento e o tipo de material dos fechamentos verticais.

A pesquisa também compreendeu o monitoramento das temperaturas superficiais da envoltória vertical opaca utilizando-se uma câmera termográfica.

### **3.1 Projeto das Células-Teste**

As células-teste foram construídas no Nucleo de Pesquisas em Processamento de Alimentos – NUPPA, centro de pesquisa suplementar da UFPB, pertencente ao Campus I localizado a 10 km de distância do campus central. Optou-se por adotar esse local devido a ausência de espaço livre no Campus I, onde se localiza o Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da UFPB. A área destinada ao estudo compreende um espaço livre de 20 x 60 metros, reservada exclusivamente para a referida pesquisa.

---

<sup>1</sup> Segundo Cheng (2004) as células-teste correspondem a modelos em escala reduzida, opção utilizada pela ausência de recursos financeiros para pesquisas que teve origem no período pós-segunda guerra mundial.

O desenvolvimento da pesquisa iniciou com a execução de seis células-teste de alvenaria com cobertura em fibrocimento, similares às pesquisas realizadas por Givoni (1991), Krüger (2002) e Cheng (2004). Essas células-teste foram dispostas sob as condições climáticas da atmosfera natural, interagindo com as variações climáticas externas (chuva, alterações na condição de céu, amplitude térmica, etc) que possibilitou a observação da influência do coeficiente de absorção, da massa térmica e do sombreamento da envoltória sobre a temperatura interna.

As células-teste foram construídas com dimensões internas de 1,00 x 1,00 x 1,00 metro (largura, profundidade e altura), conforme Figura 10 - Planta Baixa e Figura 11 - Corte, sendo perfiladas em pares lado a lado com afastamento de 2,70 metros.

Figura 10 – Planta Baixa Célula-Teste

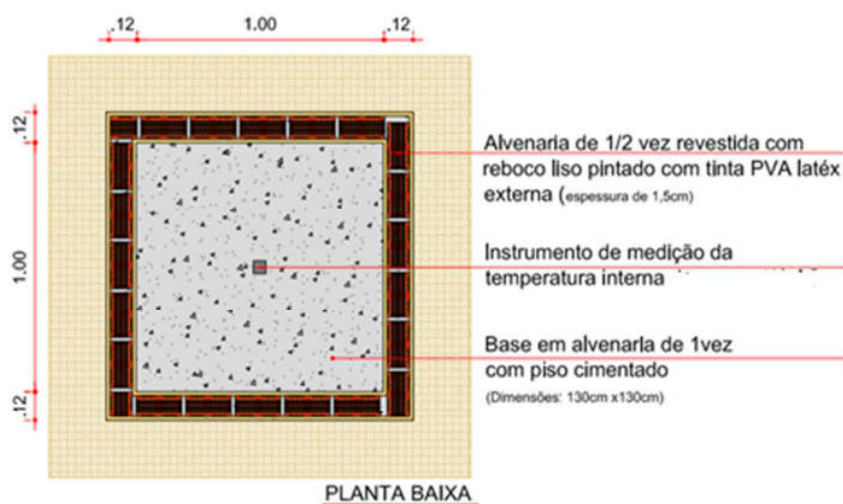
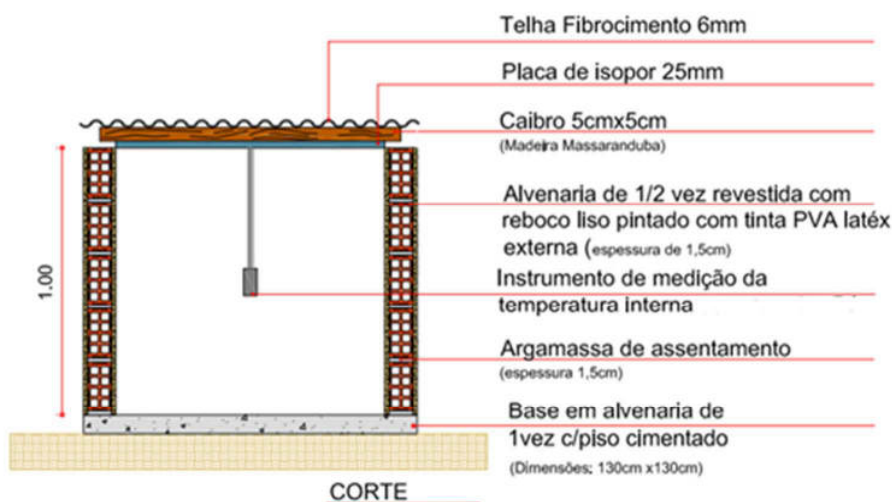


Figura 11 – Corte Célula-Teste



Foram executadas seis células-teste, sendo quatro em tijolo cerâmico de oito furos, com largura de 12 cm, rebocado internamente e externamente com argamassa de cimento, cal e areia no traço 1:2:8, com espessura do reboco de 1,5cm. Posteriormente essas unidades foram pintadas com tinta PVA latex. Para complementar a pesquisa duas unidades em alvenaria não convencional foram construídas utilizando-se blocos de solo-cimento, moldados com prensa manual *GEO-50* no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – LABEME. Como etapa da construção dos protótipos em solo-cimento foram moldados 320 blocos de solo com traço de cimento e barro 1:10, sendo estes assentados com argamassa de cimento, cal e barro no traço 1:1:10 conforme procedimento de execução proposto por Perazzo (2000).

Figura 12 – Maquete Eletrônica da proposta para as células-teste



A análise da absorvância da superfície foi construída a partir da execução de dois protótipos pintados com cor branca e outros dois protótipos pintados na cor preta, enquanto os protótipos em solo-cimento não receberam qualquer tipo de acabamento.

A variável sombreamento foi inserida a partir da construção de uma envoltória com estrutura de madeira e tela de sombreamento afastada a 30 cm da alvenaria do protótipo. A tela de tecido plástico trata-se de uma malha aberta, chamada sombrite, com fator de sombreamento de 50% (ver Figura 13).

Figura 13 – Células-teste com a simulação do efeito de sombreamento de 50% na envoltória.

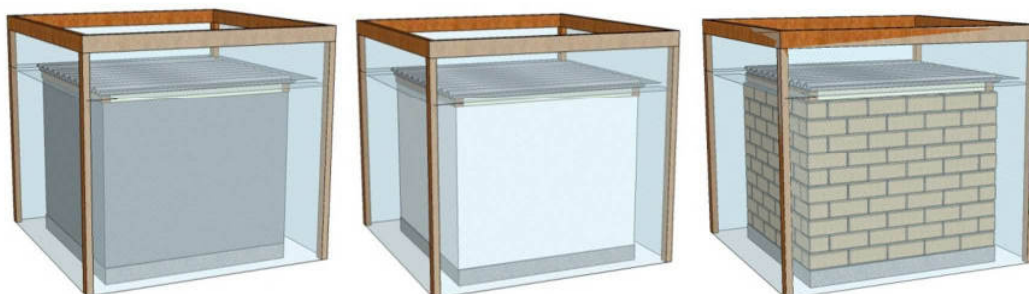


O sistema de sombreamento foi instalado em três células-teste: a primeira com a superfície externa pintada na cor branca; a segunda com o revestimento externo na cor preta e, por fim, um

terceiro protótipo construído com solo-cimento aparente (sem pintura). Os protótipos nestas condições foram considerados sombreados (ver figura 14).

A cobertura de todos os protótipos é igual: telha de fibrocimento com 6 mm de espessura na cor original e placa de isopor ou EPS interna com 100 x 100 x 2,5 cm, disposta abaixo da coberta.

Figura 14 – Maquete eletrônica dos protótipos com o sistema de sombreamento investigado



As células-teste foram analisadas segundo as características de sombreamento, absorvância da superfície e tipo de material de vedação empregado nas alvenarias com as devidas correlações estatísticas para determinar qual meio empregado obteve melhor desempenho termico analisando-se estas condicionantes de envoltória isoladamente.

Figura 15 – Maquete eletrônica da disposição das células-teste para execução



Posicionadas sob orientação sul, conforme mostra a figura 15, os protótipos foram enumeramos respectivamente com as seguintes características construtivas:

1. Célula-teste de envoltória com acabamento externo de alta absorvância (pintada de preto), denominada de célula P. Construída em alvenaria convencional com tijolo cerâmico de 8 furos, rebocada com argamassa de cimento, areia e cal no traço 1:2:8 com espessura de 1,5cm, assentado com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 com espessura de 1cm. Com pintura das paredes externas em tinta PVA latéx para parede interna e externa na cor preto, e pintura das paredes internas com tinta PVA latéx externa e interna na cor branco neve. Para o fechamento superior dos protótipos foi utilizada uma placa de isopor ou EPS de 100 x 100x 2,5cm abaixo da cobertura de telha fibrocimento, com 6mm de espessura na cor natural (ver Figura 16);

Figura 16 – Célula-teste P



2. Célula-teste de envoltória com acabamento externo preto e sombreamento (sombrite com fator de sombreamento 50%), denominada de PS. Possui as mesmas características construtivas utilizadas no P1, com a adição do sistema de sombreamento (Figura 17);

Figura 17 – Célula-teste PS



3. Célula-teste de envoltória com acabamento externo de baixa absorção (pintada de branco), denominada de célula B. Construída em alvenaria convencional com tijolo cerâmico de 8 furos, rebocada com argamassa de cimento, areia e cal no traço 1:2:8 com espessura de 1,5cm, assentado com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 com espessura de 1cm. Com pintura das paredes externas em tinta PVA latéx para parede interna e externa na cor branco neve, e pintura das paredes internas com tinta PVA latéx externa e interna na cor branco neve. Para o fechamento superior dos protótipos foi utilizada uma placa de isopor ou EPS de 100 x 100 x 2,5cm abaixo da cobertura de telha fibrocimento, com 6mm de espessura na cor natural (ver Figura 18);



Figura 18 – Célula-teste B



4. Célula-teste de envoltória com acabamento externo de baixa (branco neve) e sombreamento (sombrite com fator de sombreamento 50%), denominada de BS. Possui as mesmas características construtivas utilizadas no protótipo B, com a adição do sistema de sombreamento (Figura 19);

Figura 19 – Célula-teste BS



5. Célula-teste de envoltória com vedação de solo-cimento, denomina de S (ver Figura 20) - Protótipo em alvenaria de blocos de solo-cimento com dimensões de 12x25x10cm, executado com cimento e argila no traço 1:10 em prensa manual, assentado com argamassa de cimento e argila no traço 1:10 fluida. Cobertura com fibrocimento de 6 mm e placa de isopor (EPS) de 100 x 100 x 2,5cm;



Figura 20 – Célula-teste S



6. Célula-teste de envoltória com acabamento externo em solo-cimento e sombreamento (sombrite com fator de sombreamento 50%), denominada de SS. Possui as mesmas características construtivas utilizadas no protótipo S, com a adição do sistema de sombreamento (Figura 21);

Figura 21 – Célula-teste SS



Todas as células-teste foram orientadas na mesma posição, para que a insolação seja similar. . Nas figuras 22 à 25 pode-se observar a simulação da insolação sobre os protótipos em análise. O estudo da insolação sobre os protótipos foi realizado com o programa Sketchup.

Figura 22 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 8:00 a.m. do dia 03/07



Figura 23 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 16:00 p.m. do dia 03/07



Figura 24 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 8:00 a.m. do dia 03/12



Figura 25 – Maquete eletrônica simulando a trajetória solar às 16:00 p.m. do dia 03/12



### 3.2 Monitoramento das variáveis climáticas

O monitoramento das variáveis climáticas externas: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa do ar e radiação solar foi registrado com uma mini-estação meteorológica da marca Davis Pro-Plus2 (Figura 26). Os registros foram armazenados em intervalos de uma hora.

Figura 26 – Mini-estação meteorológica Davis Pró-Plus 2



Fonte: Davis, 2009.

No interior das células-teste foram monitoradas: a temperatura do ar e a umidade relativa. Os sensores utilizados, com armazenador de dados (datalogger) interno, são da marca Instrutherm HT-500 (Figura 27). Um sensor foi instalado no centro geométrico de cada protótipo (a 50 cm de distancia de paredes e piso). Os dados foram registrados em intervalos de uma hora.

Figura 27 – Data Logger



Fonte: Instrutherm, 2010.

A medição das temperaturas superficiais foi com o uso de uma câmera termográfica, da marca FLIR modelo B400, que registra imagens térmicas (figura 28). A câmera de termografia é um dispositivo que detecta a energia infravermelha (calor), produzindo imagens e executando cálculos de temperatura. A câmera infravermelha não mede a temperatura, realiza o calcula da

mesma, com base na radiação emitida pelos corpos e informações fornecidas ao equipamento, visando compensar falhas que podem afetar os valores, em especial a emissividade. A câmera capta a radiação infravermelha emitida pela superfície convertendo-a em sinais elétricos, criando uma imagem térmica com gradiente de temperatura (Barreira, 2007).

Figura 28 – Câmera Termográfica B400



Fonte: Flir System, 2009.

Conforme estudos realizados por Marinowski (2010), informações do ambiente e da superfície a ser analisada, são necessárias antes das medições (dados de entrada), estes são definidos pelo operador, como a emissividade e a temperatura refletida.

A emissão da radiação eletromagnética depende de uma propriedade chamada emissividade ( $\epsilon$ ), que indica a capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação a um corpo negro (Avdelidis, Moropoulou, 2003) e apresenta valores na faixa de 0 à 1. Superfícies com baixos valores de emissividade, próximos a 0 (zero) são altamente refletoras, enquanto valores próximos a 1 são perfeitos emissores. O outro dado de entrada é a Temperatura refletida ( $T_r$ ), parâmetro que serve para compensar a radiação emitida pelo objeto e a radiação emitida pela atmosfera.

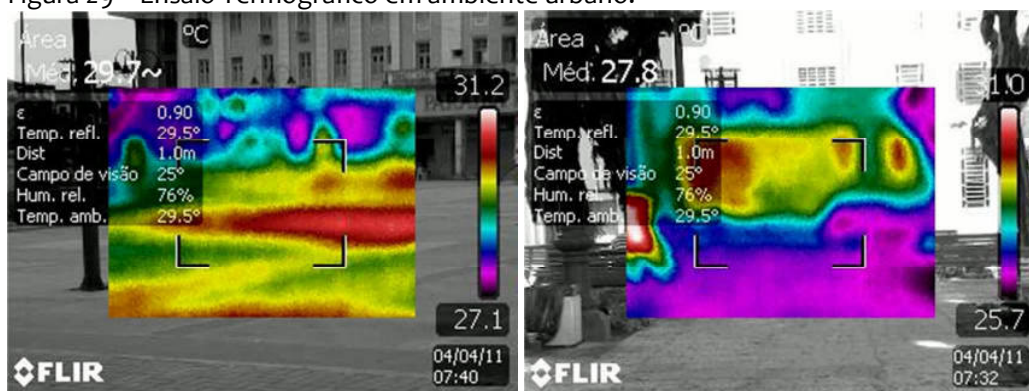
Nos testes realizados por Marinowski (2010), para identificar o ajuste simplificado da Temperatura refletida ( $T_r$ ) durante medições em campo, diagnosticou-se ser aconselhável aplicar a esta variável o mesmo valor da Temperatura do ar ( $T_a$ ). A maioria dos materiais de construção apresentam valores de emissividade de 0,90 a 0,95, o que torna possível obter-se corretos valores de temperatura (Ocaña, 2004).

Na realização dos testes termográficos algumas recomendações são importantes: a) deve-se evitar a exposição da direção da lente diretamente à radiação solar; b) a velocidade do vento deve ser menor que 1m/s, a fim de evitar que o processo de convecção causado pela ventilação natural

na superfície altere os resultados no momento do registro da imagem; c) deve-se evitar registros em períodos com fortes chuvas, devido a ausência de diferenças de temperatura superficial e temperatura do ar nestas condições (Albatici, Tonelli, 2010).

Testes realizados com a câmera termográfica apresentaram resultados satisfatórios de interpretação de imagens em horários específicos, como no início da manhã, por volta das 8:00 h, e o período próximo ao final da tarde, entre 15:00 h e 16:00 h (apresentada respectivamente na Figura 29). Essa constatação coincide com as recomendações de outros autores, que indicam horários de início e final do dia para medições com a câmera termográfica (Ocaña, Guerreiro, Requena, 2004). Seguindo essa recomendações, as medições com a câmera termográfica foram realizadas no período de início e final do dia, durante duas semanas do dia 07 ao dia 16 de julho de 2011.

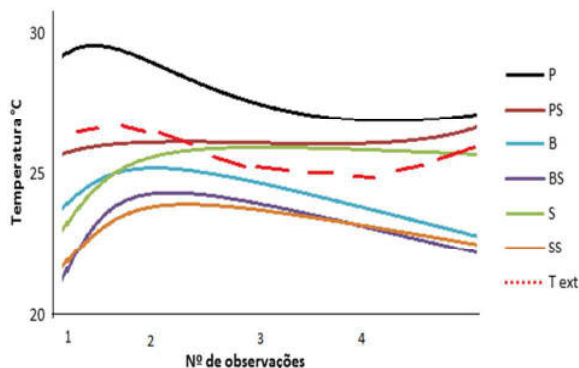
Figura 29 – Ensaio Termográfico em ambiente urbano.



### 3.3 Tratamento dos dados

Primeiramente foi elaborado um gráfico representativo das oscilações de temperatura interna das células-teste e de temperatura externa para o período de medição. As oscilações das temperaturas foram caracterizadas em gráficos como o exemplo da Figura 30, destacando-se as flutuações da temperatura do ar e o número de observações.

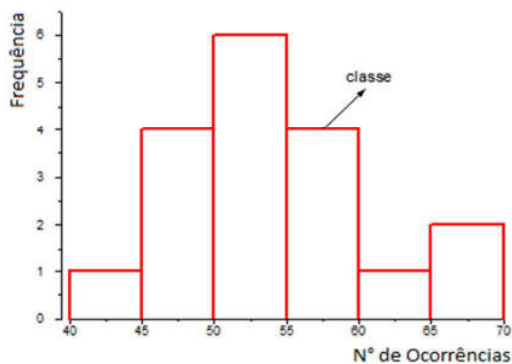
Figura 30 – Flutuações de temperaturas representativo do período de medição de inverno ou Verão



Após a construção do gráfico que demonstra as flutuações de temperatura no período, verificou-se o padrão das oscilações, com a comparação do comportamento térmico, que ocorre entre os pares de célula-teste P - PS, B - BS, e S - SS, para identificar a influência do sombreamento da envoltória. A comparação entre as células P - B e PS - BS teve como objetivo analisar o efeito da absorvância na amenização das temperaturas internas, e, por fim, a observação da relação entre as células-teste de diferentes materiais, como por exemplo a alvenaria convencional ( P, B, PS e BS) e a alvenaria de solo-cimento (S e SS), permitiu analisar a influência do material.

A elaboração do histograma - gráfico de frequências (ver Figura 31) - possibilitou construir resultados acerca das medições de temperatura interna, mapeando a faixa de temperatura interna que prevalece no período de medição, perante determinada condição de envoltória.

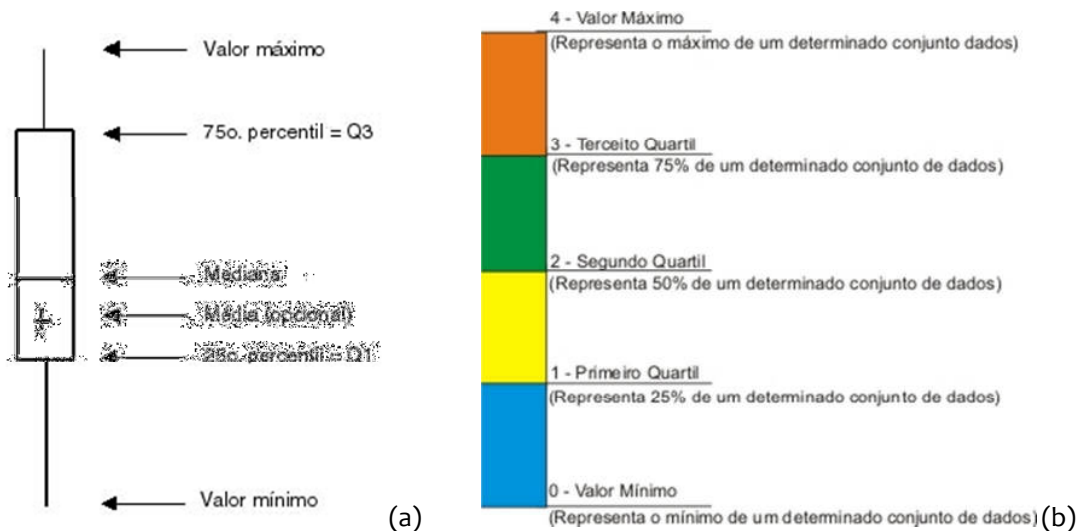
Figura 31 – Histograma demonstrativo do numero de ocorrências por classe.



O gráfico de caixa, também chamado de boxplot (ver Figura 32), possibilita a divisão e a visualização da distribuição de dados em quatro intervalos: valor mínimo (Xmin) até o primeiro

quartilz (Q<sub>1</sub>), primeiro quartil ao segundo quartil (Q<sub>2</sub>) - que corresponde à mediana (Me), segundo quartil ao terceiro quartil (Q<sub>3</sub>) e, finalmente, o terceiro quartil ao valor máximo (X<sub>máx</sub>) observado.

Figura 32 – Configuração do Boxplot



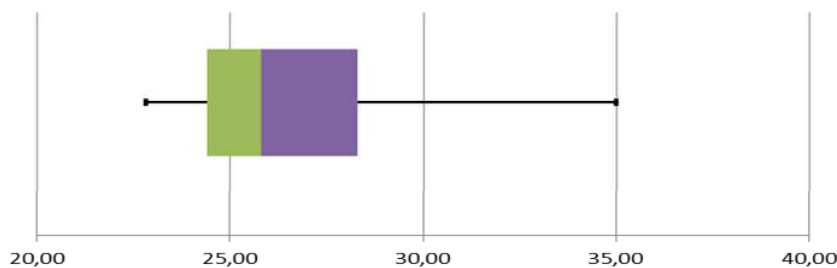
Fonte: Rousseeuw *et al*, 1999.

No retângulo (Figura 32a) observa-se a amplitude interquartílica (Q<sub>3</sub>-Q<sub>1</sub>), que representará a concentração de 50% dos dados de temperatura em torno do valor de mediana. Vários aspectos podem ser observados neste gráfico, como a localização dos valores de quartis e mediana. Segundo Blanxart (1992) pelo comprimento da caixa observamos a variação dos dados, se a caixa for muito estreita pode ser indicativo de distribuição leptocúrtica (menos achatada), já uma caixa muito longa a distribuição será platicúrtica (mais alongada). Considerando os aspectos individuais e coletivos do gráfico, é possível comparar:

- As formas como se distribuem os valores das variáveis;
- A variabilidade pelo tamanho relativo das caixas;
- A simetria pela posição das medianas e pelo formato dos bigodes.

<sup>2</sup>Quartil: São três quartis Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> que dividem o conjunto dos dados em quatro subconjuntos de tal forma que 25% dos elementos situam-se abaixo do Q<sub>1</sub>; 25% entre Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub>; 25% entre Q<sub>2</sub> e Q<sub>3</sub> e 25% acima de Q<sub>3</sub>, sendo que Q<sub>2</sub> corresponde a mediana. A amplitude inter-quartil é dada pela diferença entre o quartil superior e o quartil inferior, ou seja Q<sub>3</sub> - Q<sub>1</sub>.

Figura 33 – Gráfico de caixa de temperaturas de uma Célula-teste



### 3.4 Descrição do método para obtenção de equação preditiva de temperatura interna

Construindo-se um gráfico de curvas de temperatura interna e externa é observada a variável de temperatura externa - máxima, média e mínima - que apresenta comportamento semelhante à temperatura interna - máxima, média e mínima - para que se produza o modelo de regressão.

Conforme as medições realizadas no período de inverno e de verão, estabelecemos a relação de previsão da temperatura - mínima, média e máxima - interna de cada célula-teste, observando a associação da variável temperatura mínima interna com a temperatura mínima externa, do mesmo modo a associação da temperatura média interna com a temperatura média externa, e por fim a temperatura máxima interna com a temperatura máxima externa.

A construção das equações de previsão de temperatura interna - mínima, média e máxima - foram elaboradas a partir das investigações realizadas por Givoni (1999), Kruger (2005) e Abreu (2005), realizando associações com as temperaturas externas - mínima, média e máxima.

Estabelecidas as relações entre as variáveis foram determinados os coeficientes “a” e “b” da regressão linear representativa da temperatura interna - mínima, média e máxima - de cada célula-teste, com o valor da variável “x” sendo a temperatura externa - mínima média ou máxima - utilizada a determinar a previsão da temperatura interna.

Conforme Reis (1994) a função, denominada de Modelo de Regressão, é utilizada para estimar o valor esperado de uma variável (y) com um conjunto de valores de outra variável (x). Conforme “n” pares,  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , se y é função linear de x, pode-se estabelecer uma regressão linear simples (ver equação 1) cujo modelo estatístico é :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_i, \quad \text{Para } j=1, 2, \dots, n. \quad (\text{Equação 1})$$

Neste modelo:

$y_i$  - é uma variável aleatória e representa o valor da variável resposta (variável dependente) na  $i$ -ésima observação;

$x_i$  - representa o valor da variável explicativa (variável independente, variável regressora) na  $i$ -ésima observação;

$\varepsilon_i$  - é uma variável aleatória que representa o erro experimental;

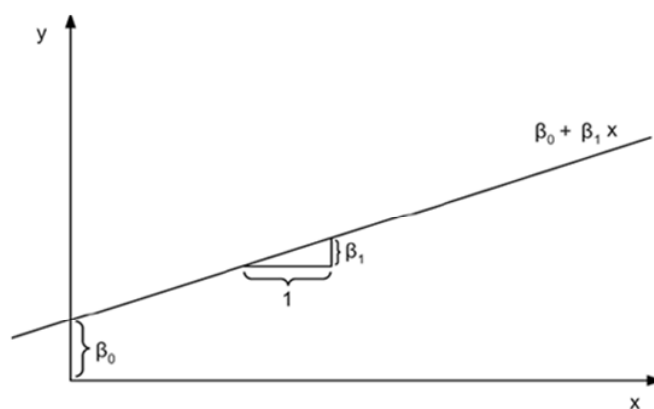
$\beta_0$  e  $\beta_1$  - são os parâmetros do modelo, que serão estimados, e que definem a reta de regressão;

$n$  - é o tamanho da amostra.

O parâmetro  $\beta_0$  é chamado intercepto ou coeficiente linear e representa o ponto em que a reta de regressão corta o eixo Y, quando  $x=0$ .

O parâmetro  $\beta_1$  representa a inclinação da reta regressão e é dito coeficiente de regressão ou coeficiente angular. Para um aumento de uma unidade na variável  $x$ , o valor  $E(y|x)$  aumenta  $\beta_1$  unidades.

Figura 34 – Elementos formadores da reta de Regressão Linear



Fonte: Blanxart, 1992.

Assim a inclinação  $\beta_1$  representa a mudança esperada de Y por unidade de X; isto é, representa a mudança de Y - tanto positiva quanto negativa - para uma particular unidade de X. Por outro lado,  $\beta_0$  representa o valor de Y quando  $\beta_1 = 0$ , enquanto  $\varepsilon_i$  representa uma variável aleatória que descreve o erro de Y para cada observação  $i$  (BLANXART, 1992).

O método utilizado para determinar os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  é o método dos mínimos quadrados, no qual se tem as menores distâncias (ao quadrado) entre os valores observados de  $y$  e a própria



reta. O Coeficiente de Regressão ou Angular ( $\beta_1$  ou  $b$ ) é a razão entre a covariância das duas variáveis e a variância na variável independente  $x$  (ver equação 2). O coeficiente angular é:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Equação 2})$$

Intercepto ( $\beta_0$  ou  $a$ ): é o ponto de intersecção da reta com a ordenada (eixo  $y$ ), corresponde ao valor de  $y$  quando  $x=0$  (ver equação 3), podendo ser estimado pela formula:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (\text{Equação 3})$$

Segundo Givoni (1999) e Cheng (2004) adota-se a média aritmética de dados horários de temperatura do dia, sendo três temperaturas internas e três temperaturas externas representativas para a pesquisa.

Temperaturas internas:

$T_{i_{\min}}$  – Temperatura mínima interna diária;

$T_{i_{\text{med}}}$  – Temperatura média interna diária;

$T_{i_{\max}}$  – Temperatura máxima interna diária.

Temperaturas externas:

$T_{e_{\min}}$  – Temperatura mínima externa diária;

$T_{e_{\text{med}}}$  – Temperatura média externa diária;

$T_{e_{\max}}$  – Temperatura máxima externa diária.

A partir dos dados coletados calculam-se as médias das temperaturas – mínima, média e máxima - do período:

Médias para as temperaturas externas:

$GTe_{\min}$  – média das temperaturas mínimas externas para cada período; (Equação 4)

$GTe_{\text{med}}$  – média das temperaturas médias externas para cada período; (Equação 5)

$GTe_{\max}$  – média das temperaturas máximas externas para cada período; (Equação 6)

Média para as temperaturas internas:

$GT_{i_{min}}$  – média das temperaturas mínimas internas para cada período; (Equação 7)

$GT_{i_{med}}$  – média das temperaturas médias internas para cada período; (Equação 8)

$GT_{i_{max}}$  – média das temperaturas máximas internas para cada período. (Equação 9)

Com os dados diários dos dois períodos (inverno e verão), tabulados através do software *Excel 2010*, efetua-se o cálculo dos coeficientes:

$\Delta T$  – Diferença entre a média da temperatura interna e a média da temperatura externa (mínima, média e máxima), para período de inverno ( $\Delta T_i$ ) e verão ( $\Delta T_v$ ).

Para o período de inverno:

$$\Delta T_i = GT_{i_{min}} - GTe_{min} \quad (\text{Equação 10})$$

$$\Delta T_i = GT_{i_{med}} - GTe_{med} \quad (\text{Equação 11})$$

$$\Delta T_i = GT_{i_{max}} - GTe_{max} \quad (\text{Equação 12})$$

Para o período de verão:

$$\Delta T_v = GT_{v_{min}} - GTe_{min} \quad (\text{Equação 13})$$

$$\Delta T_v = GT_{v_{med}} - GTe_{med} \quad (\text{Equação 14})$$

$$\Delta T_v = GT_{v_{max}} - GTe_{max} \quad (\text{Equação 15})$$

Para obter dados da regressão calcula-se:

$Te_{min} - GTe_{min}$  - Diferença entre as temperaturas mínimas externas e a média das temperaturas mínimas externas do período; (Equação 16)

$Te_{med} - GTe_{med}$  - Diferença entre as temperaturas médias externas e a média das temperaturas médias externas do período; (Equação 17)

$Te_{max} - GTe_{max}$  - Diferença entre as temperaturas máximas externas e a média das temperaturas máximas externas do período. (Equação 18)

### 3.5 Geração das equações de regressão linear

Conforme metodologia descrita por Cheng (2004) utilizando-se o auxílio de software excel 2010, e o software estatístico R são obtidas as variáveis "a" e "b" da regressão linear simples, a partir da correlação entre a variável a explicar (temperatura interna) e a variável explicativa (correspondente ao conjunto de dados resultante da subtração da temperatura externa com a média das temperaturas externas do período).

Demonstra-se a regressão linear simples (Equação 19):

$$Y = a * x + b \quad (\text{Equação 19})$$

Sendo para temperaturas internas, neste caso para temperatura mínima interna (ver Equação 20).

$$Ti_{min} = a * (Te_{min} - GTe_{min}) + b \quad (\text{Equação 20})$$

Para a construção das demais equações - temperatura média e máxima interna - também foram observadas as oscilações das temperaturas externas - variáveis explicativas - que apresentam semelhança com as flutuações ocorridas na temperatura interna para a predição da temperatura interna estimada.

O coeficiente de correlação mede o grau de associação entre duas variáveis, resultando em um único valor. Diz-se que existe correlação entre duas ou mais variáveis quando as alterações sofridas por uma delas são acompanhadas por modificações nas outras, ou seja, no caso de duas variáveis x e y os aumentos (ou diminuições) em x correspondem a aumentos (ou diminuições) em y (ver equação 5). O coeficiente de correlação (R) entre duas variáveis é :

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (\text{Equação 21})$$

Onde

$x_i$  e  $y_i$  - são os pares de valores das variáveis;

n- número de pares encontrados na série analisada.

Tabela 5 – Nível do coeficiente de Correlação

Coeficiente de Correlação	Força de Correlação
$r = 1$	Perfeitamente Positiva
$0,8 \leq r < 1$	Fortemente Positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada Positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca Positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima Positiva
$0$	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima Negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca Negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada Negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Fortemente Negativa
$R = -1$	Perfeitamente Negativa

Fonte: Blanxart, 1992.

A magnitude de  $r$  indica quão próximos da reta estão os pontos individuais. Quando  $r$  se aproxima de +1 indica pouca dispersão, e uma correlação muito forte e positiva, enquanto  $r$  se aproxima de "zero" indica muita dispersão, e uma ausência de relação.

O coeficiente de determinação  $r^2$ , é um indicativo de quanto a reta de regressão determina correlação entre os pontos (ver equação 22). No caso ideal,  $r^2=1$ , não existiria variação residual e todos os pontos estariam alinhados (Abreu, 2004).

$$r^2 = \frac{\left( n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y \right)^2}{\left[ n \sum_{i=1}^n x^2 - \left( \sum_{i=1}^n x \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n y^2 - \left( \sum_{i=1}^n y \right)^2 \right]} = \frac{COV_{xy}}{S_{xx} \cdot S_{yy}} \quad (\text{Equação 22})$$

O modelo de regressão linear que apresentar um coeficiente de determinação  $r^2 > 0,7$  é adotado para estabelecer as relações de absorvância, sombreamento e massa térmica das amostras.

### 3.6 Construção das relações entre as diferentes células-teste

Após a concepção das equações de regressão linear de temperatura interna para cada célula-teste (Ver Tabela 6) procede-se às associações, conforme as variáveis a serem estudadas, que correspondem a diferenciação de coeficiente de absorção, material de vedação e sombreamento.

Tabela 6– Exemplo de Equações de previsão de Temperatura Interna -  $T_i$

Equação	Célula-Teste P	Célula-Teste PS	Célula-Teste B	Célula-Teste BS	Célula-Teste S	Célula-Teste SS
$T_{iMínima}$	$1,06 \cdot T_{e_{min}} + 1,5$	$1,03 \cdot T_{e_{min}} + 1,4$	$1,03 \cdot T_{e_{min}} + 1,1$	$1,01 \cdot T_{e_{min}} + 0,5$	$1,06 \cdot T_{e_{min}} + 1,1$	$1,04 \cdot T_{e_{min}} + 1,2$
$T_{iMédia}$	$1,09 \cdot T_{e_{min}} + 1,1$	$1,09 \cdot T_{e_{min}} + 1,0$	$1,05 \cdot T_{e_{min}} + 1,2$	$1,04 \cdot T_{e_{min}} + 0,2$	$1,08 \cdot T_{e_{min}} + 1,2$	$1,07 \cdot T_{e_{min}} + 1,3$
$T_{iMáxima}$	$1,4 \cdot T_{e_{min}} + 1,5$	$1,4 \cdot T_{e_{min}} + 1,3$	$1,3 \cdot T_{e_{min}} + 1,11$	$1,2 \cdot T_{e_{min}} + 0,5$	$1,2 \cdot T_{e_{min}} + 1,1$	$1,2 \cdot T_{e_{min}} + 1,2$

Através da formulação das equações de previsão de temperatura pode-se inserir a temperatura externa (mínima, média ou máxima) do dia para se construir as diferenciações de temperatura interna entre as células-teste em estudo.







## CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se os dados de medição de temperatura das células-teste, explanando as relações existentes entre temperatura interna com as características existentes na envoltória. Primeiramente foram realizadas medições de temperatura interna, para posteriormente se comparar as medições entre as células-teste, sendo construídas a distribuição de frequência e o gráfico Box-plot das temperaturas, observando individualmente o conjunto de dados coletados. O critério adotado para comparar o desempenho térmico das células-teste tem como referência os estudos realizados por Givoni (1999). Concebendo as equações preditivas de temperatura produzindo as devidas comparações entre cada célula-teste perante a característica de envoltória.

A abordagem principal centra-se no estudo experimental de células-teste – protótipos em escala reduzida – para avaliar o efeito da massa térmica, sombreamento e absorvância da envoltória como fatores determinantes da temperatura interna.

Estabelecido um período de medição de 30 dias para o mês representativo de inverno – Julho-2011, e o mês representativo de verão – dezembro-2011, foram realizadas medições de temperatura interna do ar, com intervalo de 01 hora, em cada um dos protótipos, conforme tabela 7.

Tabela 7 – Total de observações de temperatura interna registradas em cada célula-teste

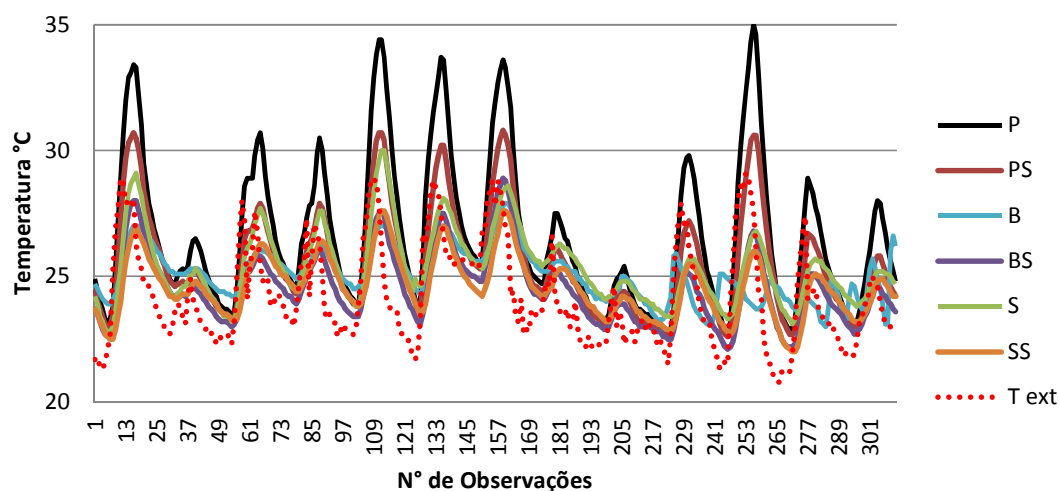
Nº Total de Observações						
	P	PS	B	BS	S	SS
No Inverno	1000	897	732	701	1000	402
No Verão	1182	1246	1246	1246	1246	1244

Nas medições realizadas no período de inverno, observamos a interrupção no sistema data logger de alguns instrumentos, podendo-se totalizar as observações registradas em cada célula-teste conforme mostra a tabela 4. Perante este fato, foi necessário descartar algumas medições, devido a necessidade de ocorrência de medições simultâneas para a referida pesquisa. Logo limitaram-se os dados de medição de temperatura interna referente a cada um dos seis protótipos ao menor valor simultâneo de dados, que corresponde a 311 observações no período de inverno e 1182 observações no período de verão.

#### 4.1. Medição da temperatura do ar no período de inverno

As medições de temperatura interna nas células-teste, correspondentes ao período de inverno, foram realizadas no período de 04 de julho a 16 de julho, com dados registrados a cada hora de observação por um sensor de temperatura e umidade dotado de sistema data-logger posicionado no centro geométrico das células-teste.

Figura 35 – Oscilações da temperatura observadas no período do inverno



Fonte: Medições realizadas no período do dia 03/07/2012 à 16/07/2012 no Núcleo de Pesquisas de Processamento de Alimentos – NUPPA - Campus 1 – UFPB.

Conforme a figura 35, relativo ao período de inverno, observa-se que as três temperaturas mais elevadas estão nas células-teste de cor preto - P, seguida da célula-teste de cor preto com sombreamento – PS, e a célula-teste composta de blocos de solo-

cimento - S. Entre as temperaturas mais baixas observadas tem-se a célula-teste de envoltória na cor branca com sombreamento – BS, e a célula-teste de solo-cimento com sombreamento - SS.

No período de medição do inverno observa-se menores temperaturas e períodos com pouca oscilação entre temperatura máxima e mínima interna, assim como, menor diferença entre a temperatura interna e externa do ar, fato este, que podemos relacionar com a baixa insolação, dias com condição atmosférica de céu nublado à chuvoso, com reduzida ação da radiação solar, na ordem dos 241-911 w/m<sup>2</sup> - nas células-teste.

As maiores amplitudes térmicas ocorreram nas células-teste de envoltória de cor preto – P, com variações diárias de temperatura interna na faixa dos 5°C aos 15°C, e na envoltória de cor preto com fator de sombreamento – PS, com variações na faixa dos 3°C aos 11°C. Os demais protótipos – com envoltória de cor branco - B, branco com sombreamento - BS, solo-cimento – S, e solo-cimento com sombreamento - SS compartilham uma similaridade de oscilação nas temperaturas internas, na faixa máxima dos 4°C, com o registro de temperatura máxima interna abaixo ou próximo a temperatura máxima externa. Portanto, a exposição ao sol associado ao alto valor de absorvância (0,9) observada da célula-teste P e PS acentuaram significativamente as temperaturas internas mesmo perante os horários com pouca insolação nas superfícies.

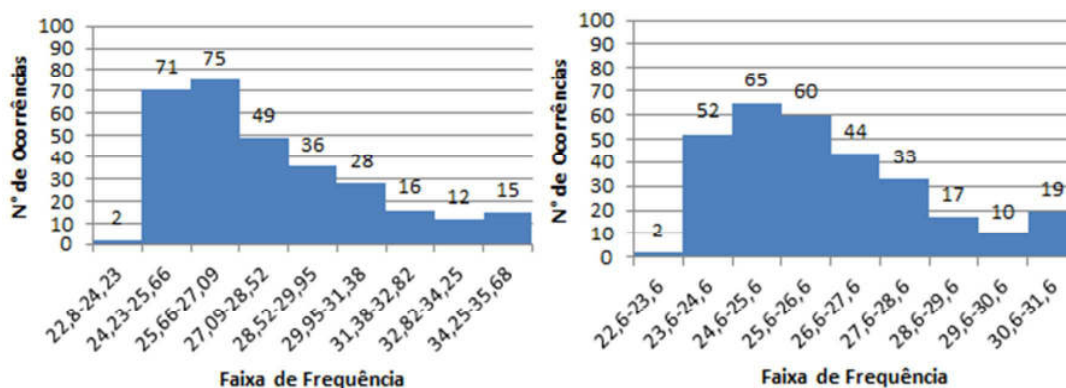
Os gráficos nas Figuras 36, 37 e 38 correspondem à frequência de distribuição das temperaturas internas (Histograma das faixas de frequências de temperatura interna) para o período de medição de inverno. As frequências de temperatura apresentam similaridade de acordo com o par de envoltórias em estudo, isto é, as células-teste de envoltória de cor preto – P, com predominância de temperaturas na faixa dos 25,6°C à 27°C, e de cor preto com sombreamento – PS, com maior frequência de temperaturas na faixa dos 24,6°C à 25,6°C, apresentam distribuição de frequência semelhante. O mesmo ocorre ao observar-se o gráfico de frequência gerado no par de células-teste com envoltória em branco – B, verificam-se temperaturas com maior ocorrência na faixa de 24,9°C à 25,6°C, e branco com sombreamento - BS, predominante na faixa de 24,6° à 25,5°C, assim como a envoltória constituída de bloco de solo-cimento – S, de

*José Rodrigo Viana Monteiro* *PPGEUA*



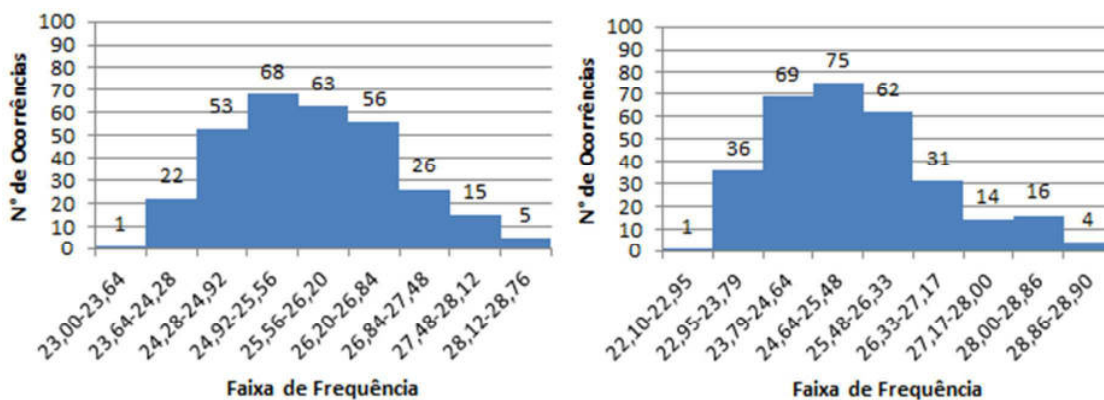
temperaturas com maior ocorrência na faixa dos 25,5°C à 26,3°C, e a célula-teste de bloco em solo-cimento com sombreamento – SS, com ocorrências de 24,8°C à 25,6°C.

Figura 36 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste P e PS



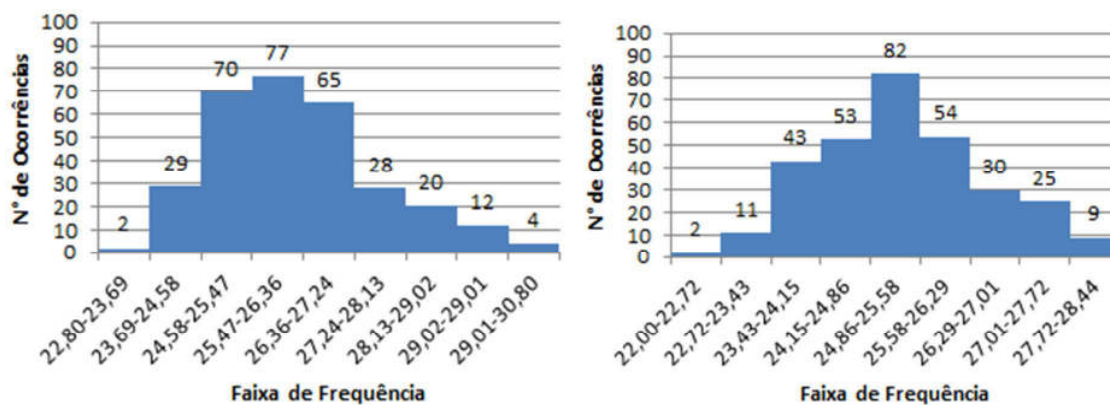
Fonte: Histograma das faixas de frequências de temperatura interna para a célula-teste P e PS respectivamente.

Figura 37 – Distribuição de Frequências de temperatura interna para as células-teste B e BS



Fonte: Histograma das faixas de frequências de temperatura interna para a célula-teste B e BS respectivamente.

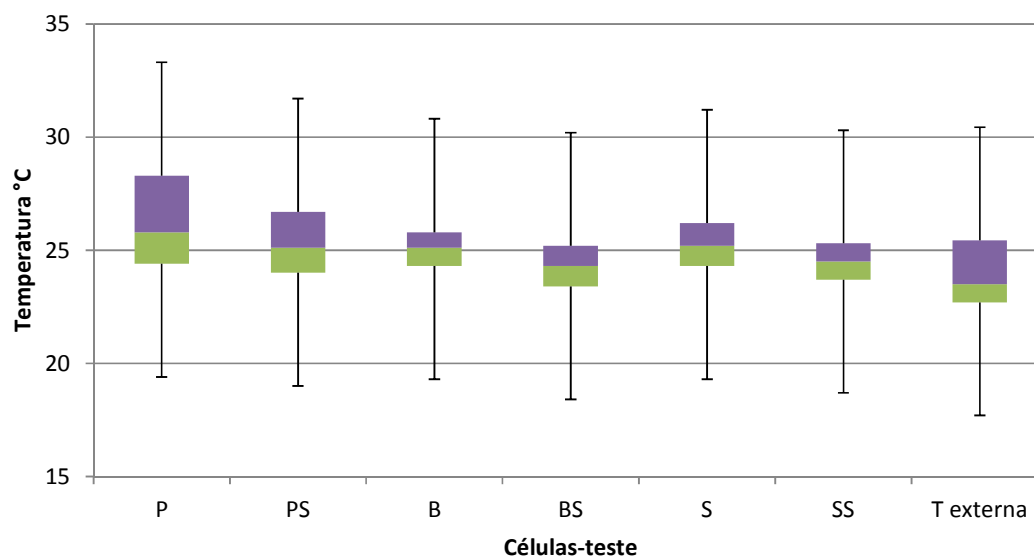
Figura 38 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste S e SS



Fonte: Histograma das faixas de frequências de temperatura interna para a célula-teste S e SS respectivamente.

Conforme gráfico boxplot (ver figura 39) as medições realizadas no período de inverno apresentaram temperaturas internas com baixa variação, próximo aos valores de mediana em cada célula-teste.

Figura 39 – Perfil de concentração das temperaturas internas em relação as temperaturas externas no período do inverno.



Fonte: Medições realizadas no período do dia 03/07/2012 à 16/07/2012 no Núcleo de Pesquisas de Processamento de Alimentos – NUPPA - Campus 1 – UFPB.

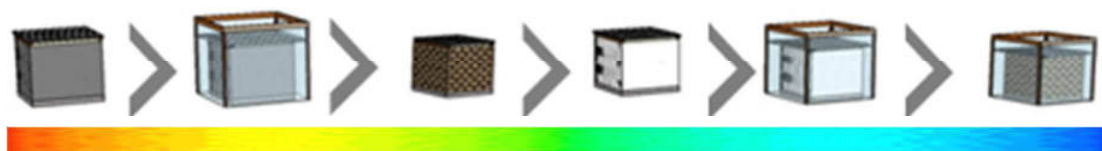
Com as medições realizadas no período do inverno observa-se a redução das temperaturas internas com o uso do sombreamento. As células-teste não sombreadas, destacando-se os exemplares de envoltória em preto - P, branco - B, e solo-cimento - S, apresentam maiores variações de amplitude térmica interquartil e ocorrência de temperaturas elevadas, ao comparar-se com as células-teste PS, BS e SS.

A célula-teste P apresentou IQR - amplitude interquartil - sempre acima do seu correspondente de envoltória com sombreamento PS. Assim também demonstrado nos outros pares de células-teste em análise.

As células-teste com envoltória em branco - B, e de solo-cimento - S, apresentaram comportamento semelhante em relação à variável amplitude interquartil, ocorrência que também pode ser observada nas células-teste de envoltória em branco sombreado - BS, e de solo-cimento sombreado - SS. Destaca-se que, as células-teste protegidas pelo sombrite obtiveram menores temperaturas internas, evidenciando a influência do sombreamento na amenização da temperatura interna.

Na Figura 40, pode-se observar a disposição, em ordem decrescente, das células-teste conforme as maiores temperaturas internas. A célula-teste P apresentou as maiores temperaturas internas, já as menores temperaturas internas foram registradas na condição de envoltória constituída de blocos de solo-cimento com sombreamento - SS.

Figura 40 – As maiores concentrações de temperatura interna no período de inverno

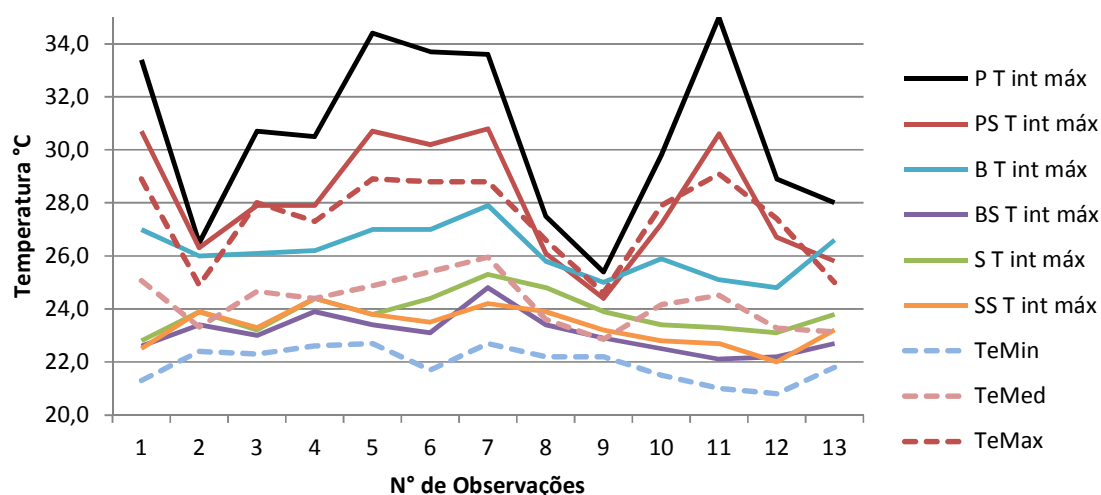


Fonte: Medições realizadas no período do dia 03/07/2012 à 16/07/2012 no Núcleo de Pesquisas de Processamento de Alimentos – NUPPA - Campus 1 – UFPB.

No gráfico da Figura 41 destacam-se as oscilações representativas das temperaturas internas das células-teste e das temperaturas externas, do período de inverno. As temperaturas máximas internas em P e PS mostram-se sempre acima da temperatura máxima externa, já as temperaturas máximas internas da célula-teste B apresentam-se na

faixa de transição representativa das temperaturas máximas e médias externas. Em relação às temperaturas máximas internas das células-teste S, SS e BS observa-se que estas se encontram ligeiramente abaixo da temperatura média externa, e logo acima da temperatura mínima externa.

Figura 41 – Demonstração da oscilação de temperatura interna máxima em relação as temperaturas externas.



Fonte: Medições e tratamento dos dados de temperatura máxima interna das células-teste em relação a temperatura externa.

A alta absorvância (0,9) da superfície externa, da célula-teste P e PS, é determinante para o aumento da temperatura interna, com valores muito acima da temperatura máxima externa do período - temperatura interna 3,5°C acima da temperatura máxima externa, mesmo em condições de tempo nublado.

A combinação do sombreamento e alto valor de absorvância (0,9) na envoltória, célula-teste PS, resultou em um comportamento térmico próximo à temperatura máxima externa no período de medições no inverno. As medições de temperatura interna nesta célula-teste apresentaram ligeira alta em relação à temperatura máxima externa, com as maiores diferenças, entre as máximas interna e externa, na ordem de 2,0°C, e em média 1,0°C de diferença.

Comparando-se a temperatura interna das células-teste P e PS observa-se uma diferença de 1,0°C, para dias com muita nebulosidade e ocorrência de chuvas, essa diferença eleva-se para 2,5°C, na condição de ausência de nebulosidade. O sombreamento nas superfícies de alta absorvância pode amenizar a temperatura interna na ordem de 1,0°C à 2,5°C em relação à condição de envoltória com alta absorvância e sem sombreamento.

A célula-teste de envoltória com baixa absorvância (0,2) - representada pela célula-teste de cor branca - B, apresentou temperaturas ligeiramente abaixo da temperatura máxima externa e um pouco acima da temperatura média externa. A diferença em relação à temperatura máxima externa tem fortes oscilações, variando de 0,5°C à 2,0°C, que depende do padrão de nebulosidade no período das medições.

A célula-teste de baixa absorvância (0,2) com o uso do sombreamento - BS foi, dentre as condições diversas de envoltória estudadas, a que apresentou as temperaturas máximas internas mais baixas, registrando-se medições de temperatura interna na faixa de 0,8 à 1,0°C acima das oscilações de temperatura mínima externa.

Associando as duas envoltórias com característica cromática similar, B e BS, observam-se diferenciações significativas perante o uso do sombreamento. A célula-teste BS apresenta temperaturas na faixa de 2,3°C abaixo da sua similar de envoltória B.

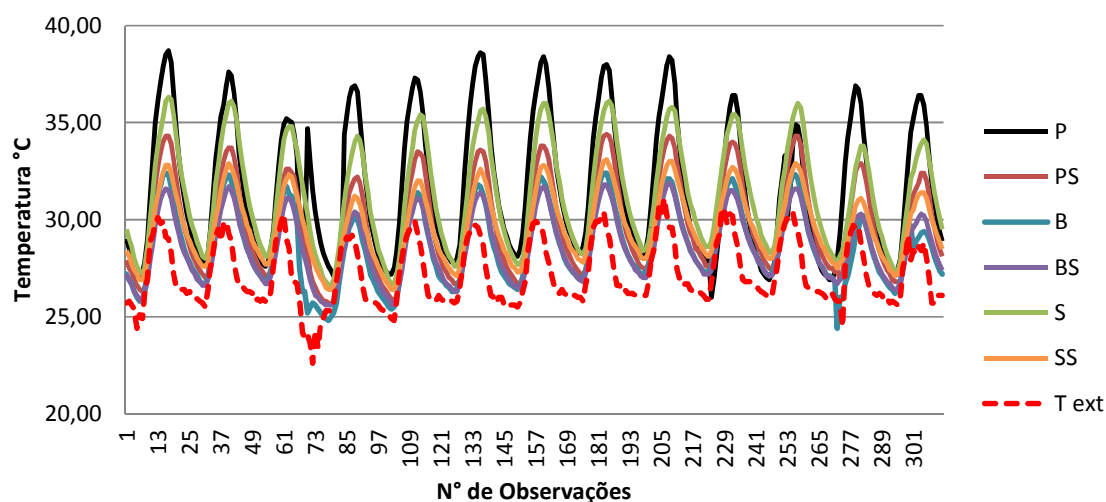
As células-teste de solo-cimento com e sem sombreamento, SS e S, apresentaram oscilações de temperatura interna máxima similar às temperaturas média e mínima externa. A temperatura máxima interna entre as células-teste de solo-cimento, S e SS, apresentou pouca diferença, de 0 à 0,6°C, pode-se concluir pouca influência do sombreamento para envoltória com maior inércia térmica, na condição inverno, marcado por fortes chuvas e condição de céu nublado.

Nesse contexto, destaca-se que a envoltória com baixa absorvância (0,2), no inverno - onde ocorreu curtos períodos de exposição ao sol, apresentou temperaturas internas próximas às temperaturas externas, assim como, as células-teste de solo-cimento, mesmo apresentando maior inércia térmica, não armazenou energia térmica suficiente para elevar a temperatura interna acima dos valores encontrados no ambiente externo.

#### 4.2. Medição da temperatura do ar no período de verão

As medições correspondentes ao período de verão ocorreram do dia 03 de dezembro à 15 de dezembro, conforme o mesmo procedimento adotado no período de inverno. Visualizando-se o gráfico 11 observa-se acentuadas oscilações nas temperaturas externas e internas, principalmente comparando-se às medições realizadas no período de inverno, fato que deve-se à maior presença de radiação solar direta neste período do ano. Destaca-se também que, as oscilações de temperatura são mais constantes, ocorrendo semelhança de flutuações nas amostras estudadas, o que se deve à condição atmosférica constante (céu claro).

Figura 42 – Oscilações da temperatura observadas no período de verão



Fonte: Medições realizadas no período do dia 03/12/2012 à 15/12/2012 no Núcleo de Pesquisas de Processamento de Alimentos – NUPPA - Campus 1 – UFPB.

Assim como visto no período de inverno, na célula-teste de envoltória com alta absorvância (P) verificam-se as maiores temperaturas internas, destacando-se que as temperaturas internas nesta célula-teste mantiveram-se sempre acima das temperaturas observadas no ambiente externo, para o período do verão.

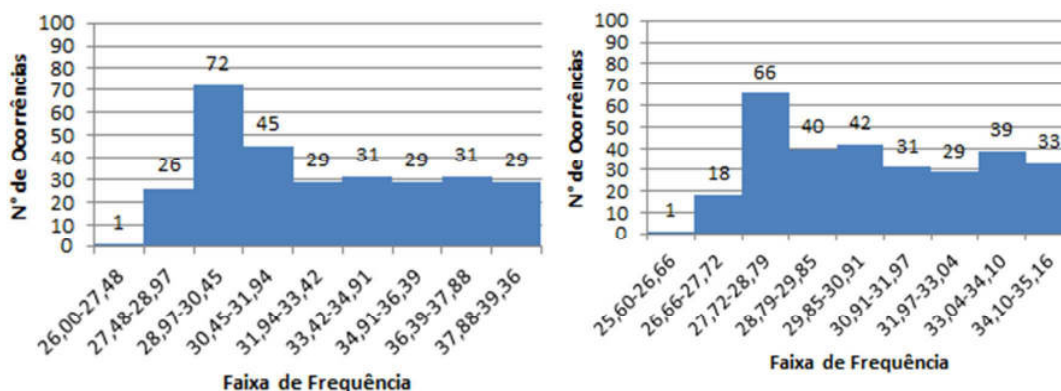
Dentre as células-teste observa-se que as menores temperaturas internas ocorrem nas células-teste de baixa absorvância – B, e em seu correlato, com sombreamento - BS. As células-teste em solo-cimento, com e sem sombreamento – SS e S, apresentaram

temperaturas bem acima daquelas observadas no período de inverno. Dois fatores podem ser destacados: a) o coeficiente de absorção na envoltória da célula-teste em solo-cimento é superior à célula-teste de baixa absorção (branco) e, b) o solo-cimento apresenta inércia térmica superior ao fechamento com tijolos de 8 furos.

As maiores temperaturas internas atingem a faixa dos 38°C, para as células-teste de envoltória de cor preto, e as menores temperaturas ocorrem na faixa dos 25,5°C para protótipos de cor branca com fator de sombreamento de 50%.

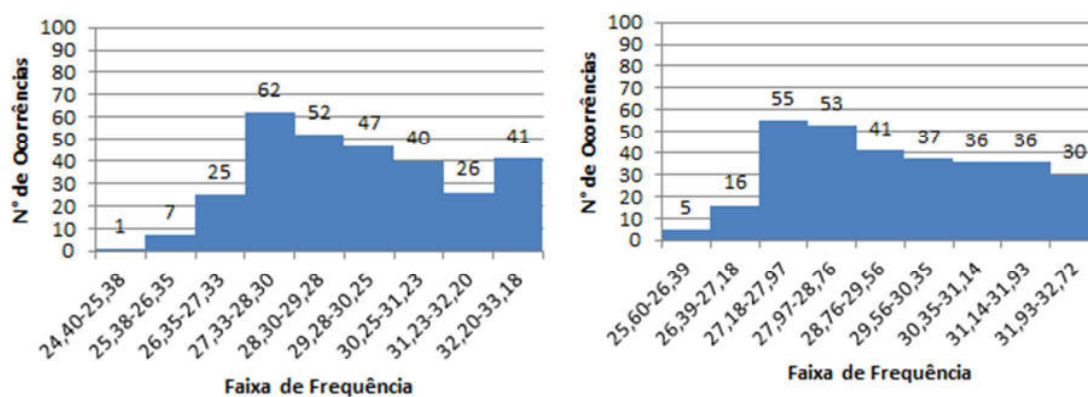
Nas figuras 43, 44 e 45 pode ser observada a distribuição das frequências de temperatura interna (Histograma das faixas de frequências de temperatura interna) para os conjuntos de células-teste: P e PS; B e BS; S e SS. As células-teste P e PS apresentam semelhança de distribuição das temperaturas, assim como, observa-se essa semelhança nas células-teste B e BS, e nas células-teste S e SS.

Figura 43 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste P e PS



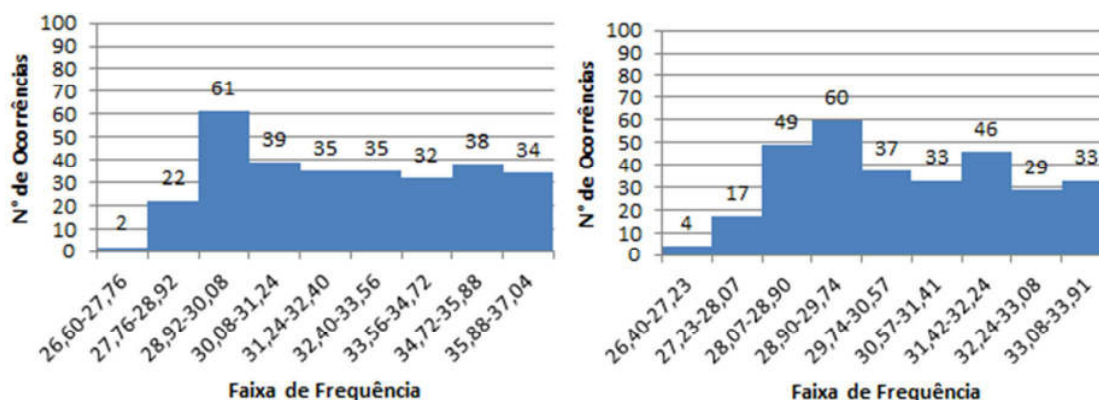
Fonte: Histograma das faixas de frequências de temperatura interna para a célula-teste P e PS respectivamente.

Figura 44 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste B e BS



Fonte: Histograma das faixas de frequências de temperatura interna para a célula-teste B e BS respectivamente.

Figura 45 – Distribuição de Frequências de temperatura interna das células-teste S e SS



Fonte: Histograma das faixas de frequências de temperatura interna para a célula-teste S e SS respectivamente.

Na célula-teste P (Figura 43) as faixas de frequência estão agrupadas por amplitude em torno de 1,5°C, com temperatura mínima de 26,0°C e máxima de 39,36°C, e com uma distribuição significativa acima dos 30°C em torno de 68% das medições. Na distribuição de frequências da célula-teste PS observa-se temperaturas mínimas de 25,6°C à máximas que chegam a 35,16°C, com distribuição de temperaturas acima dos 30°C por volta de 43% e com amplitudes de formação da distribuição das frequências em 1,1°C.

Na célula-teste B (Figura 44) observa-se faixas de frequência formadas por amplitude de 1,0°C, temperaturas mínimas de 24,4°C e máximas de 33,18°C e, um acumulado de temperaturas acima dos 30°C por volta de 34% das medições neste período. A célula-teste



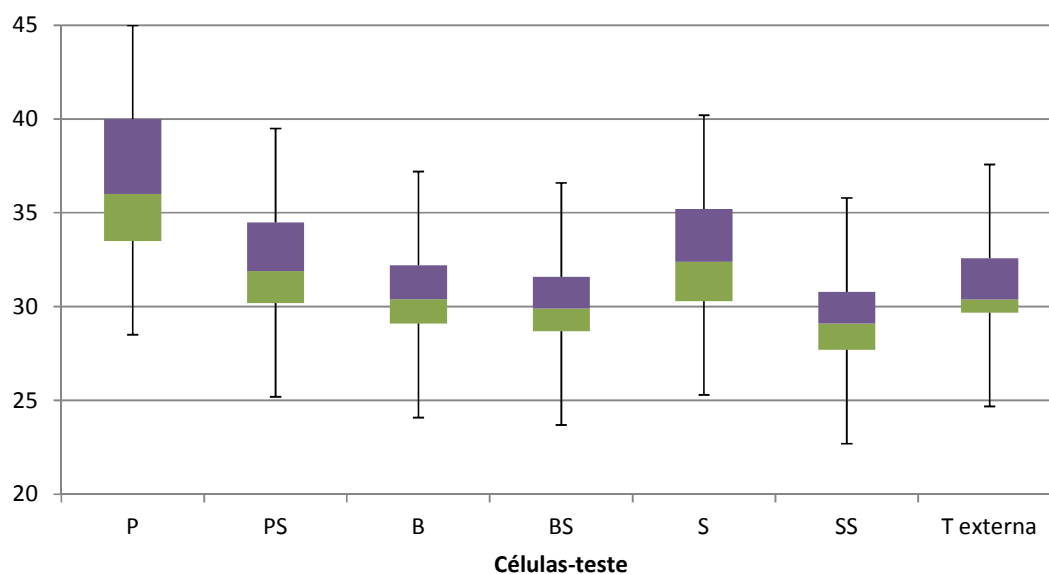
BS, por sua vez, foi responsável por registros de temperaturas mínimas na ordem de 25,5°C à máximas de 32,72°C, com amplitude de formação da faixa de frequência de 0,8°C e temperaturas acima dos 30°C na ordem de 33% da amostra.

A distribuição de frequência formada para a célula-teste S (Figura 45) apresenta amplitude de classe de frequência de 1,2°C, com temperatura mínima de 26,6°C à máxima interna de 37,40°C, conservando temperaturas acima dos 30°C na ordem acumulada de 72% das medições para o período do verão. Na célula-teste SS (ver Figura 46) observamos a formação da distribuição das faixas de frequência por amplitudes de 0,8°C, com temperaturas mínimas de 26,4°C à máximas de 33,91°C, apresentando temperaturas acumuladas acima dos 30°C entorno dos 45%.

Considerando os dados de frequência, a célula-teste S apresentou no período representativo do verão a maior concentração de temperaturas acima dos 30°C, semelhante aos resultados obtidos na célula-teste P, com 68% das medições. Há de se observar também que as células-teste B e BS apresentaram temperaturas acumuladas acima dos 30°C na ordem de 33%, mesmo diferenciadas pela condição de sombreamento.

Na Figura 46 no boxplot visualizamos o IQR – amplitude interquartil – de cada célula-teste estudada, essa divisão das temperaturas internas permite a comparação da mesma com os valores observados na temperatura externa – T externa. A maior concentração dos valores no retângulo superior evidencia maior ocorrência de temperaturas altas. A célula-teste P apresentou maior concentração de temperaturas altas, por volta dos 35°C e chegando até 40°C, destacando-se assim pelas temperaturas mais elevadas dentre as seis amostras, assim como, apresentou uma alta variação térmica interquartil. Na célula-teste PS (Figura 47) nota-se a significativa redução da temperatura interna, resultado da ação do sombreamento da envoltória, com temperaturas internas na faixa dos 30°C aos 35°C, observa-se também uma redução na amplitude térmica interquartil.

Figura 46– Perfil de concentração das temperaturas internas em relação as temperaturas externas no período do verão



Fonte: Medições realizadas no período do dia 03/12/2012 à 15/12/2012 no Núcleo de Pesquisas de Processamento de Alimentos – NUPPA - Campus 1 – UFPB.

Nas células-teste com superfícies externas pintadas de branco (Figura 46), tanto a célula-teste B quanto a BS (com sombreamento) os resultados são semelhantes, com uma ligeira redução nas temperaturas internas da célula-teste BS. Sendo que, ambas, obtiveram IQR abaixo da temperatura externa – IQR T externo. A célula-teste B apresentou maior semelhança com o comportamento verificado no ambiente externo.

Ainda observando a Figura 47, a célula teste S apresentou temperaturas internas na faixa de 30°C à 35°C, semelhante a célula-teste PS, logo pode-se associar que uma envoltória com alto coeficiente de absorção sombreada pode apresentar resultados de temperatura interna semelhante a uma envoltória de solo-cimento, que possui maior inércia térmica.

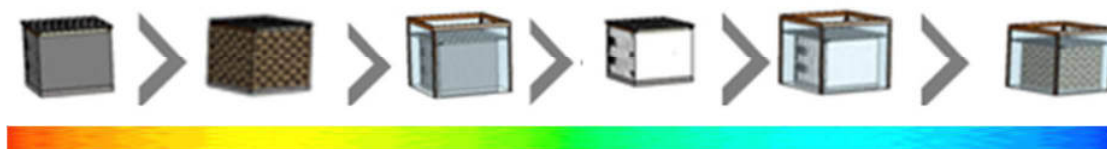
A célula-teste SS, por outro lado, apresentou 50% dos dados de temperatura na faixa de 27°C à 32°C, dentre as células teste estudadas foi a que apresentou as menores temperaturas no período de verão, com temperaturas internas abaixo das temperaturas

externas. Destaca-se a eficiência, na atenuação da temperatura interna, a combinação da inércia com o sombreamento.

O uso do sombreamento foi significativo na redução das temperaturas internas, temperaturas que estavam na faixa dos 30-35°C, com o uso do sombreamento, passaram para a faixa dos 27-32°C.

Na figura 48 pode-se observar a disposição das células-teste de acordo com a ordem decrescente das temperaturas ocorridas no interior das mesmas. Semelhante à condição de inverno, a célula-teste P, no verão, apresentou as maiores temperaturas internas. Na célula-teste PS observa-se uma redução das temperaturas internas com o uso do sombreamento na superfície externa, porém as temperaturas ainda são muito altas.

Figura 47 – As maiores concentrações de temperatura interna no período de verão



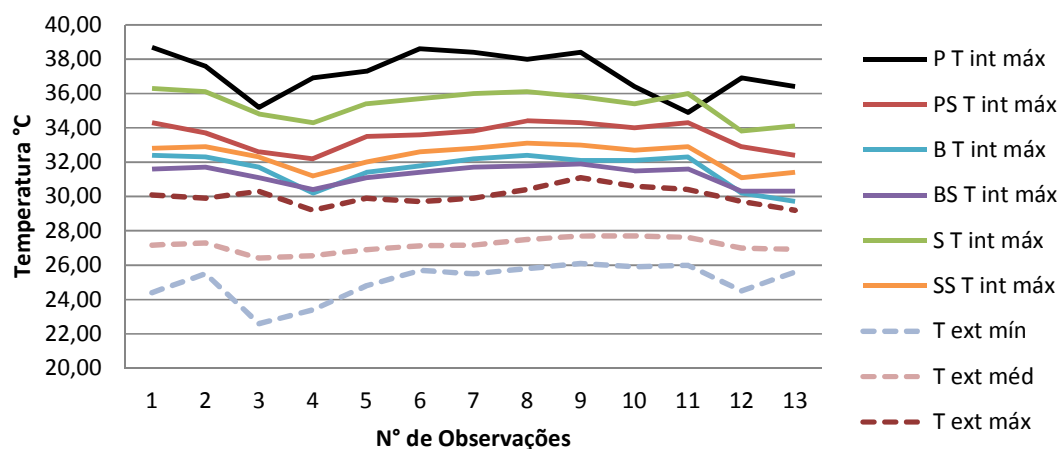
Fonte: Medições realizadas no período do dia 03/12/2012 à 15/12/2012 no Núcleo de Pesquisas de Processamento de Alimentos – NUPPA - Campus 1 – UFPB.

A célula-teste S apresentou resultados bastante similares a célula-teste PS, enquanto seu correlato - célula-teste SS - apresentou as menores temperaturas internas dentre os protótipos estudados. As células-teste B e BS apresentaram temperaturas internas similares às temperaturas ocorridas no ambiente externo, com pouca influência do sombreamento, fato que pode ter sido provocado pela redução da ventilação na superfície da envoltória (redução de perda de calor por convecção) na célula-teste com o sombreamento.

Analisando a relação entre as temperaturas máximas das células-teste e as temperaturas externas – mínima, média e máxima, ressalta-se a similaridade na oscilação das temperaturas (Figura 48). A célula-teste P apresenta oscilação, das temperaturas internas máximas, na ordem dos 35°C aos 39°C, representando, dentre as amostras, os valores mais elevados de temperatura interna. A célula-teste S representa a segunda maior

temperatura, com oscilação na ordem de 34 à 36°C. A célula-teste PS apresentou reduções significativas frente ao seu correlato cromático, com temperaturas máximas na faixa de 32 à 34°C. A célula-teste SS apesar de apresentar a concentração das menores temperaturas do período de verão não apresenta as menores temperaturas máximas do período, as temperaturas máximas desta célula-teste estão na faixa de 31°C à 33°C, correspondendo à quarta condição de envoltória com maior temperatura máxima interna. A célula-teste B seguida da célula-teste BS apresentou as menores temperaturas máximas. No período de verão todas as temperaturas máximas nas células-teste foram superiores às temperaturas máximas do ambiente externo.

Figura 48 – Temperatura interna máxima observada nas células-teste




Fonte: Medições e tratamento dos dados de temperatura máxima interna das células-teste em relação a temperatura externa.

### 4.3. Geração das equações de regressão linear

A célula-teste S apresentou resultados bastante similares a célula-teste PS, enquanto seu correlato - célula-teste SS - apresentou as menores temperaturas internas dentre os protótipos estudados. As células-teste B e BS apresentaram temperaturas internas similares às temperaturas ocorridas no ambiente externo, com pouca influência do sombreamento, fato que pode ter sido provocado pela redução da ventilação na superfície da envoltória (redução de perda de calor por convecção) na célula-teste com o sombreamento.


Analisando a relação entre as temperaturas máximas das células-teste e as temperaturas externas – mínima, média e máxima, ressalta-se a similaridade na oscilação das temperaturas (Figura 43). A célula-teste P apresenta oscilação, das temperaturas internas máximas, na ordem dos 35°C aos 39°C, representando, dentre as amostras, os valores mais elevados de temperatura interna. A célula-teste S representa a segunda maior temperatura, com oscilação na ordem de 34 à 36°C. A célula-teste PS apresentou reduções significativas frente ao seu correlato cromático, com temperaturas máximas na faixa de 32 à 34°C. A célula-teste SS apesar de apresentar a concentração das menores temperaturas do período de verão não apresenta as menores temperaturas máximas do período, as temperaturas máximas desta célula-teste estão na faixa de 31°C à 33°C, correspondendo à quarta condição de envoltória com maior temperatura máxima interna. A célula-teste B seguida da célula-teste BS apresentou as menores temperaturas máximas. No período de verão todas as temperaturas máximas nas células-teste foram superiores às temperaturas máximas do ambiente externo.

Figura 49 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste P



Inverno	$r^2$	Verão	$r^2$
$T_{int_{min}} = 1.5756 + 1.0064 * Text_{min}$	0,5911	$T_{int_{min}} = 24.6810 + 0.1063 * Text_{min}$	0,03162
$T_{int_{med}} = -4.8653 + 1.3021 * Text_{med}$	0,8983	$T_{int_{med}} = -7.4474 + 1.4354 * Text_{med}$	0,6343
$T_{int_{max}} = -18.5205 + 1.7927 * Text_{max}$	0,8618	$T_{int_{max}} = 35.76211 + 0.04814 * Text_{max}$	0,0004

Figura 50 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste PS



Inverno	$r^2$	Verão	$r^2$
$T_{int_{min}} = 1.2704 + 1.0126 * Text_{min}$	0,6278	$T_{int_{min}} = 17.0388 + 0.3896 * Text_{min}$	0,4621
$T_{int_{med}} = 1.3890 + 0.9983 * Text_{med}$	0,8988	$T_{int_{med}} = -1.69719 + 1.15973 * Text_{med}$	0,9541
$T_{int_{max}} = -5.2184 + 1.2168 * Text_{max}$	0,8062	$T_{int_{max}} = 1.7157 + 1.0597 * Text_{max}$	0,543

Figura 51 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste B



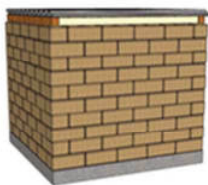
Inverno	$r^2$	Verão	$r^2$
$T_{int_{min}} = 0.5213 + 1.0288 * Text_{min}$	0,7202	$T_{int_{min}} = 7.0932 + 0.7592 * Text_{min}$	0,7134
$T_{int_{med}} = 6.82231 + 0.73037 * Text_{med}$	0,8472	$T_{int_{med}} = -14.48202 + 1.58750 * Text_{med}$	0,9637
$T_{int_{max}} = 6.6376 + 0.7128 * Text_{max}$	0,6276	$T_{int_{max}} = -6.9377 + 1.2833 * Text_{max}$	0,5317

Figura 52 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste BS



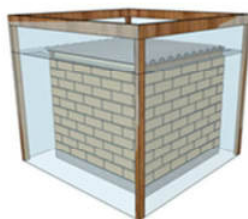
Inverno	$r^2$	Verão	$r^2$
$T_{int_{min}} = 0.5271 + 1.0727 * Text_{min}$	0,6772	$T_{int_{min}} = 18.5795 + 0.3155 * Text_{min}$	0,4003
$T_{int_{med}} = 11.1461 + 0.5755 * Text_{med}$	0,6935	$T_{int_{med}} = 7.24242 + 0.78697 * Text_{med}$	0,9068
$T_{int_{max}} = 20.8233 + 0.1968 * Text_{max}$	0,1292	$T_{int_{max}} = 6.8799 + 0.8119 * Text_{max}$	0,1292

Figura 53 – Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste S



Inverno	$r^2$	Verão	$r^2$
$T_{int_{min}} = 6.4653 + 0.7938 * Text_{min}$	0,4326	$T_{int_{min}} = 18.4578 + 0.3698 * Text_{min}$	0,3799
$T_{int_{med}} = 8.9552 + 0.6774 * Text_{med}$	0,7873	$T_{int_{med}} = -3.7010 + 1.2867 * Text_{med}$	0,935
$T_{int_{max}} = 6.0371 + 0.7662 * Text_{max}$	0,6052	$T_{int_{max}} = 8.8492 + 0.8831 * Text_{max}$	0,3156

Figura 54– Modelo de regressão linear para a determinação das temperaturas internas da célula-teste SS



Inverno	$r^2$	Verão	$r^2$
$T_{int_{min}} = -0.09635 + 1.06851 * Text_{min}$	0,8256	$T_{int_{min}} = 19.2277 + 0.3250 * Text_{min}$	0,3563
$T_{int_{med}} = 8.78115 + 0.65202 * Text_{med}$	0,8135	$T_{int_{min}} = 5.6017 + 0.8860 * Text_{min}$	0,8746
$T_{int_{max}} = 11.2927 + 0.5373 * Text_{max}$	0,6755	$T_{int_{max}} = 3.0779 + 0.9754 * Text_{max}$	0,5419

Com a determinação das equações preditivas de temperatura interna mínima, média e máxima, observamos o coeficiente de determinação<sup>1</sup> -  $r^2$  para assim estabelecer às relações entre as células-teste.







Foram geradas seis equações representativas das temperaturas internas para cada célula-teste, três equações preditivas de temperatura interna para o período de inverno e outras três equações preditivas para o período de verão, observando-se forte coeficiente de determinação  $r^2$  (valores de  $r^2 > 0,7$ ) para as equações representativas da temperatura interna média (Ti média) em todas as equações geradas.

Para a construção da relação entre as equações, foi inserido na variável “Textmed - temperatura média externa” o valor da mediana das medições de temperatura externa, (23,5°C – para as equações preditivas de temperatura média interna do período de inverno – e 26,6°C – para equações preditivas de temperatura média interna do período de verão), ver tabela 8.

---

<sup>1</sup> Também chamado de  $R^2$  é uma medida de qualidade do modelo de previsão em relação à sua habilidade de estimar corretamente os valores da variável resposta  $y$  (Berkeley,2011).

Tabela 8 - Temperatura média interna Estimada - Tintméd'

Tintméd = a + b*Text med						
		a	b	Text med	Tintméd'	(Tint med-Text med)
	Tintmed (Inverno)	-4,8653	1,3021	23,5	25,73	2,23
	Tintmed (verão)	-7,4474	1,4354	26,6	30,73	4,13
	Tintmed (Inverno)	1,389	0,9983	23,5	24,85	1,35
	Tintmed (verão)	-1,69719	1,15973	26,6	29,15	2,55
	Tintmed (Inverno)	6,82231	0,73037	23,5	23,99	0,49
	Tintmed (verão)	-14,482	1,5875	26,6	27,75	1,15
	Tintmed (Inverno)	11,1461	0,5755	23,5	24,67	1,17
	Tintmed (verão)	7,24242	0,78697	26,6	28,18	1,58
	Tintmed (Inverno)	8,9552	0,6774	23,5	24,87	1,37
	Tintmed (verão)	-3,701	1,2867	26,6	30,53	3,93
	Tintmed (Inverno)	8,78115	0,65202	23,5	24,10	0,60
	Tintmed (verão)	5,6017	0,886	26,6	29,17	2,57

As temperaturas médias internas, obtidas a partir das equações de regressão (Tabela 5), na célula-teste P estão na faixa de 2,2°C à 4,1°C acima da temperatura média externa. Na célula-teste PS (tabela 8), com sombreamento, este aquecimento ficou na faixa de 1,35°C à 2,55°C em relação à temperatura média externa.

Na célula-teste B (tabela 8), observa-se menor aquecimento da temperatura interna, na faixa de 0,49°C à 1,15°C em relação à temperatura média externa. Enquanto na célula-teste BS este aquecimento da temperatura média interna foi de 1,17°C à 1,58°C.

Para a célula-teste S, observa-se um aumento da temperatura interna na faixa de 1,37°C à 3,93°C, em relação a temperatura média externa. Na célula-teste SS (tabela 8), a



influência do sombreamento provocou um aumento na temperatura média interna de  $0,6^{\circ}\text{C}$  à  $2,57^{\circ}\text{C}$  em relação à temperatura média externa.

#### **4.4. Influência do sombreamento na envoltória das células-teste**

O sombreamento nas superfícies verticais das células-teste foi simulado com o uso do sombrite com fator de sombreamento de 50% na envoltória. A partir da relação entre as equações preditivas de temperatura média interna (Timed) entre as células-teste, pode-se quantificar a redução das temperaturas internas (Figura 32).

A célula-teste P apresentou temperatura média interna  $0,89^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura média interna da célula-teste PS no período de inverno, enquanto no período de verão esta diferença foi de  $1,58^{\circ}\text{C}$ , ocorrendo nos dois períodos de medição redução da temperatura interna devido ao sombreamento.

Figura 55 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P e PS, em  $^{\circ}\text{C}$ .



Na relação entre a célula-teste B e a célula-teste BS observa-se, no período de medições no inverno e no verão, temperatura média interna maior para a célula-teste BS, na ordem de  $0,68$  e  $0,43^{\circ}\text{C}$ , resultando um acréscimo da temperatura com o sombreamento. Mesmo com o sombreamento da envoltória na célula-teste BS observamos acréscimos da temperatura interna superiores aos resultados alcançados pela célula-teste B, fato que pode ser atribuído à redução da perda de calor por convecção na superfície externa da envoltória. A tela sombrite próxima à envoltória, apesar de sombrear, também se constitui em um elemento de obstrução à ventilação natural.

Figura 56 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-BS, em °C.



Na célula-teste S em relação à célula-teste SS, com a presença de sombreamento na envoltória, observa-se uma redução da temperatura média interna em 0,77°C no período de inverno, e de 1,36°C no período de verão. No período de verão, com maior radiação solar direta o sombreamento mostra-se mais eficaz para a envoltória de maior inércia térmica.

Figura 57 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste S-SS, em °C.



Na célula-teste P observa-se temperaturas médias na faixa de 1,06°C acima das temperaturas médias da célula-teste BS no período de inverno e de 2,56°C para o período de verão, neste caso há duas variáveis a influenciar na redução da temperatura interna da célula-teste BS - o sombreamento da envoltória e a baixa absorvância.

Figura 58 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-BS, em °C.



A célula-teste P apresentou temperatura média 1,63°C acima da temperatura média na célula-teste Solo-cimento sombreada (SS), no período de inverno. No verão, essa diferença reduz-se levemente, para 1,56°C, fato que deve estar associado à maior insolação no período de verão. A alta absorvância da célula-teste P (0,9) e a ausência de proteção solar na envoltória são determinantes para a elevação da temperatura interna.

Figura 59 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-BS, em °C.



Comparando-se as temperaturas médias das células-teste B e SS verifica-se pouca diferenças nas temperaturas no período de inverno, porém no verão, a diferença é significativa. Contribuem para essa diferença a inércia do solo-cimento e a redução das perdas por convecção na superfície da envoltória sombreada, posto que a tela é um elemento de obstrução à passagem do ar.

Figura 60 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-SS, em °C.



A célula-teste B apresenta temperaturas médias internas, tanto no período de inverno como no período de verão, sempre abaixo da célula-teste PS. A influência da alta absorvância (0,9) da envoltória é mais significativa no período de verão, acrescentando-se ainda a redução da perda de calor pela convecção (obstrução do sombrite).

Figura 61 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-PS, em °C.



A célula-teste S em comparação com a célula-teste BS, tanto no inverno como no verão, apresentou temperatura média sempre acima do exemplar com sombreamento. No inverno a diferença é pequena, apenas 0,2°C. Porém, no verão, a diferença é significativa de 2,35°C. A inércia térmica e o coeficiente de absorção da envoltória em solo-cimento, na condição de predominância de céu claro, determinaram temperaturas internas mais elevadas que a célula-teste de envoltória com baixa absorção e sombreamento.

Figura 62 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste S-BS, em °C.



Na comparação entre as células-teste S e PS a diferença entre as temperaturas médias internas é pequena no inverno, apenas 0,03°C, contrapondo-se à condição existente no período de verão, sendo a temperatura média na célula-teste S 1,37°C acima da temperatura da célula-teste PS. Pode-se, assim, associar que a envoltória com superfície de alta absorvância (0,9) com o uso do sombreamento pode apresentar significativa redução de temperatura interna no verão. A capacidade térmica da vedação em solo-cimento perante à exposição ao sol armazenou na sua estrutura interna ganhos térmicos que necessitam um período de tempo maior para resfriamento.

Figura 63 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste S-PS, em °C.

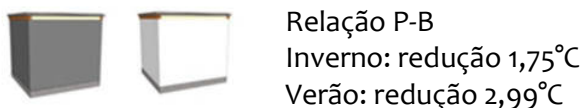


#### **4.5. Influência da absorvância da envoltória nas células-teste**

Para avaliar a influência do coeficiente de absorção realizou-se a comparação das equações entre as células-teste expostas à radiação solar direta e as células-teste sob o efeito do sombreamento na envoltória.

A célula-teste P no período de inverno apresentou temperatura média interna 1,75°C acima da temperatura média interna da célula-teste B, havendo um aumento significativo no período de verão, devido a predominância de céu claro, a temperatura média interna na célula-teste P é 2,99°C acima da temperatura encontrada na célula-teste B.

Figura 64 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-B, em °C.



O sombreamento atenua significativamente a influência do alto coeficiente de absorção na elevação da temperatura interna, como pode ser observado na comparação entre as células-teste PS e BS, onde se verifica uma diferença de temperatura média interna de 0,18°C no inverno e de 0,98°C no verão.

Figura 65 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste PS-BS, em °C.



#### **4.6. Influência da massa térmica na envoltória das células-teste**

Referenciando-se ao efeito da massa térmica na envoltória, representada pelas células-teste constituídas de blocos em solo-cimento, observam-se nas medições no período de verão e inverno situações opostas.

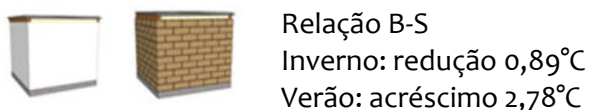
A temperatura média interna da célula-teste em solo-cimento (S) no período de inverno é 0,86°C inferior à temperatura média interna da célula-teste de alvenaria de 8 furos com alta absorvância (P). No período de verão, essa diferença é de 0,21. Para esta ocorrência destacam-se duas variáveis: a absorvância da superfície aparente do solo-cimento em torno de 0,6, e a capacidade térmica do mesmo e a capacidade térmica do material do mesmo.

Figura 66 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste P-S, em °C.



Na célula-teste com tijolo de 8 furos e envoltória com baixa absorvância B observa-se temperatura média interna abaixo das apresentadas na célula-teste S, com  $0,89^{\circ}\text{C}$  no período de inverno e  $2,78^{\circ}\text{C}$  no período de verão. No inverno a inércia térmica do solo-cimento contribui para a redução da carga térmica, contudo no verão, na condição de céu claro, a absorvância e a inércia térmica do solo-cimento contribuíram para o aumento da temperatura interna.

Figura 67 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste B-S, em  $^{\circ}\text{C}$ .



Na comparação entre a célula-teste PS e a célula-teste SS verifica-se grande proximidade na temperatura interna média, o sombreamento nesse caso anulou a influência da inércia térmica e a alta absorvância, principalmente para a condição de verão.

Figura 68 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste PS-SS, em  $^{\circ}\text{C}$ .



Na comparação entre as células-teste BS e SS constata-se maior influência da inércia térmica para a redução da temperatura interna no inverno, ao contrário do verão, onde a absorvância maior da envoltória em solo-cimento contribui para o aumento da temperatura interna.

Figura 69 – Relação entre a temperatura média interna das células-teste BS-SS, em  $^{\circ}\text{C}$ .



#### **4.7. Termografia de imagem em infravermelho**

Os estudos realizados através do uso da Termografia em infravermelho tem como base de análise a temperatura superficial das células-teste em análise. O uso da câmera termográfica ocorreu em dias sequenciais com condições atmosféricas distintas. Dois registros termográficos foram realizados: a) o primeiro registro refere-se a imagem no modo fusão, que corresponde a imagem real combinada ao fundo com a imagem em infravermelho; b) o segundo registro termográfico ocorre no modo infravermelho, que corresponde a imagem completa em infravermelho.

As seguir será apresentada a análise dos resultados das medições termográficas, separada segundo o período de medição de inverno e de verão.

##### **4.7.1. Período de medição de inverno**

As medições de inverno ocorreram em condições atmosféricas de céu nublado marcado por fortes chuvas, com o registro termográfico realizado no período da manhã, a partir das 8h.

Diagnosticou-se uma diferença de aproximadamente 1°C entre as superfícies sem proteção à radiação solar direta – as células-teste P, B e S e àquelas que apresentavam a mesma tipologia de envoltória, porém com sombreamento - células-teste PS, BS e SS. Como pode ser observado nas imagens a seguir.

Na imagem termográfica da Figura 70 (modo fusão – à esquerda) a célula-teste P apresenta temperatura de superfície máxima de 24°C, no modo Infravermelho (à direita) a temperatura de superfície máxima é 24,1°C. Com a célula-teste PS (Figura 71), no modo Fusão, a temperatura de superfície máxima é de 23,1°C, enquanto, no modo infravermelho a temperatura de superfície máxima é 23,3°C. Na célula-teste B (Figura 72), no modo Fusão (à esquerda) e modo infravermelho (à direita), a temperatura de superfície máxima é 22,9°C e 22,8°C, respectivamente. Na célula-teste BS (Figura 73) as temperaturas de superfície máximas são: 23°C e 23,1°C.



Figura 70 – Célula-teste com envoltória de alta absorção - P (12/07 - 8:00h)

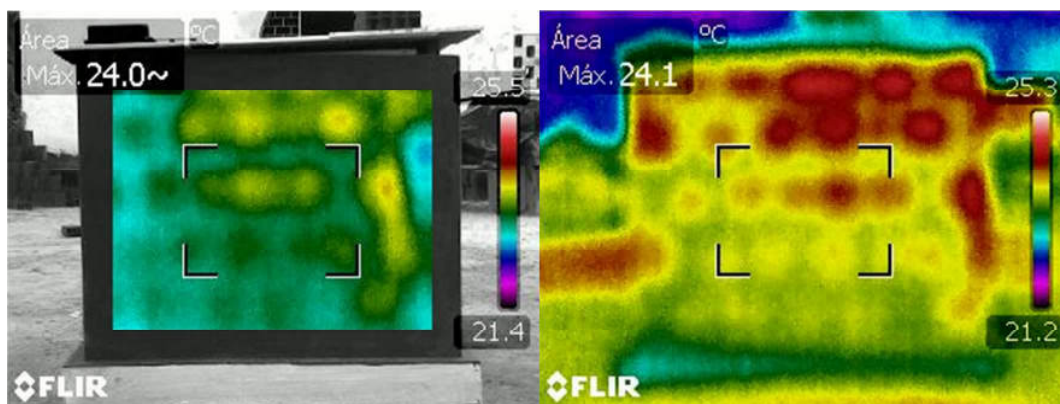


Figura 71 – Célula-teste de alta absorção e sombreamento – PS (12/07 - 8:00 h)

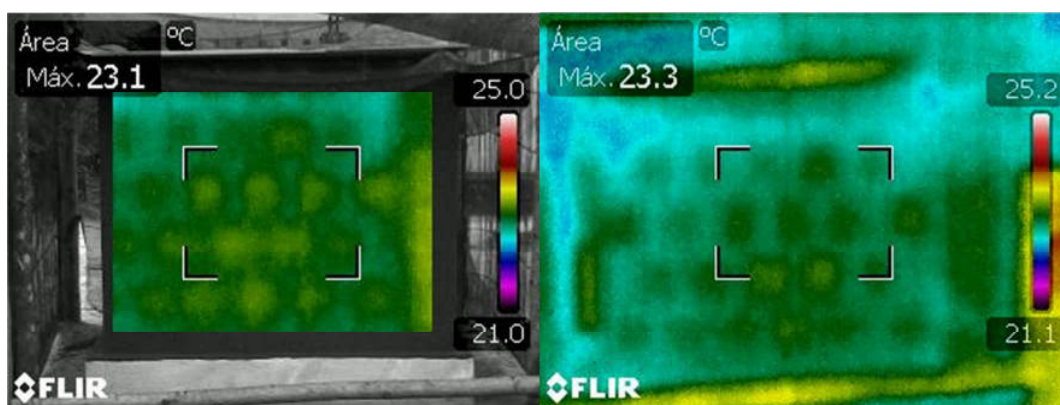


Figura 72 - Célula-teste com envoltória de baixa absorção - B (12/07 - 8:00 h)

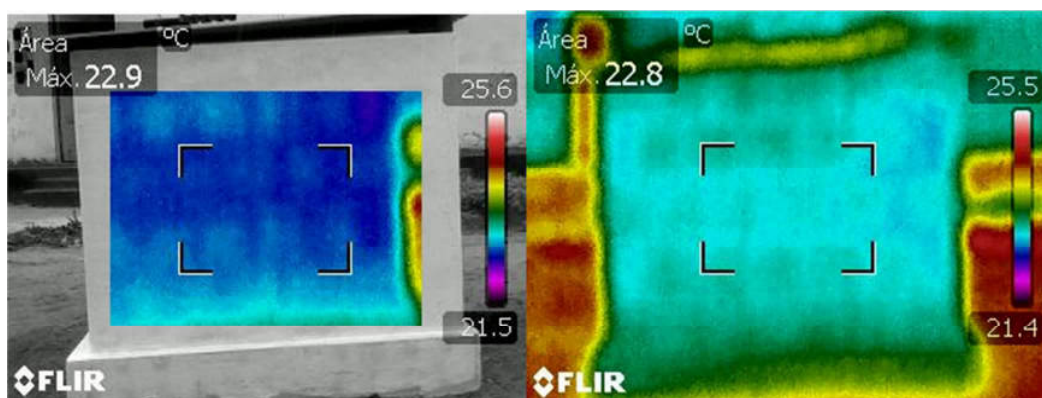
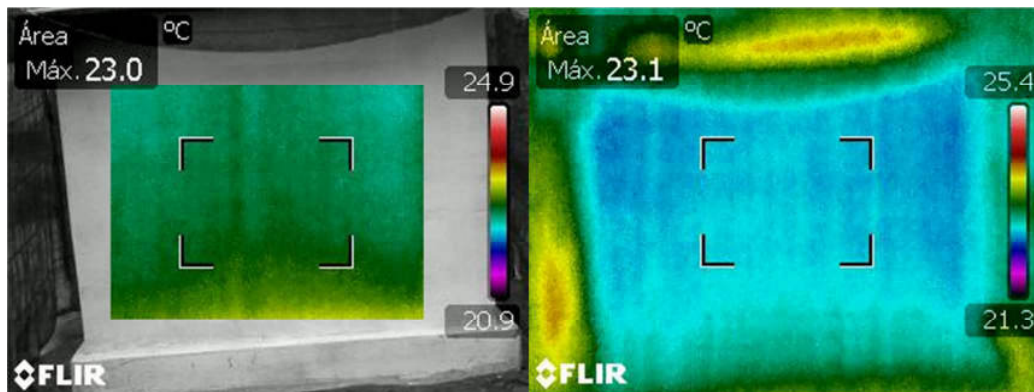




Figura 73 - Célula-teste de baixa absorptância e sombreamento (12/07 - 8:00h)



Na célula-teste S (Figura 74) a temperatura de superfície máxima no modo fusão é 23,9°C e, no modo infravermelho, é 24°C. Com sombreamento, célula-teste SS (Figura 13), as temperaturas de superfícies máximas registradas apresentaram mesmo valor, de 23,6°C.

Figura 74 - Célula-teste com envoltória em solo-cimento (12/07 - 8:00h)

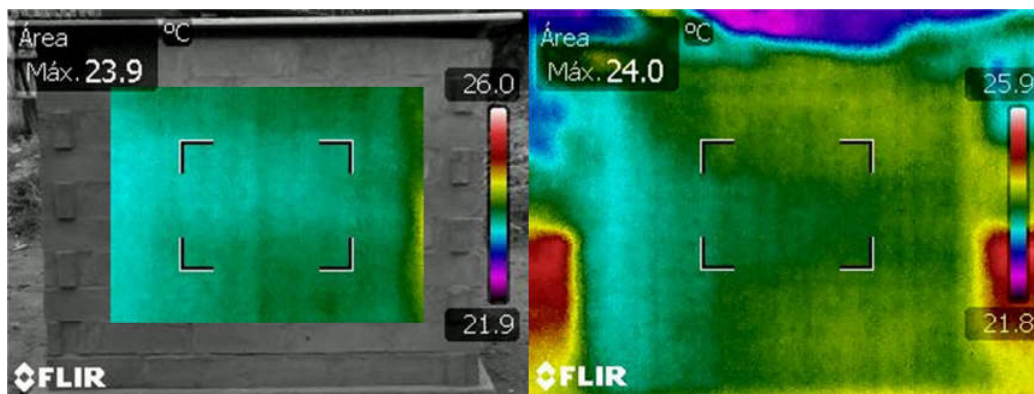
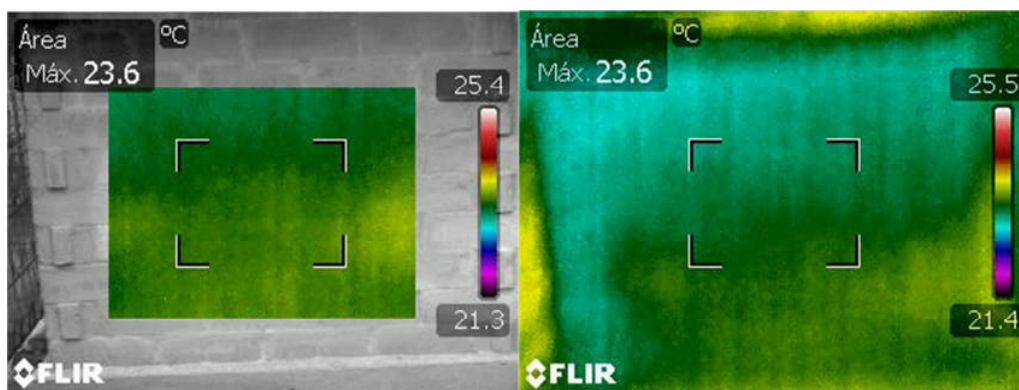


Imagem termográfica da célula-teste S no modo Fusão, com temperatura de superfície máxima de 23,9°C e Infravermelho com temperatura de superfície máxima de 24°C, respectivamente.

Figura 75 - Célula-teste com envoltória em solo-cimento e sombreamento (12/07 - 8:00h)



A temperatura externa do ar registrada foi 23,3°C, observa-se que a temperatura de superfície no registro termográfico da manhã esteve sempre próxima à temperatura do ar externo. Verifica-se, também, temperaturas de superfície para as células-teste próximas umas das outras, PS (23,1°C), B (22,9°C) e BS (23,0°C), com maiores diferenças nas células-teste P (24,0°C) e S (23,9°C).

Na tabela 9 destacam-se as temperaturas internas e as temperaturas de superfície, obtidas com as imagens termográficas, realizadas em 12 de julho e correspondentes ao horário das 8:00 horas.

Na célula-teste P verifica-se um aquecimento da envoltória em relação à temperatura do ar externo de 0,7°C, devido principalmente à exposição ao sol da célula-teste. Na célula-teste PS, com sombreamento da superfície externa, observa-se uma pequena redução da temperatura do ar interno para 23,2°C, abaixo 0,1°C da temperatura do ar externo, na envoltória a temperatura de superfície de 23,1°C, sendo 0,2°C abaixo da temperatura externa do ar. O sombreamento evitou a elevação da temperatura superficial, porém reduz as trocas por convecção, a temperatura interna na célula-teste sombreada é levemente superior à temperatura de superfície.

Tabela 9 – Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 12/07 às 8:00 h.

12/07 - 8h	Células-teste						Condição do Tempo
	P	PS	B	BS	S	SS	
Temperatura Interna – Tint	23,5°C	23,2°C	24,1°C	23°C	24,2°C	23,2°C	Temperatura do ar: Text = 23,3°C Nublado-chuvoso
Temperatura de Superfície – TS	24°C	23,1°C	22,9°C	23°C	23,9°C	23,6°C	
Relação Tint –TS	-0,5°C	+0,1°C	+1,2°C	0°C	+0,3°C	-0,4°C	

(Emissividade=0,95 e T Refl. = Text do ar)

Na célula-teste B verifica-se temperatura interna com 0,8°C acima da temperatura do ar externo, enquanto a temperatura de superfície encontra-se 0,4°C abaixo da temperatura do ar externo. Na célula-teste BS observa-se temperatura interna e temperatura de superfície com 0,3°C abaixo da temperatura do ar externo, essa redução deve-se ao efeito do sombreamento. Na célula-teste S observa-se temperatura interna do ar com 0,9°C acima da temperatura do ar externo, enquanto a temperatura de superfície nesta célula-teste esteve 0,6°C acima da temperatura do ar externo. As temperaturas do ar interno e de superfície aumentaram nesta célula-teste devido à inércia do material da envoltória. Na célula-teste SS a temperatura interna e a temperatura de superfície, estão, respectivamente, 0,1°C abaixo e 0,3°C acima da temperatura do ar externo, consequência da proteção da radiação solar direta com o sombreamento.

Nas medições correspondentes ao período da tarde, iniciadas às 16h, observou-se pouca diferenciação entre a temperatura de superfície das células-teste. As células-teste expostas à radiação solar direta – P, B e S - apresentam temperatura de superfície mais elevada que seus pares sombreados – PS, BS e SS.

Na célula-teste P (Figura 76) a temperatura de superfície máxima é 22,6°C, no modo fusão e de 23,2°C, no modo infravermelho. Na célula-teste PS (Figura 15) as temperaturas de superfície máximas registradas foram 22,1°C e 22,5°C. As temperaturas máximas na célula-teste de baixa absorvância - B, foram de 22,1°C e 22,4°C (Figura 16). A célula-teste equivalente com sombreamento – BS, apresentou temperaturas de superfície máximas de 22,2°C e 22,6°C.

Figura 76 - Célula-teste com envoltória de alta absorção (12/07 - 16:00h)

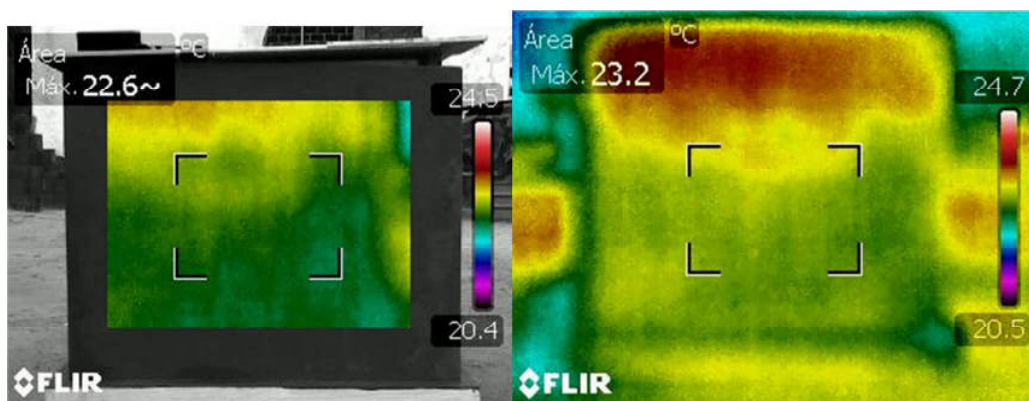


Figura 77 - Célula-teste com envoltória de alta absorção e sombreamento (12/07 - 16:00h)

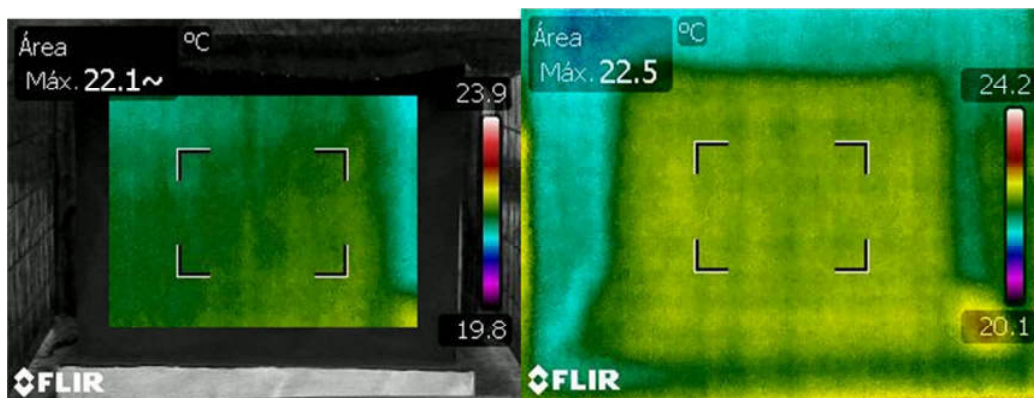


Figura 78 - Célula-teste com envoltória de baixa absorção (12/07 - 16:00h)

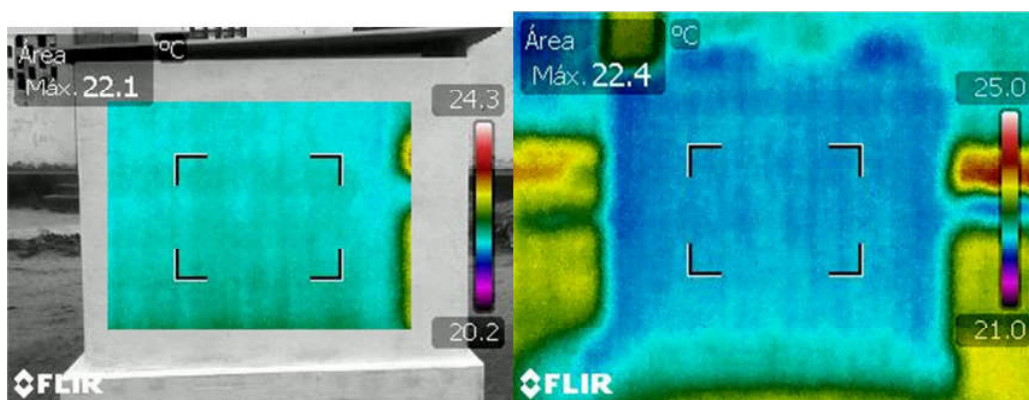
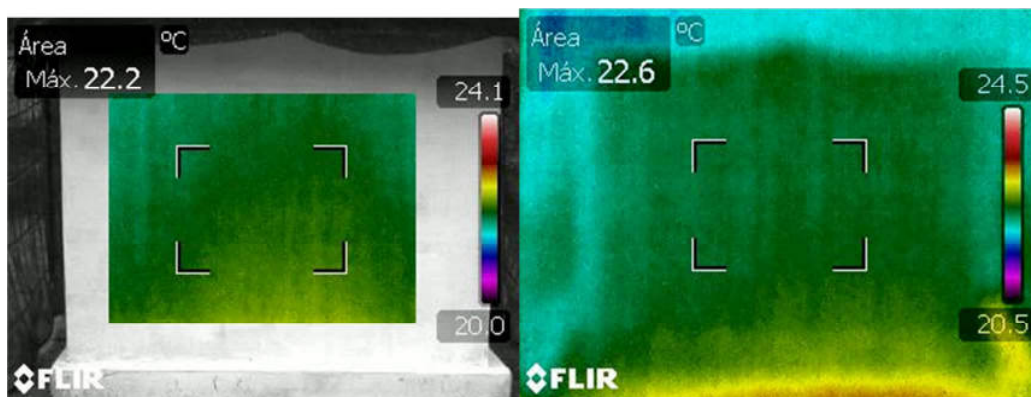




Figura 79 - Célula-teste com baixa absorptância e sombreamento (12/07 - 16:00h)



Na célula-teste S a temperatura de superfície máxima é 23,1°C e 23,4°C, enquanto na célula-teste equivalente com sombreamento – SS, as temperaturas de superfície máximas foram 22,6°C (modo fusão) e 23,1°C (modo infravermelho).

Figura 80 - Célula-teste com envoltória em solo-cimento (12/07 - 16:00h)

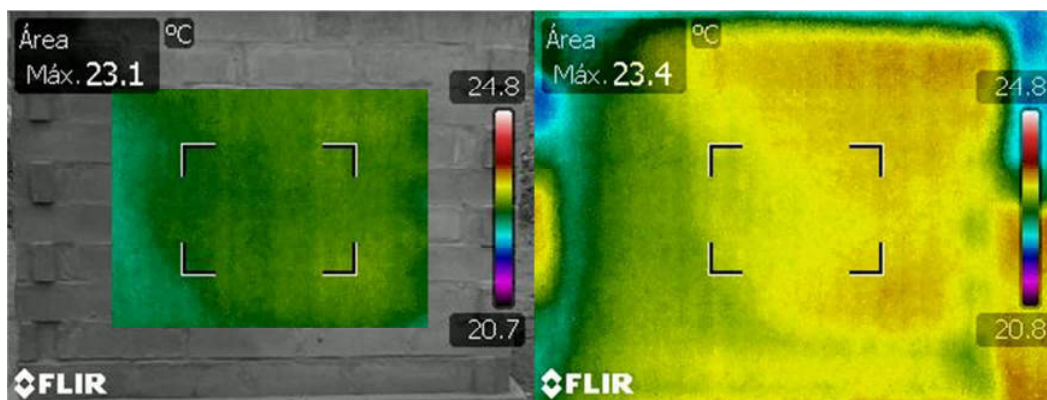
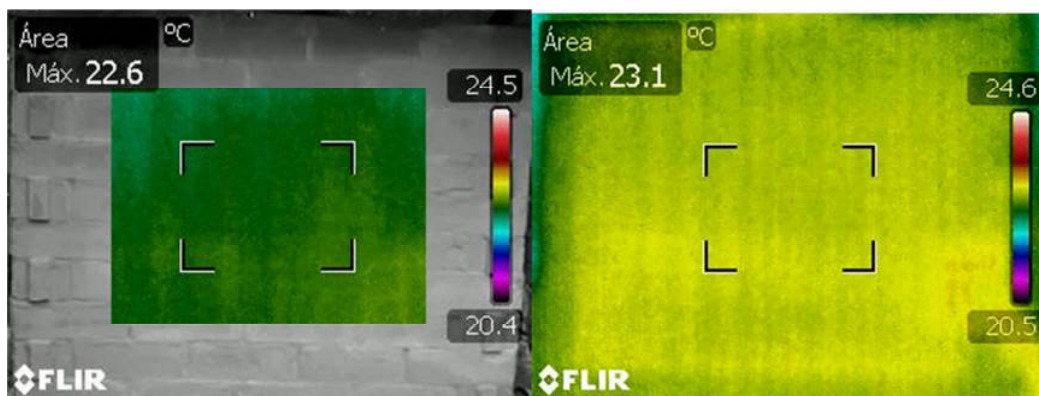


Figura 81 - Célula-teste com envoltória em solo-cimento e sombreamento (12/07 - 16:00h)



No período da tarde observaram-se pequenas variações nas medições de temperatura de superfície das células-teste. Entre a amostra P e PS verificou-se uma diferença de apenas -0,4°C, causada pelo sombreamento da superfície externa. Nas células-teste B e BS a diferença é reduzida, de apenas +0,1°C para a célula-teste BS, nesse caso, o sombreamento atua como redutor das trocas de calor por convecção. Na célula-teste S as temperaturas de superfície estão na faixa de 23,1°C, com temperaturas da célula-teste SS de 22,6°C, representando uma redução devido ao sombreamento de -0,5°C.

Nas medições realizadas no período da tarde a temperatura do ar externo estava na faixa dos 22,7°C. As temperaturas de superfície das células-teste apresentaram-se próximas a este valor, devido à condição constante de tempo nublado, sem maior intensidade da radiação solar sobre as superfícies. Na tabela 7 destacam-se as temperaturas internas e as temperaturas de superfície, obtidas com as imagens termográficas, realizadas em 12 de julho e correspondentes ao horário das 16:00 horas.

Tabela 10 – Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 12/07 às 16:00 h.

12/07 - 16h	Células-teste						Condição do Tempo
	P	PS	B	BS	S	SS	
Temperatura Interna – Tint	24,5°C	24°C	24,8°C	23,6°C	24,7°C	24,1°C	Temperatura do ar: Text = 22,7°C Nublado-chuvoso
Temperatura de Superfície - TS	22,6°C	22,1°C	22,1°C	22,2°C	23,1°C	22,6°C	
Relação Tint-TS	+1,9°C	+1,3°C	+1,7°C	+1,4°C	+1,6°C	+1,5°C	

(Emissividade=0,95 e T Refl. = Text do ar)

Na célula-teste P registra-se uma temperatura interna 1,8°C acima da temperatura do ar externo, e temperatura de superfície externa abaixo apenas 0,1°C da temperatura do ar externo. A diferença entre a temperatura interna do ar em relação à temperatura da superfície externa foi de +1,9°C. Neste caso a alta absorção da superfície externa promoveu um aumento significativo da temperatura ao logo do período de exposição ao sol, preservando a temperatura aquecida no invólucro da célula-teste.

Para a célula-teste PS a temperatura interna foi de  $1,3^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura do ar externo enquanto a temperatura de superfície esteve próxima à temperatura do ar externo - diferença de apenas  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura interna do ar na célula-teste B corresponde a  $24,8^{\circ}\text{C}$ , quando a temperatura da superfície externa esteve abaixo em  $0,6^{\circ}\text{C}$  da temperatura do ar externo. A célula-teste BS mesmo sob o efeito do sombreamento da sua superfície apresentou temperatura interna do ar com  $0,9^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura externa do ar. Na temperatura da superfície externa observaram-se valores  $0,5^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura do ar externo. A amenização da temperatura com o sombreamento não ocorreu como esperado, provavelmente pela redução das perdas por convecção. Para a célula-teste S observa-se tanto a temperatura de superfície externa, de  $23,1^{\circ}\text{C}$ , como a temperatura interna do ar de  $24,7^{\circ}\text{C}$ , acima da temperatura do ar externa. Este fato caracteriza-se pela alta capacidade térmica do bloco, que acumula energia térmica. Na célula-teste SS observa-se temperatura interna do ar de  $24,1^{\circ}\text{C}$  e temperatura de superfície externa de  $22,6^{\circ}\text{C}$ , verificando-se a retenção de energia térmica pelos blocos, e a redução do processo convectivo do ar pelos anteparos de sombreamento a reduzir a equilibrar a temperatura interna com a temperatura externa.

#### **4.7.1. Período de medição com céu claro**

As medições ocorreram no dia 14/07 em condição atmosférica de céu claro, sem obstrução de nuvens, e em condições constantes de insolação, pode-se neste caso observar temperaturas de superfície maiores que as registradas no período chuvoso. A presença de chuva pode interferir no comportamento da envoltória, devido a umidificação da vedação e o resfriamento convectivo causado pela presença da ventilação natural.

As medições de temperatura de superfície na condição de céu claro, sem presença de chuva e pouca nebulosidade foram as condições atmosféricas mais propícias ao registro termográfico, gerando imagens de calor das superfícies externas de forma mais clara, apresentando um gradiente de temperatura com contrastes mais nítidos e variantes de temperatura mais perceptíveis.

Conforme os registros termográficos observados há reduções significativas de temperatura superficial em determinadas células-teste. No momento da medição termográfica a temperatura externa do ar estava na ordem dos 25,4°C (condições atmosféricas de céu limpo e claro, com pouca presença de nuvens).

Nas medições termográficas no início da manhã as superfícies externas das células-teste P (36,0°C), PS (29,6°C) e S (31,3°C) são significativamente altas, comparando-se às demais. Observa-se que a célula-teste PS apresentou uma redução significativa de -7,4°C em relação a célula-teste P. Para as células-teste B observamos uma temperatura de superfície abaixo do seu correlato sombreado – célula-teste BS – na faixa de 0,2°C, representando praticamente a mesma temperatura de superfície. Na célula-teste em solo-cimento S (31,3°C) verificamos a redução com o sombreamento SS (26,3°C) de -5,0°C, também bastante significativa, Figuras 82 à 87.

Figura 82 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância (14/07 - 8:00 h)

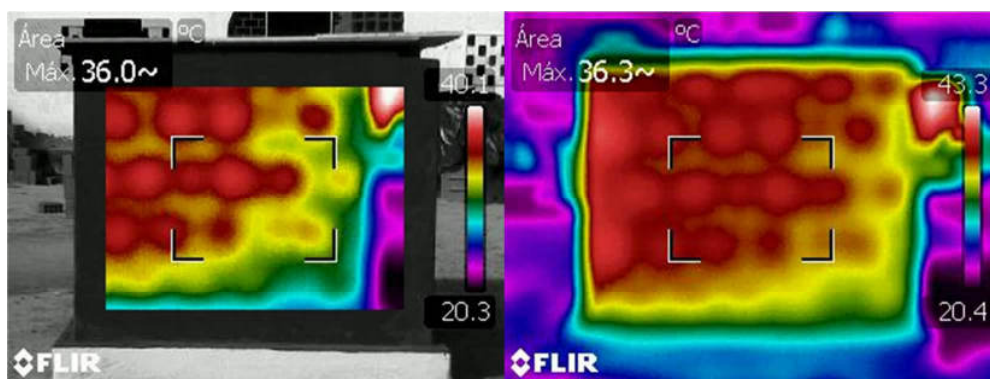




Figura 83 - Célula-teste com envoltória de alta absorção e sombreamento (14/07 - 8:00 h)

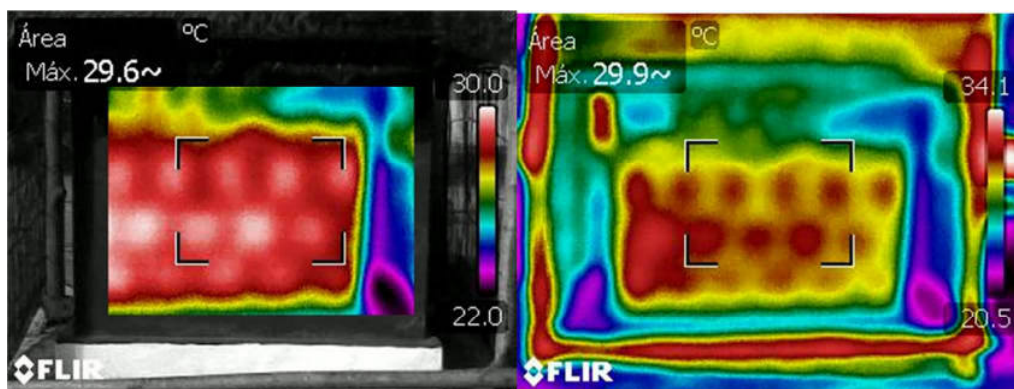


Figura 84 - Célula-teste com envoltória de baixa absorção (14/07 - 8:00 h)

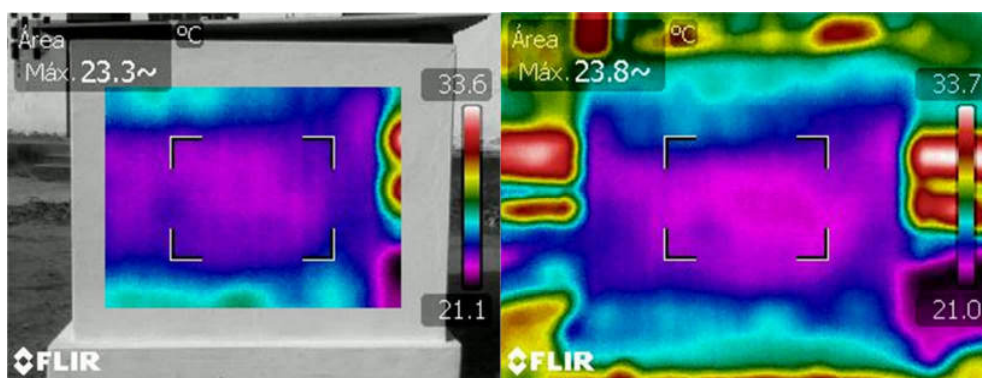


Figura 85 - Célula-teste de baixa absorção e sombreamento (14/07 - 8:00 h)

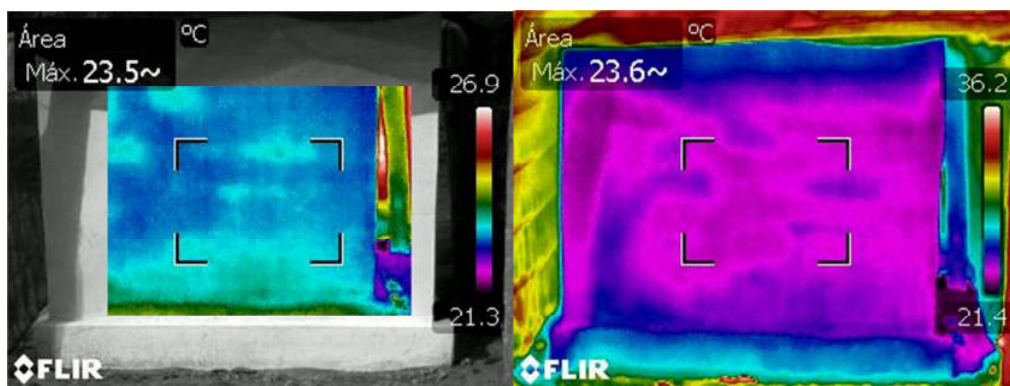


Figura 86 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento (14/07 - 8:00 h)

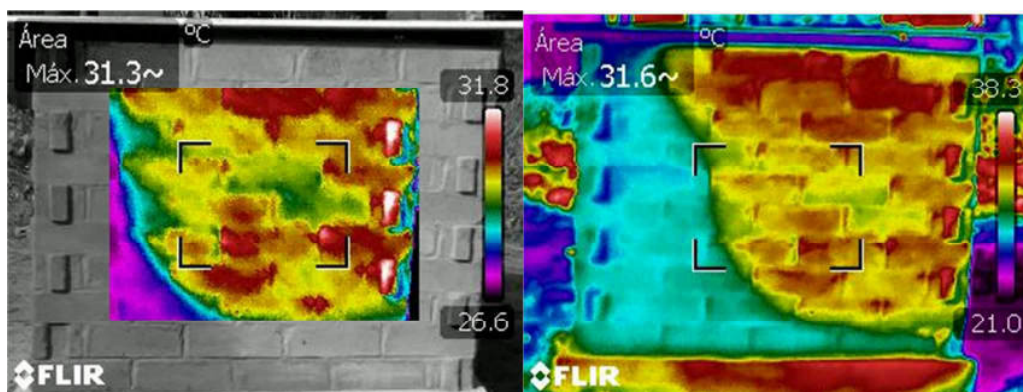
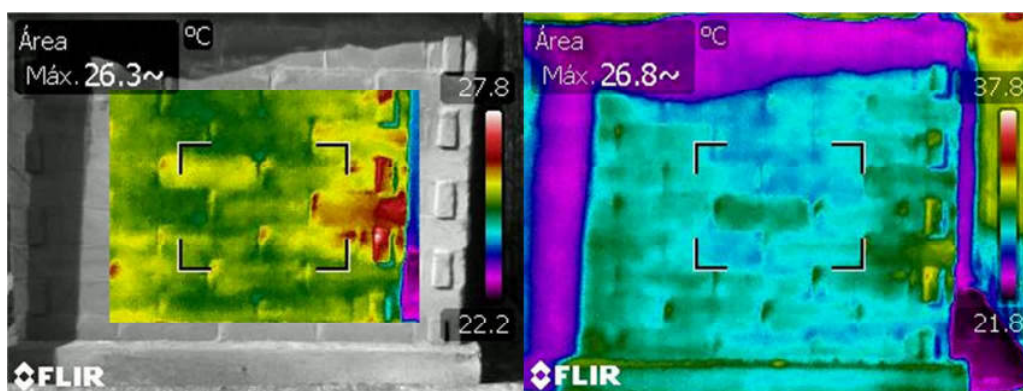


Figura 87 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento e sombreamento (14/07 - 8:00 h)



Na tabela 11 destacam-se as temperaturas internas e as temperaturas de superfície, obtidas com as imagens termográficas, realizadas em 14 de julho e correspondentes ao horário das 08:00 horas.

Tabela 11- Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 14/07 às 08:00 h

14/07 - 8h	Células-teste						Condição do Tempo
	P	PS	B	BS	S	SS	
Temperatura Interna – Tint	24,7°C	23,4°C	24,8°C	22,4°C	23,5°C	22,8°C	Temperatura do ar: Text = 25,4°C Céu limpo e claro
Temperatura de Superfície - TS	36°C	29,6°C	23,3°C	23,5°C	31,3°C	26,3°C	
Relação Tint-TS	-11,3°C	-5,8°C	+1,5°C	-1,1°C	-7,8°C	-3,5°C	

(Emissividade=0,95 e T Refl. = Text do ar)

A célula-teste P apresenta temperatura interna do ar em torno de  $0,7^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura do ar externo, e temperatura de superfície com  $9,3^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura do ar externo. Vários elementos contribuem para esse aquecimento, seja a exposição direta ao sol que a célula-teste apresenta, assim como o aquecimento das superfícies que compõem o entorno. Para a célula-teste PS observa-se temperatura interna com  $2,0^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura externa, enquanto a temperatura da superfície esteve  $4,2^{\circ}\text{C}$  acima da Text. O sombreamento contribuiu para a redução da temperatura superficial, comparando-se esta com aquela registrada na envoltória equivalente sem sombreamento.

Na célula-teste B verifica-se temperatura interna com  $0,6^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura externa, na temperatura de superfície a redução é de  $0,9^{\circ}\text{C}$  em relação à temperatura externa. Na célula-teste BS observa-se temperatura interna com  $3,0^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura externa, enquanto a temperatura de superfície apresentou  $1,9^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura externa. O sombreamento resultou em redução significativa nas temperaturas da célula-teste.

A célula-teste S apresentou temperatura interna com  $1,9^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura externa, porém a temperatura da superfície estava com  $5,9^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura externa do ar. Na envoltória equivalente com sombreamento – SS, verificou-se temperatura interna com  $2,6^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperaturas externas, enquanto a temperatura da superfície esteve  $0,9^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura do ar externo. O solo-cimento retarda o aquecimento, assim como, a ação do sombreamento contribui na redução das temperaturas da célula-teste.

Nas medições realizadas no período da tarde, a partir das 16h, observa-se o aumento das temperaturas internas, como também da temperatura de superfície externa em algumas células-teste, Figuras 26 a 31. Neste momento de medição a temperatura externa do ar estava na faixa dos  $26,7^{\circ}\text{C}$ , em condições atmosféricas de céu limpo e claro, sem interferência de nuvens.

No período da tarde destaca-se o aquecimento da superfície devido à ação da radiação solar direta. As medições de temperatura na célula-teste P estão na faixa dos 40,0°C, com uma redução em relação ao sombreamento, célula-teste PS (35,8°C), de 4,2°C. A redução da temperatura de superfície na célula-teste B (27,3°C) para a célula-teste BS (26,5°C) foi de apenas -0,8°C. Para as células-teste em solo-cimento a temperatura de superfície da célula-teste S (34,6°C) foi reduzida em -6,7°C com o sombreamento, tendo sido observado na célula-teste SS (27,9°C).

Figura 88 - Célula-teste com envoltória de alta absorvância (14/07 - 16:00 h)

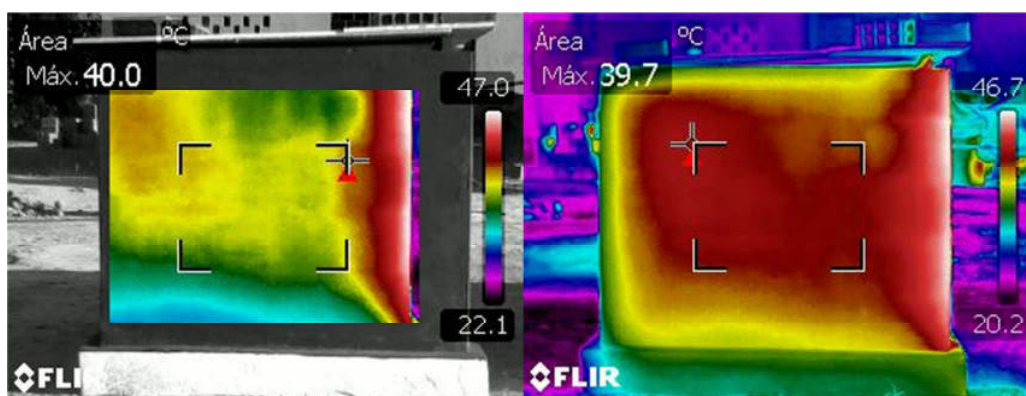


Figura 89 - Célula-teste com alta absorvância e sombreamento (14/07 - 16:00 h)

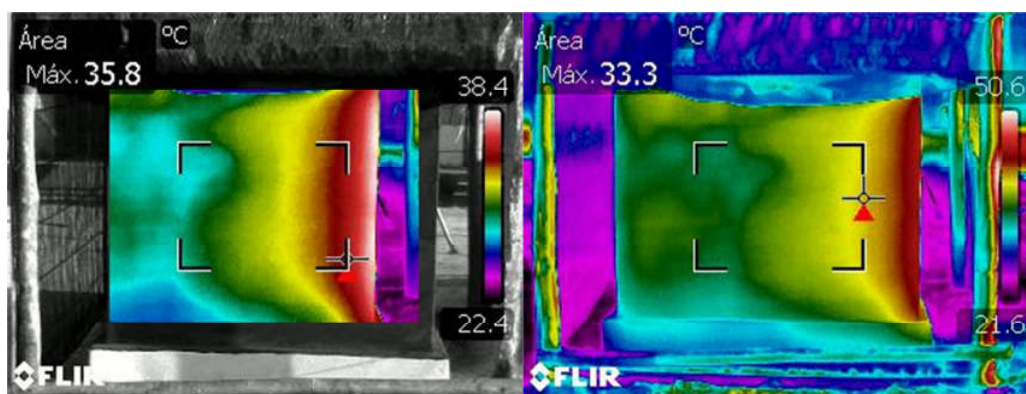




Figura 90 - Célula-teste com envoltória de baixa absorção (14/07 - 16:00 h)

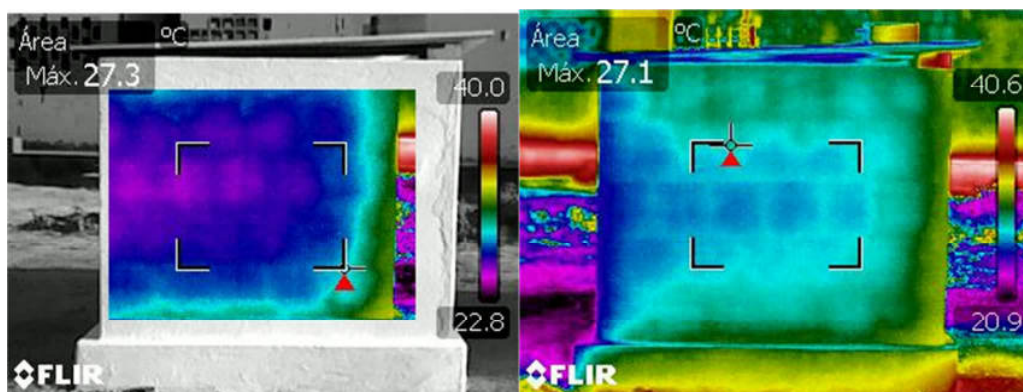


Figura 91 - Célula-teste de alta absorção com sombreamento (14/07 - 16:00 h)

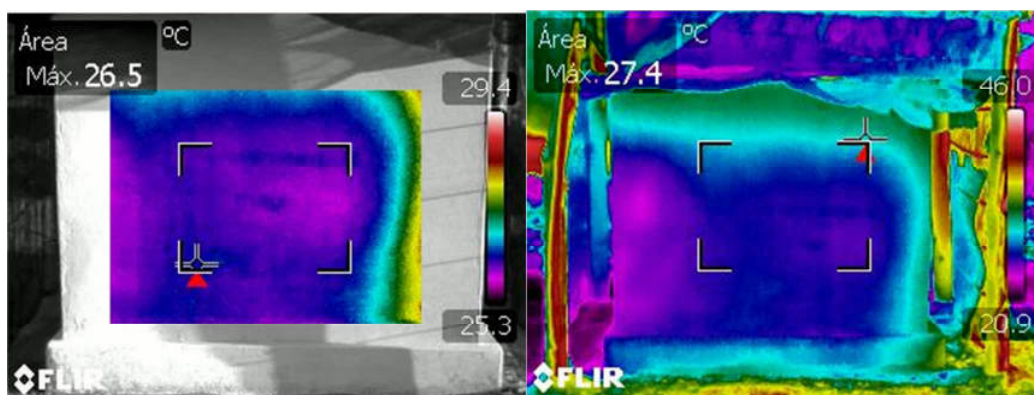


Figura 92 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento (14/07 - 16:00 h)

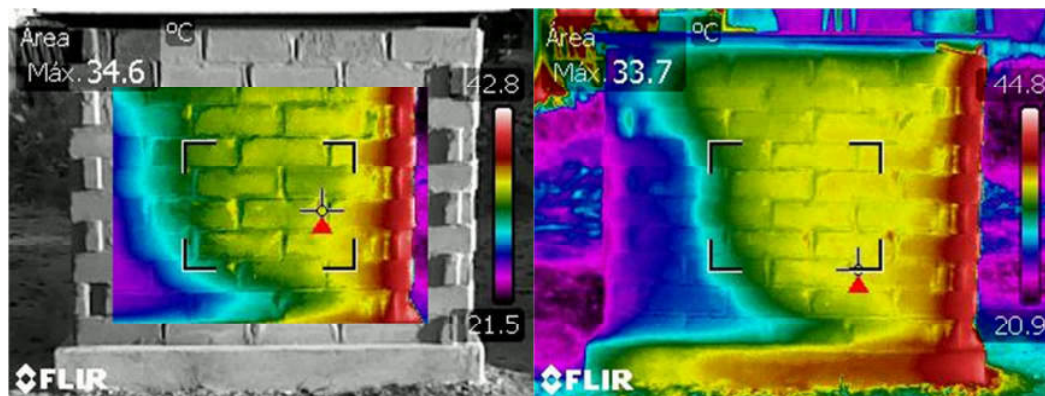
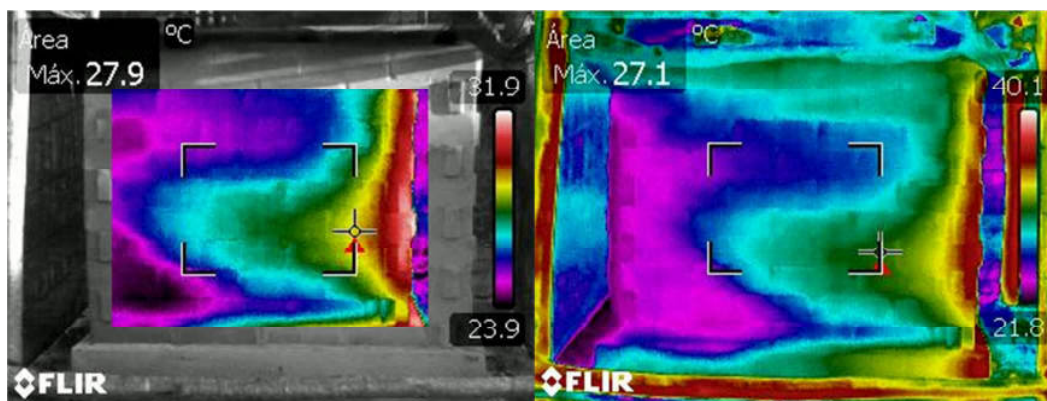


Figura 93 - Célula-teste com envoltória de solo-cimento e sombreamento (14/07 - 16:00 h)



Na tabela 12 destacam-se as temperaturas internas e as temperaturas de superfície, obtidas com as imagens termográficas, realizadas em 14 de julho e correspondentes ao horário das 16:00 horas.

Tabela 12 – Comparação entre as temperaturas superficiais externas, as temperaturas internas das células-teste e a temperatura do ar no exterior em 14/07 às 16:00 h

14/07 - 16h	Células-teste						Condição do Tempo
	P	PS	B	BS	S	SS	
Temperatura Interna – Tint	35°C	30,6°C	27°C	26,8°C	26,7°C	26°C	Temperatura do ar: Text = 27,6°C Céu limpo e claro
Temperatura de Superfície – TS	40,0°C	35,8°C	27,3°C	26,5°C	34,6°C	27,9°C	
Relação Tint-TS	-5,5°C	-5,2°C	-0,3°C	+0,3°C	-7,9°C	-1,9°C	

(Emissividade=0,95 e T Refl. = Text do ar)

A temperatura de superfície da célula-teste B (27,3°C) apresenta-se próxima a temperatura observada na célula-teste SS (27,9°C), assim como, as temperaturas de superfície observadas nas célula-teste S (34,6°C) e PS (35,8°C) estão próximas .

Altas temperaturas superficiais externas ocorreram nas condições de envoltória P (40,0°C), PS (35,8°C) e S (34,6°C). A menor temperatura de superfície externa, que representam o menor aquecimento dado pela radiação solar na superfície externa, ocorreu na célula-teste BS.

Na célula-teste P verificou-se temperatura interna com 7,4°C acima da temperatura externa, enquanto a temperatura da superfície registrada foi de 12,4°C acima da temperatura externa. Na célula-teste PS observou-se temperatura interna com 3,0°C acima da temperatura externa, ao mesmo tempo, a temperatura da superfície esteve 8,1°C acima da temperatura externa. A amenização da temperatura interna com o sombreamento foi de 4,4°C, para a temperatura da superfície essa redução foi de 4,3°C.

Na célula-teste B a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna foi de 0,6°C. Para a temperatura da superfície a diferença foi de 0,3°C. Com a célula-teste BS a redução da temperatura interna em relação à externa foi de 1,2°C e, em relação à temperatura externa e a temperatura de superfície a redução foi de 1,1°C.

A temperatura interna registrada na célula-teste S foi 1,1°C abaixo da temperatura externa, enquanto a temperatura da superfície encontrava-se 7,0°C abaixo da temperatura externa. Com o sombreamento da célula-teste SS a temperatura interna verificada foi de 1,6°C abaixo da temperatura externa, ao mesmo tempo, a temperatura da superfície encontrava-se apenas 0,3°C acima da temperatura externa. O sombreamento da envoltória somado à resistência térmica da vedação em solo-cimento resultou na proteção do ambiente interno frente a picos e oscilações de temperatura do meio externo.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

No presente trabalho analisou-se a influência de variações no fechamento vertical da envoltória sobre as temperaturas internas de seis células-teste. A partir das medições nas células-teste observou-se a correlação entre a temperatura interna horária – mínima, média e máxima e a temperatura externa do ar, apresentando para cada célula-teste equações preditivas de temperatura interna.

As análises estatísticas obtidas apresentaram diferenças significativas com relação a variável temperatura externa do ar, com as variações de envoltória reagindo de forma distinta, ainda que submetidas às mesmas condições ambientais. Nas medições de temperatura do ar e testes termográficos realizados no período de verão verificou-se diferença significativa na temperatura do ar interno entre as soluções de envoltória analisadas.

Dentre as soluções analisadas, na envoltória com alta absorvância foram registradas as temperaturas internas e as temperaturas superficiais externas mais elevadas. Contudo, o sombreamento na envoltória de alta absorvância, resultou na atenuação desses valores - equivalente a pouco menos de 50% dos valores encontrados na célula-teste sem sombreamento.

Na célula-teste com envoltória em solo-cimento, sem sombreamento, as temperaturas internas e temperaturas superficiais externas encontradas correspondem a valores intermediários entre aquelas encontradas na envoltória com alta e baixa absorvância, sendo que, o sombreamento para a solução em solo-cimento, resultou nas menores temperaturas dentre todas as soluções em análise. O que evidencia aspectos positivos dessa combinação para o clima local. As envoltórias constituídas de blocos de solo-cimento sob a ação do sombreamento obtiveram temperaturas médias internas reduzidas em  $-0,77^{\circ}\text{C}$  no período de inverno. No período de medições correspondente ao verão a redução na célula-teste de solo-cimento com sombreamento foi de  $-1,36^{\circ}\text{C}$ . Pode-se concluir que a inércia térmica é boa estratégia para o clima em análise, desde que as superfícies externas estejam protegidas da radiação solar direta.

Comparando-se o comportamento térmico entre as células-teste constituídas de blocos de solo-cimento com as células-teste de alvenaria convencional de baixa absorvância observa-se um acréscimo de  $+0,89^{\circ}\text{C}$  no período de inverno e  $+2,78^{\circ}\text{C}$  no período de verão. Ou seja, a temperatura interna no período de inverno na célula-teste de alvenaria de 8 furos e baixa absorvância é similar àquela encontrada na célula-teste de solo-cimento, porém no verão a diferença entre as mesmas é



significativa. A inércia térmica na condição de exposição à insolação direta, para o clima em estudo, apresenta baixo desempenho.

A partir das equações de regressão, destaca-se que na célula-teste de alta absorvância (0,9) a temperatura média interna no período de inverno foi de 2,2°C acima da temperatura média externa, essa diferença eleva-se no para 4,1°C. O aumento da temperatura interna deve-se, principalmente, ao aumento significativo da temperatura da superfície externa da envoltória, verificada nas medições termográficas as temperaturas de superfície, para a célula-teste de alta absorvância, apresentaram picos de até 9,3°C acima da temperatura externa do ar. A célula-teste de alta absorvância (0,9), com envoltória sombreada, resultou em temperaturas médias internas na faixa de 1,35°C à 2,55°C, acima da temperatura média externa, respectivamente para o período de inverno e verão. O sombreamento reduziu significativamente o ganho de calor, que pôde ser conferido através da temperatura da superfície externa - em torno de 4,9°C acima da temperatura externa do ar. Essa redução é de pouco mais da metade dos valores encontrados na condição sem sombreamento.

A redução da temperatura interna pela presença de sombreamento é maior em dias de condição de céu claro, com redução de 2,0°C à 3,0°C, dependendo da envoltória, principalmente nas células-teste compostas por blocos de solo-cimento, com redução de 2,6°C à 3,0°C.

A quantificação do sombreamento em uma envoltória é complexa, tendo em vista que a posição do sol é variável, tanto ao longo do dia quanto do ano. Neste estudo, o sombreamento foi simulado através do uso de uma tela vazada disposta igualmente entorno da envoltória vertical das células-teste sombreadas. Com os resultados observa-se que a redução da temperatura interna nas células-teste com sombreamento é significativa. Contudo, na célula-teste com envoltória de baixa absorvância, verificou-se ocorrência de acréscimo na temperatura interna na célula-teste sombreada, único caso que houve acréscimo da temperatura interna com a inclusão do sombreamento na envoltória, esse fato deve-se à obstrução da tela à passagem do ar, que reduz a ventilação natural na superfície vertical da envoltória, conseqüentemente, reduzindo as perdas de calor por convecção através dos fechamentos verticais. Na célula-teste de baixa absorvância (0,2) a temperatura média interna foi de 0,49°C e 1,15°C acima da temperatura média externa, no inverno e verão, respectivamente. Para a célula-teste de cor clara de baixa absorvância com sombreamento, o aquecimento da temperatura média interna foi de 1,17°C no inverno e 1,58°C no verão, em relação à média externa. Assim, a célula-teste de baixa absorvância com sombreamento, apesar de mais protegida da radiação solar, apresentou temperatura média interna superior à célula-teste equivalente sem sombreamento.

Com o uso da termografia foi possível verificar o aquecimento da superfície da envoltória. Na condição de céu nublado as células-teste apresentaram temperaturas de superfície da envoltória próximas à temperatura externa do ar. As maiores temperaturas de superfície ocorrendo nas células-teste sem a presença do sombreamento na envoltória, notadamente nos exemplares de alta absorvância e solo-cimento.

**Recomendações para trabalhos futuros:**

- Incluir aberturas nas células-teste para analisar a variável ventilação natural no ambiente interno;
- Analisar a influência do uso de barreira radiante no plano da cobertura (horizontal);
- Analisar a influência de soluções de sombreamento com menor obstrução da ventilação natural;
- Analisar a influência da vegetação no sombreamento da célula-teste.
- Aplicar o método proposto em outros tipos de clima;
- Verificar qual o período mínimo de medição em climas com pouca variação térmica anual;
- Analisar a solução de envoltória em solo-cimento adotando-se revestimento superficial de baixa absorvância.

## REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - Desempenho Térmico de Edificações: Parte 2: Método de Cálculo da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico, e do Fator Solar de Elementos e Componentes de Edificações – Comitê Brasileiro de Construção Civil, Rio de Janeiro, 2003.

Abreu, Ana Lígia Pajts. Método Estimativo da Temperatura Interna de Edificações residenciais em Uso. (2004). Tese. 179f. (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Adam, E.A.; Jones, P.J. Thermophysical properties of stabilized soil building blocks. *Building and Environment*. v.30, n. 2, p. 245-253. 1995.

Albatici, R., & Tonelli, A. M. Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site. *Energy and Buildings*, Vol.42, p. 2177-2183. 2010.

Al-Sanea, S. A. Thermal performance of building roof elements. *Building and Environment*, Vol.37, p. 665-675. 2002.

Avdelidis, N., & Moropoulou, A. Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, vol.35, p. 663-667. 2003.

Baden-Württemberg, M. d. Städtebauliche Klimafibel. (F. d. Silva, Trad.) Filderstadt, Bonlanden: W.E. Weinmann. 1995.

Balaras, C. A., & Argiriou, A. A. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, vol.34, p. 171-183. 2002.

Bansal, N.K.; Garg, S.N.; Kothari, S. Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings. *Building and Environment*, vol.27, p. 31-37. 1992.

Barbosa, N. P. ; Mattone, R. ; Mesbah, A. . Blocos de concreto de terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção. In: 44ª CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002, Belo Horizonte-MG. Anais do 44ª CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002.

Barbosa, N. P. ; Mattone, R. . Estudos sobre tijolos de terra crua desenvolvidos na Universidade Federal da Paraíba e Politecnico di Torino. In: II Congresso de engenharia civil da Univ. Fed. de Juiz de Fora, 1996, Juiz de Fora-MG. Anais do II Congresso de engenharia civil da Univ. Fed. de Juiz de Fora. Juiz de Fora-MG, 1996.

Barbosa, N. P. ; Ghavami, K. . Terra crua para edificações. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). *Materiais de Construção Civil*. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2007, vol. 2, p. 1505-1538. 2007.

Barreira, E., & Freitas, V. P. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, p. 218-224. 2007.

Blanxart, D. Análisis Exploratório de Dados: Nuevas Técnicas Estadísticas, Promociones y Publicaciones Universitárias, S. A. , Barcelona. 1992

Berdahl, P.; Bretz, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*. Vol.25, p.149-158. 1997

Carlo, J. C., & Lamberts, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios parte 2: método de simulação. *Ambiente Construído* , vol.10, p. 27-40. 2010.

Carlomagno, G. M., & Meola, C. Comparison between thermographic techniques for frescoes NDT. *NDT&E International* , vol.35, p. 559–565. 2002.

Castro, A.; Leder, S. ; Cordeiro, A. A precisão das ferramentas informatizadas de modelagem 3D na representação da sombra projetada em modelos virtuais. ENTAC - *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 2010.

Bussoloti, F. N. Bio-Arquitetura. Disponível em 14.08.2012:  
<http://ambiente.hsw.uol.com.br/adobe3.htm> .2008.

Costa, E. C. da. Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, p.264. 1982.

Cheng, V., Ng., E., & Givoni, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy* , vol.78, p. 528-534. 2005.

Chew, M. L. Assessing building façades using infra-red thermography. *Structural Survey* , vol.16, p. 81-86. 1998.

Dornelles, Kelen Almeida. Absortância solar de superfícies opacas: método de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 152f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.2008.

Fernandes, L.C.. Utilização de equações preditivas para estimativa da temperatura interna de edificações de interesse social. (Dissertação) Programa de pós-graduação em Tecnologia, CEFET-PR. 2005.

Ferreira, R. C. Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos. 204 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. 2003.

Fossati, M., & Lamberts, R. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. *Ambiente Construído* , vol. 10, p. 59-69. 2010.

Frota, A. B., & Schiffer, S. R. *Manual de Conforto Térmico* (5ª ed.). São Paulo: Studio Nobel. 1987.

FLIR SYSTEMS, Manual do Operador FLIR T-Series. 2009.

- Gartland, Lisa (2010). *Ilhas De Calor Como Mitigar Zonas De Calor Em Áreas Urbanas*. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- Giridharan, R., Lau, S., Ganesan, S., & Givoni, B. Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. *Building and Environment*, vol.43, p. 1583–1595. 2008.
- Giridharan, R., Lau, S., Ganesan, S., & Givoni, B. Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment*, vol.42, p. 3669-3684. 2007.
- Givoni, B. *Man, Climate and Architecture*. London, Elsevier, 1981.
- Givoni, B. Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. *Energy and Buildings*, vol.28, p. 25-32, 1998.
- Givoni, B. Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, p. 1-35, 2009.
- Grinzato, E., Bison, P., & Marinetti, S. Monitoring of ancient buildings by the thermal method. *Journal of Cultural Heritage*, vol.3, p. 21–29, 2002.
- Grinzato, E.; Vavilov, V.; & Kauppinen, T. Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy and Buildings*, vol.29, pp. 1-9, 1998.
- Guerrero, C.; Ocaña, S. M.; & Requena, G. Thermal–physical aspects of materials used for the construction of rural buildings in Soria (Spain). *Construction and Building Materials*, vol.19, p. 197–211, 2005.
- Granja, A.D. *Transmissão de Calor em regime periódico: o efeito da inércia térmica em fechamentos opacos*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- Hagishima, A., & Tanimoto, J. Field measurements for estimating the convective heat transfer coefficient at building surfaces. *Building and Environment*, vol.38, p. 873 – 881, 2003.
- Tukey, John W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.
- Koenigsberger, O. H.; Ingersoll, T.G.; Mayhew, A.; Szokolay, S.A. *Vivendas e edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid, Paraninfo, 1977.
- Kolokotroni, M.; Young, A.N. Guidelines for bioclimatic house design in Greece. *Building and Environment*, vol.25, p.297-307, 1990.
- Krüger, E., Cruz, E. G., & Givoni, B. Effectiveness of indirect evaporative cooling and thermal mass in a hot arid climate. *Building and Environment*, vol.45, p. 1422-1433, 2010.
- Krüger, E., Givoni, B., & Laroca, C. Simplified method for yearlong thermal analysis of building prototypes. *Renewable Energy*, vol.36, p. 699-708, 2011.
- Krüger, E.L.; Givoni, B. Thermal monitoring and indoor temperature predictions in a passive solar building in an arid environment. *Building and Environment*, vol. 43, p.1792 – 1804, 2008.

- Labaki, L.C.; Gutierrez, G.C.R. Ensaio Experimental para Medição do Fator Solar de Sistemas de Aberturas. *IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto do Ambiente Construído*. p.2110-2111, 2007.
- Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo: PW Editores, 1997.
- Lima, M.P. Equações Preditivas para Determinar a Temperatura Interna do Ar: Envolventes em Pannel Alveolar com Cobertura Verde. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo, 2009.
- Littler, J. Test Cells: Do We Need Them? *Building and Environment*, Vol. 28, N.2, p. 221-228, 1993.
- Mandal. Sumantra; Rakesh, V.; Sivaprasad, P.V.; S. Venugopal; Kasiviswanathan, K.V. (2009). Constitutive equations to predict high temperature flow stress in a Ti-modified austenitic stainless steel. *Materials Science and Engineering*, A 500, pp. 114–121
- Marinoski, D. L., Souza, G. T., Sangoi, J. M., & Lamberts, R. Utilização De Imagens Em Infravermelho Para Análise Térmica De Componentes Construtivos. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2010.
- Meola, C., Maio, R. D., Roberti, N., & Carlomagno, G. M. Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. *Engineering Failure Analysis*, 12, pp. 875–892, 2005.
- Ocaña, S. M., Guerrero, I. C., & Requena, I. G. (2004). Thermographic survey of two rural buildings in Spain. *Energy and Buildings*, 36, pp. 515–523.
- Olgay V., A. Olgay; "Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism", Princeton University Press, 5ª ed. 1989.
- Ogoli, David Mwale. Predicting indoor temperatures in closed buildings with high thermal mass. *Energy and Buildings*, vol.35, p. 851–862, 2003.
- REIS, E., Estatística Descritiva. 2ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, 1994.
- Romero, M. A. Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano. São Paulo: Copymarket.com. 2000.
- Roriz, M.; Kruger, E. L. Previsão horaria de temperaturas internas do ar: aplicação no estudo de células-teste. ENTAC - *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2005.
- Rosado, C.; Pizzutti, J. L. A influência das cores no conforto térmico-lumínico e na redução do consumo de energia nas edificações. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais...Salvador, 1997.
- Rousseeuw, P. J.; Ruts, I.; Tukey, J. W. "The Bagplot: A Bivariate Boxplot". *The American Statistician*, vol. 53 (4), p. 382–387, 1999.

Riveiro, R. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. 2ª ed. Porto Alegre. DC Luzzato/UFRGS, 1986.

Sanches, M. H. F. *Apostila de Estatística*. FATEC, 2011.

Singh, M. K., Mahapatra, S., Atreya, S., & Givoni, B. Thermal monitoring and indoor temperature modeling in vernacular buildings of North-East India. *Energy and Buildings*, vol.42, p. 1610-1618, 2010.

Shariah, A.; Shalabi, B.; Rousan, A.; Tashtoush, B. Effects of absorptance of external surfaces on heating and cooling loads of residential buildings in Jordan. *Energy Conversion and Management*, v. 39, n. 3/4, p. 273-284, 1998.

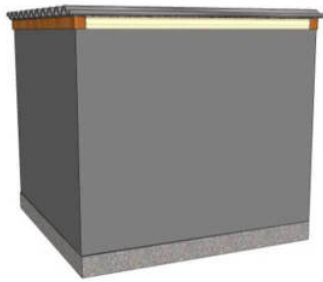
Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D., & Papakatsikas, C. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment*, vol.46, p. 38-44, 2011.

Synnefa, A.; Santamouris M.; Apostolakis K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy* Vol.81, p.488-97, 2007.

Taha, H.; Sailor, D.; Akbari, H. *High-albedo Materials for reducing building cooling energy use*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 1992.

Wu, Y., Li, D., Jin, R., Liu, L., Bai, J., & Feng, J. Thermographic Method for Evaluation of Thermal Influence of Exterior Surface Colour of Buildings. *Proceeding of SPIE*, Vol. 7160, p. 7160-7167. 2009.

Apêndice 1 – CÉLULA-TESTE COM ABSORTÂNCIA 0,9



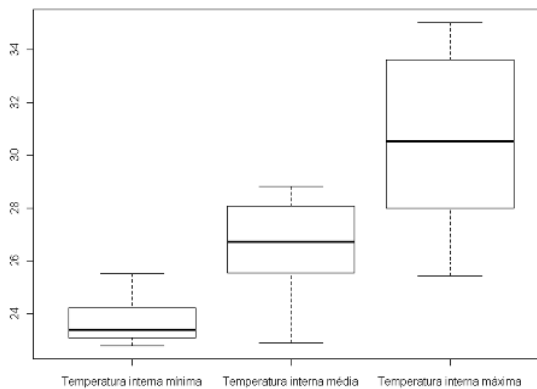
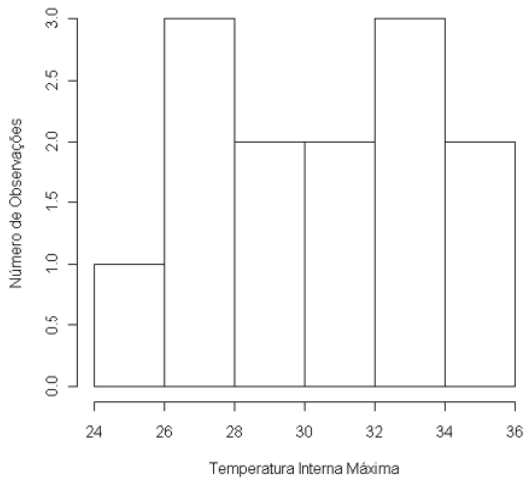
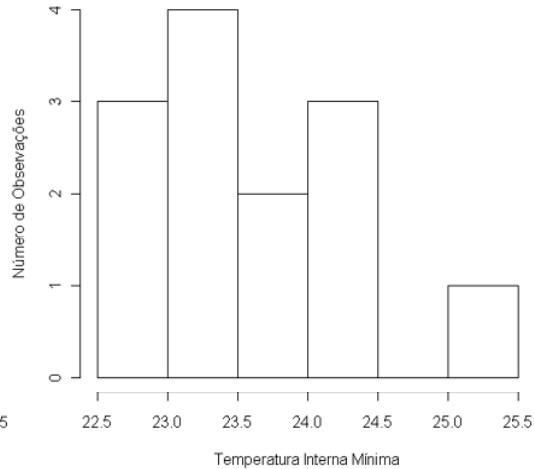
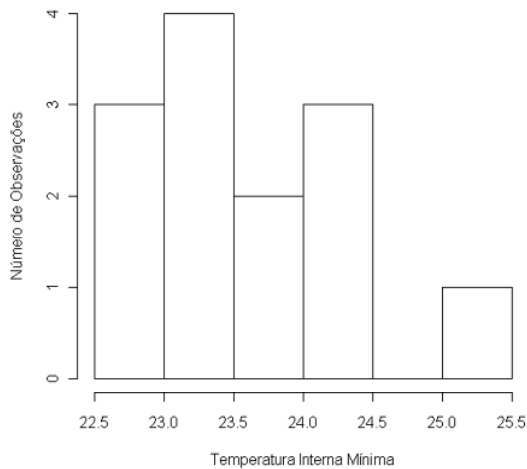
Inverno  $r^2$   
 $Tint_{min} = 1.5756 + 1.0064 * Text_{min}$  0,5911

$Tint_{med} = -4.8653 + 1.3021 * Text_{med}$  0,8983

$Tint_{max} = -18.5205 + 1.7927 * Text_{max}$  0,8618

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	26,66656
<b>Variância</b>	8,949201
<b>Desvio Padrão</b>	2,991521
<b>Coef. De Variância</b>	0,112183
<b>Ti min ou X min</b>	22,80
<b>Quartil 1</b>	24,40
<b>Ti med ou Mediana</b>	25,80
<b>Quartil 2</b>	25,80
<b>Quartil 3</b>	28,30
<b>Ti max ou X max</b>	35,00
<b>Moda</b>	24,90
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	12,20
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,755641
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	1,4

Modelos de regressão:





## Modelo m1P

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 1.5756 + 1.0064 * Text_{min}$$

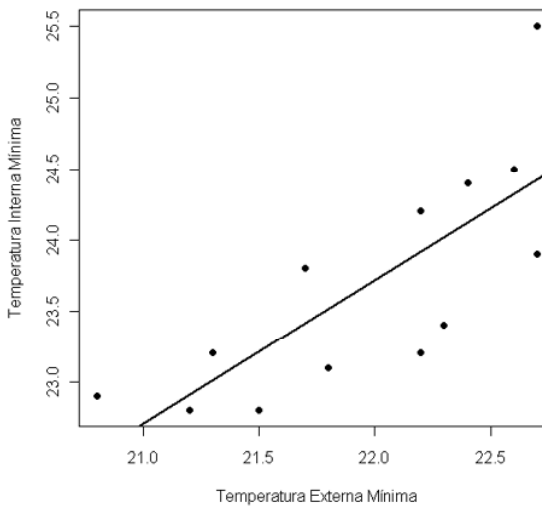
p-valor do intercepto (teste t): 0.78145

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
0.00213

R2multiplo: 0.5911

Erro padrão do modelo: 0.2523

p-valor do modelo (teste F): 0.002129



## Modelo m2P

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = -4.8653 + 1.3021 * Text_{med}$$

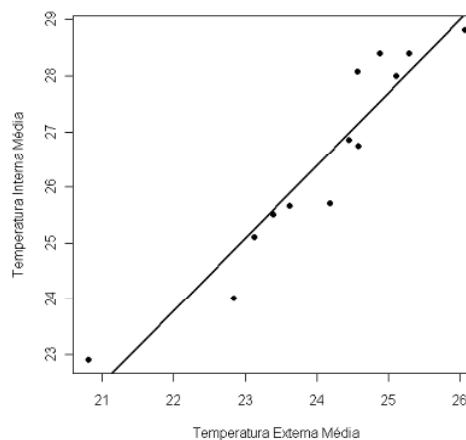
p-valor do intercepto (teste t): 0.155

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $8.54 * 10^{-7}$

R2multiplo: 0.8983

Erro padrão do modelo: 0.1321

p-valor do modelo (teste F):  $8.538 * 10^{-7}$



## Modelo m3P

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = -18.5205 + 1.7927 * Text_{max}$$

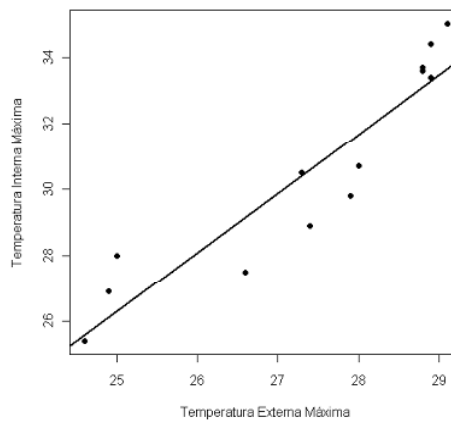
p-valor do intercepto (teste t): 0.00979

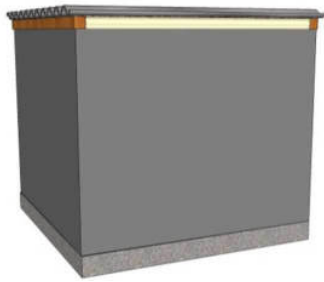
p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $4.69 * 10^{-6}$

R2multiplo: 0.8618

Erro padrão do modelo: 0.2164

p-valor do modelo (teste F):  $4.689 * 10^{-6}$





Verão  $r^2$   
 $Tint_{min} = 24.6810 + 0.1063 * Text_{min}$  0,03162

$Tint_{med} = -7.4474 + 1.4354 * Text_{med}$  0,6343

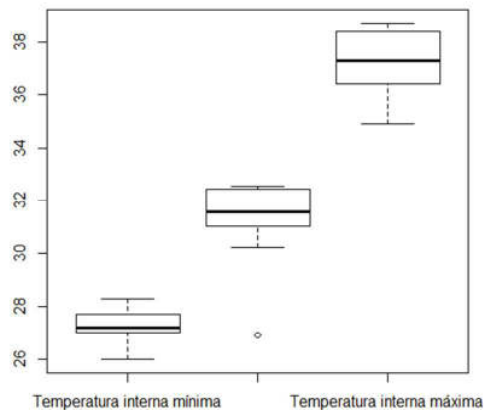
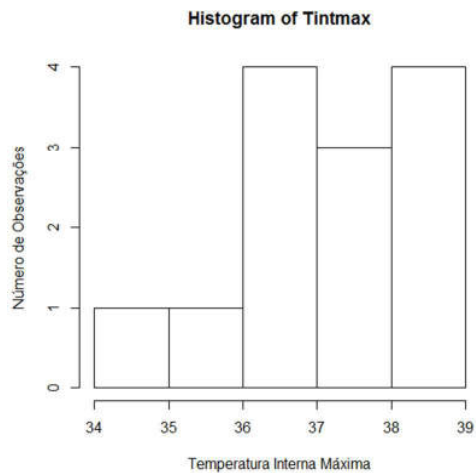
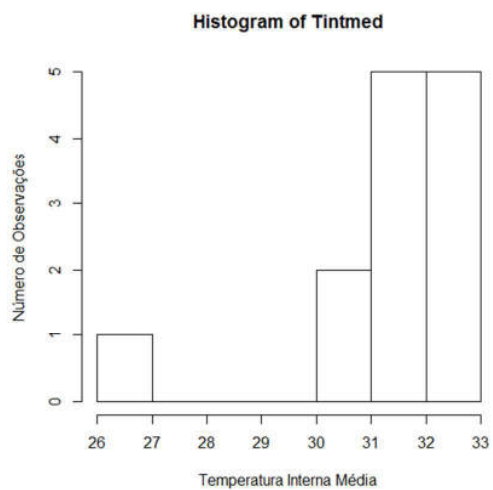
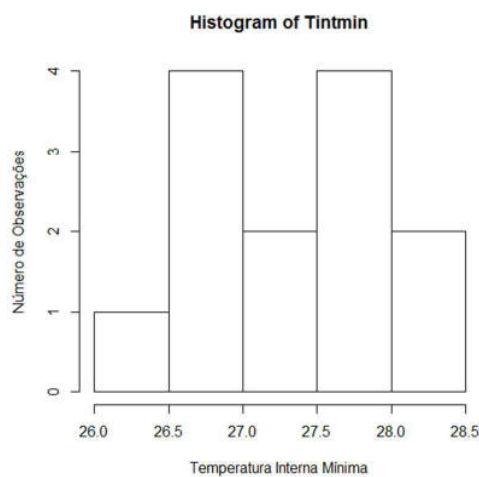
:

$Tint_{max} = 35.76211 + 0.04814 * Text_{max}$  0,0004

:

Modelo de Regressão

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	31,65016
<b>Variância</b>	12,4547
<b>Desvio Padrão</b>	3,529122
<b>Coef. De Variância</b>	0,111504
<b>Ti min ou X min</b>	26,00
<b>Quartil 1</b>	28,40
<b>Ti med ou Mediana</b>	30,90
<b>Quartil 2</b>	30,90
<b>Quartil 3</b>	34,90
<b>Ti max ou X max</b>	38,70
<b>Moda</b>	29,30
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	12,70
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,759614
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	1,5



Temperatura mínima interna da célula-teste P:

Modelo:  $Tint_{min} = 24.6810 + 0.1063 * Text_{min}$

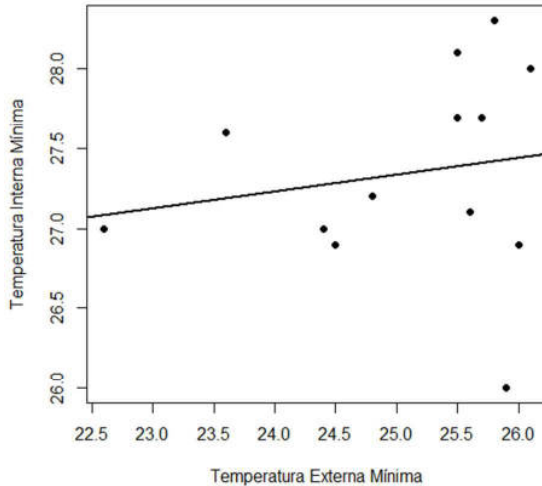
p-valor do intercepto (teste t): 0.000174

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.561111

R2multiplo: 0.03162

Erro padrão do modelo: 0.1773

p-valor do modelo (teste F): 0.3592



Temperatura média interna da célula-teste P:

Modelo:  $Tint_{med} = -7.4474 + 1.4354 * Text_{med}$

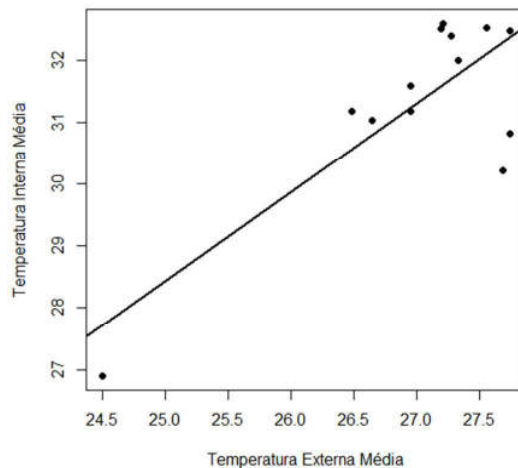
p-valor do intercepto (teste t): 0.41966

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00112

R2multiplo: 0.6343

Erro padrão do modelo: 0.3286

p-valor do modelo (teste F): 0.001122



Temperatura máxima interna da célula-teste P:

Modelo:  $Tint_{max} = 35.76211 + 0.04814 * Text_{max}$

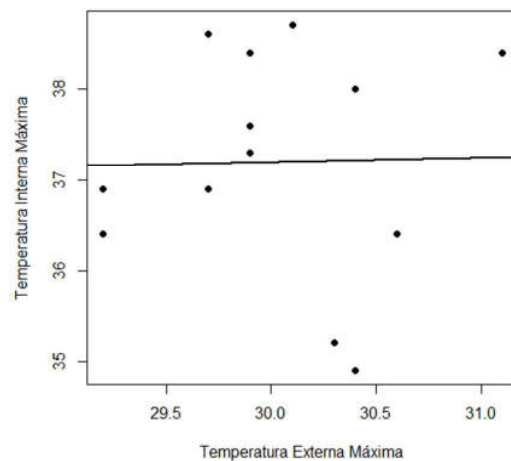
p-valor do intercepto (teste t): 0.117

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.946

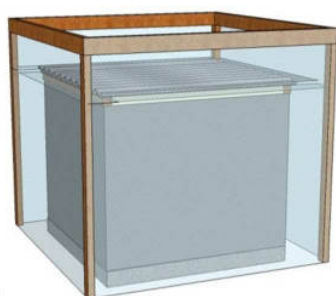
R2multiplo: 0.0004309

Erro padrão do modelo: 0.2164

p-valor do modelo (teste F): 0.9463



## Apêndice 2 – CÉLULA-TESTE COM ABSORTÂNCIA 0,9 e FATOR DE SOMBREAMENTO DE 50%

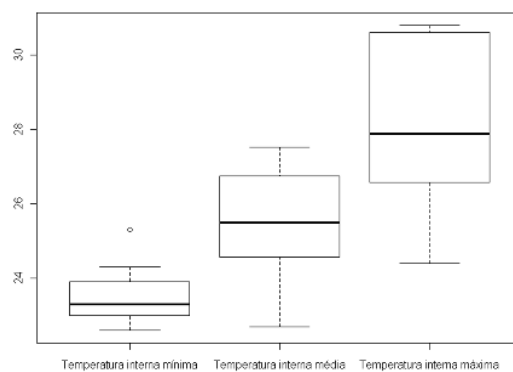
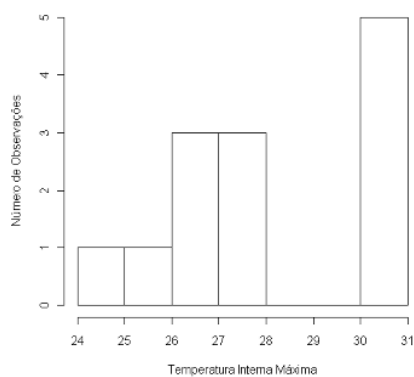
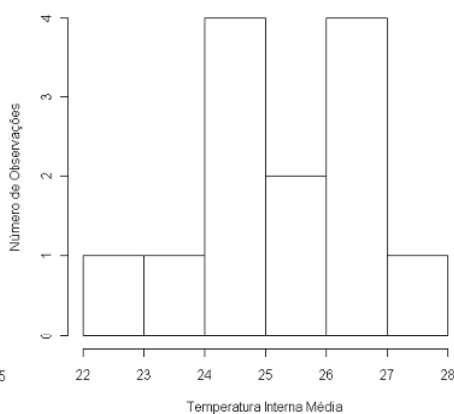
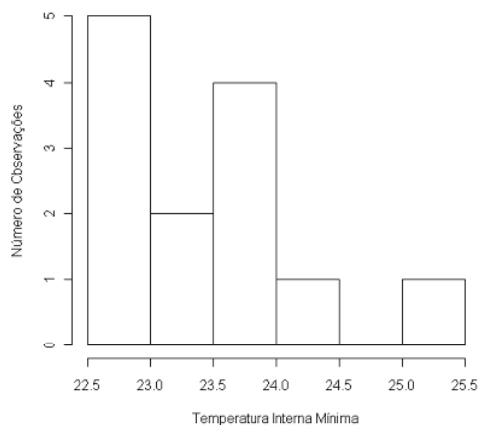


$$\text{Invernc} \quad r^2 \\ T_{int,min} = 1.2704 + 1.0126 * Text_{min} \quad 0,6278$$

$$T_{int,med} = 1.3890 + 0.9983 * Text_{med} \quad 0,8988$$

$$T_{int,max} = -5.2184 + 1.2168 * Text_{max} \quad 0,8062$$

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	25,55627
<b>Variância</b>	4,40634
<b>Desvio Padrão</b>	2,099128
<b>Coef. De Variância</b>	0,082138
<b>Ti min ou X min</b>	22,60
<b>Quartil 1</b>	24,00
<b>Ti med ou Mediana</b>	25,10
<b>Quartil 2</b>	25,10
<b>Quartil 3</b>	26,70
<b>Ti max ou X max</b>	30,80
<b>Moda</b>	24,40
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	8,20
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,709223
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	1,0

Modelos de Regressão:

## Modelo m1PS

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 1.2704 + 1.0126 * Text_{min}$$

p-valor do intercepto (teste t): 0.81017

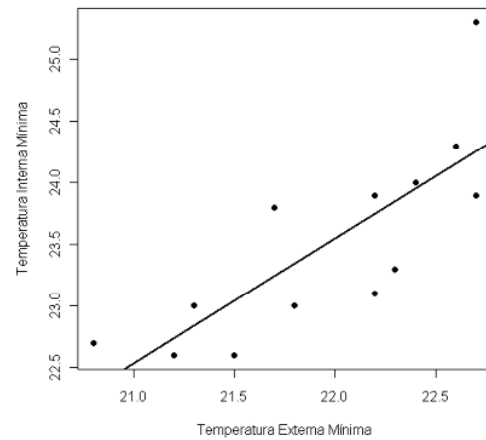
p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00124

R2múltiplo: 0.6278

Erro padrão do modelo: 0.2351

Média do quadrado dos erros: 0.2147371

p-valor do modelo (teste F): 0.001241



## Modelo m2PS

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = 1.3890 + 0.9983 * Text_{med}$$

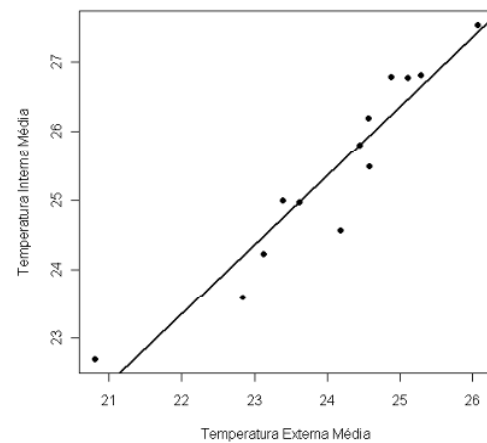
p-valor do intercepto (teste t): 0.58

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $8.31 * 10^{-7}$

R2múltiplo: 0.8988

Erro padrão do modelo: 0.1010

p-valor do modelo (teste F):  $8.309 * 10^{-7}$



## Modelo m3PS

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = -5.2184 + 1.2168 * Text_{max}$$

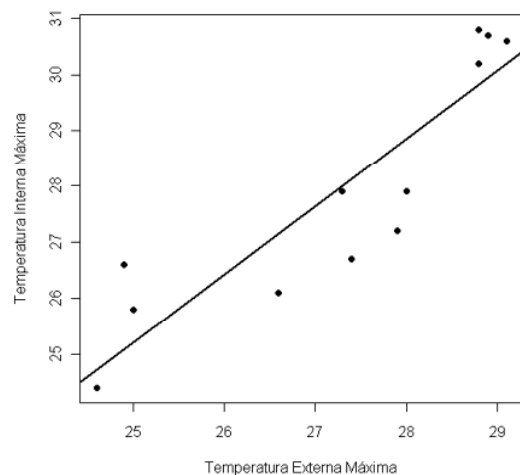
p-valor do intercepto (teste t): 0.313

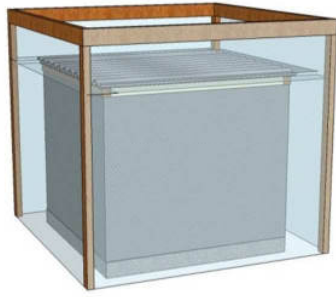
p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $3.1 * 10^{-5}$

R2múltiplo: 0.8062

Erro padrão do modelo: 0.1799

p-valor do modelo (teste F):  $3.095 * 10^{-5}$





Verão

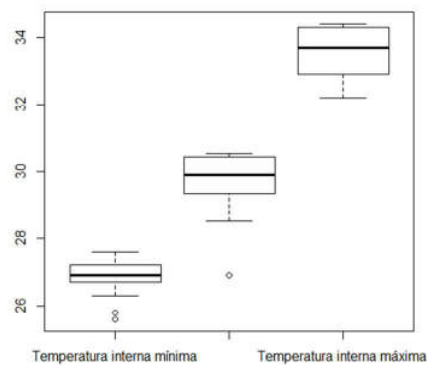
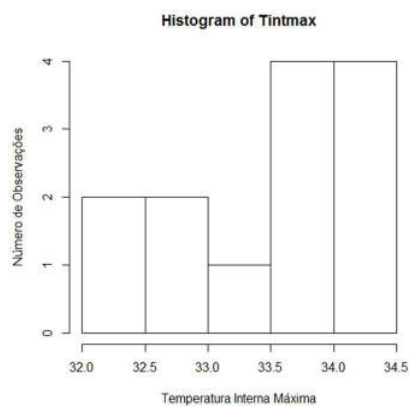
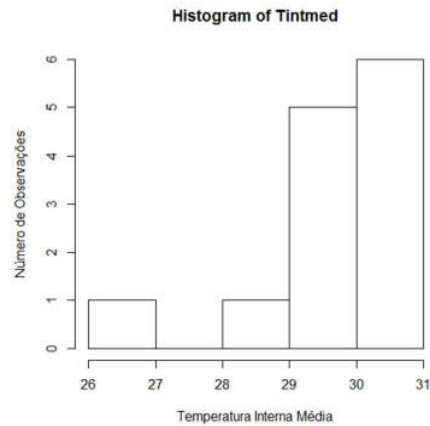
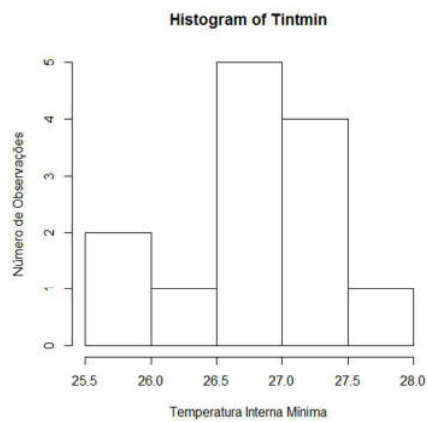
$$T_{int_{min}} = 17.0388 + 0.3896 * T_{ext_{min}} \quad r^2 = 0,4621$$

$$T_{int_{med}} = -1.69719 + 1.15973 * T_{ext_{med}} \quad 0,9541$$

$$T_{int_{max}} = 1.7157 + 1.0597 * T_{ext_{max}} \quad 0,543$$

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	29,83408
<b>Variância</b>	6,076899
<b>Desvio Padrão</b>	2,465137
<b>Coef. De Variância</b>	0,082628
<b>Ti min ou X min</b>	25,60
<b>Quartil 1</b>	27,70
<b>Ti med ou Mediana</b>	29,40
<b>Quartil 2</b>	29,40
<b>Quartil 3</b>	32,00
<b>Ti max ou X max</b>	34,40
<b>Moda</b>	27,50
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	8,80
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,7836
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	1,1

### Modelo de Regressão



Temperatura mínima interna da célula-teste PS:

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 17.0388 + 0.3896 * Text_{min}$$

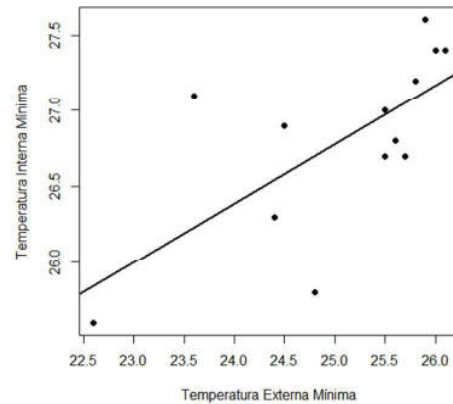
p-valor do intercepto (teste t): 0.000231

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.010589

R2múltiplo: 0.4621

Erro padrão do modelo: 0.1267

p-valor do modelo (teste F): 0.01059



Temperatura média interna da célula-teste PS:

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = -1.69719 + 1.15973 * Text_{med}$$

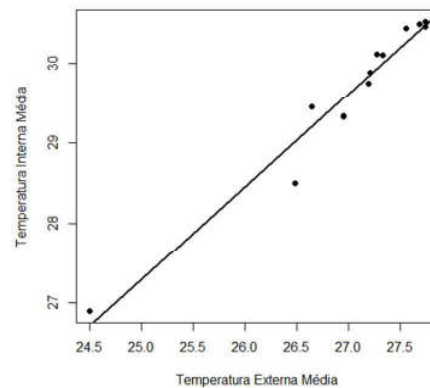
p-valor do intercepto (teste t): 0.43

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $1.05 * 10^{-8}$

R2múltiplo: 0.9541

Erro padrão do modelo: 0.07671

p-valor do modelo (teste F):  $1.05 * 10^{-8}$



Temperatura máxima interna da célula-teste PS:

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 1.7157 + 1.0597 * Text_{max}$$

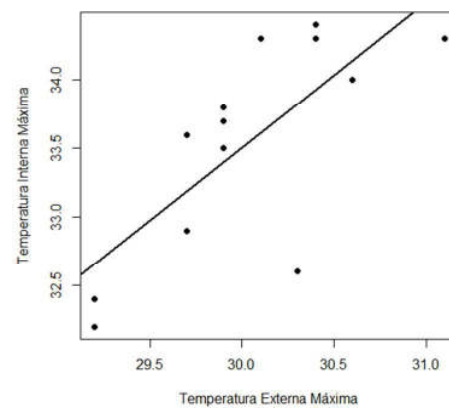
p-valor do intercepto (teste t): 0.84903

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00406

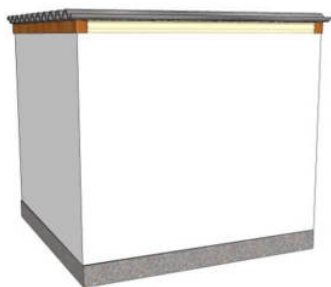
R2múltiplo: 0.543

Erro padrão do modelo: 0.2931

p-valor do modelo (teste F): 0.004059



## Apêndice 3 – CÉLULA-TESTE COM ABSORTÂNCIA 0,2

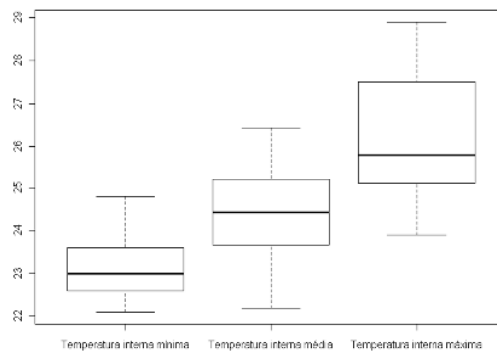
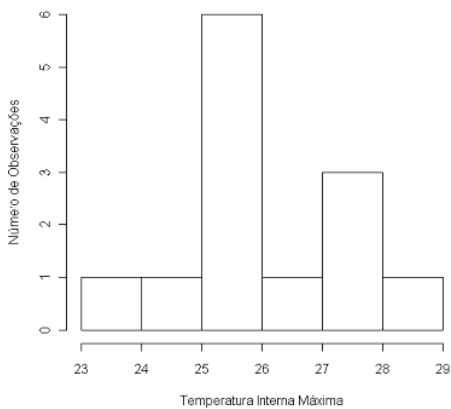
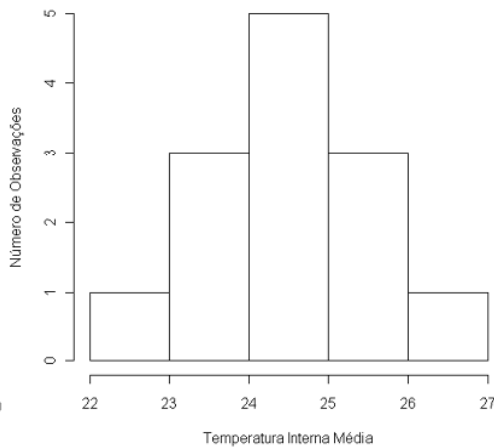
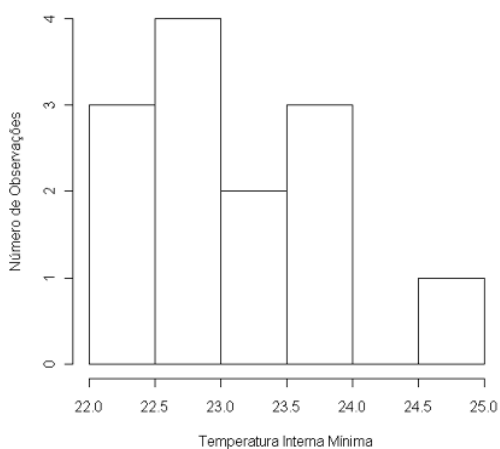


Inverno  
 $T_{int_{min}} = 0.5213 + 1.0288 * Text_{min}$   $r^2 = 0,7202$

$T_{int_{med}} = 6.82231 + 0.73037 * Text_{med}$   $0,8472$

$T_{int_{max}} = 6.6376 + 0.7128 * Text_{max}$   $0,6276$

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	25,06945
<b>Variância</b>	1,105096
<b>Desvio Padrão</b>	1,051236
<b>Coef. De Variância</b>	0,041933
<b>Ti min ou X min</b>	23,00
<b>Quartil 1</b>	24,30
<b>Ti med ou Mediana</b>	25,10
<b>Quartil 2</b>	25,10
<b>Quartil 3</b>	25,80
<b>Ti max ou X max</b>	27,90
<b>Moda</b>	25,60
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	4,90
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,456622
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	0,6

Modelo de regressão



## Modelo m1B

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 0.5213 + 1.0288 * Text_{min}$$

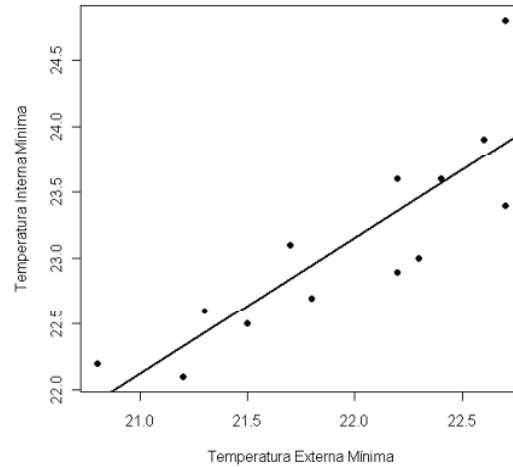
p-valor do intercepto (teste t): 0.904501

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
0.000244

R2multiplo: 0.7202

Erro padrão do modelo: 0.1934

p-valor do modelo (teste F): 0.002129



## Modelo m2B

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = 6.82231 + 0.73037 * Text_{med}$$

p-valor do intercepto (teste t): 0.0115

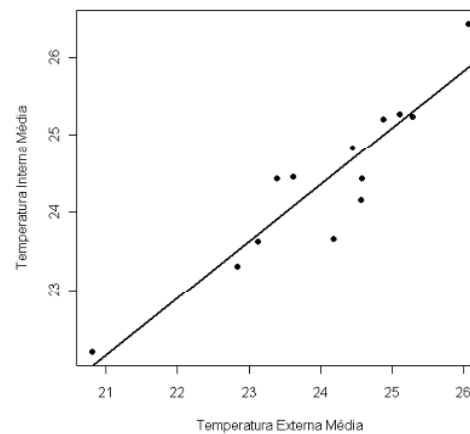
p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $8.21 * 10^{-6}$

R2multiplo: 0.8472

Erro padrão do modelo: 0.09353

Média do quadrado dos erros: 0.1603803

p-valor do modelo (teste F):  $8.212 * 10^{-6}$



## Modelo m3B

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 6.6376 + 0.7128 * Text_{max}$$

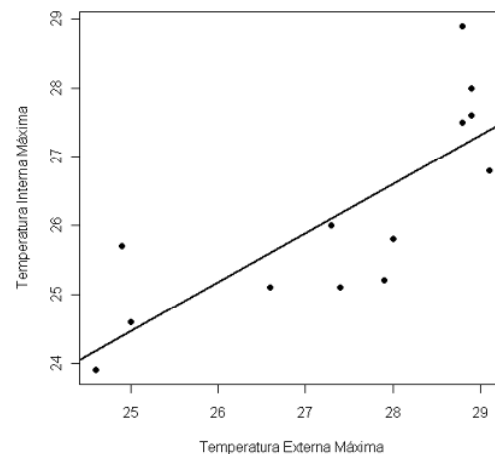
p-valor do intercepto (teste t): 0.17202

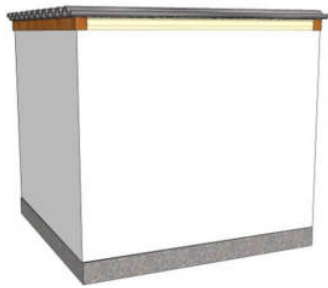
p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00124

R2multiplo: 0.6276

Erro padrão do modelo: 0.1656

p-valor do modelo (teste F): 0.001244





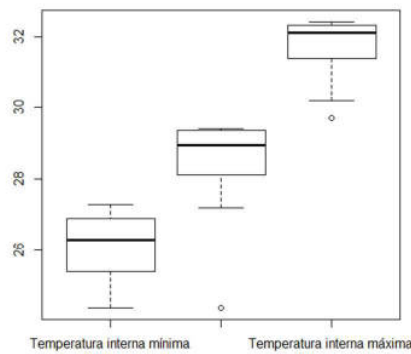
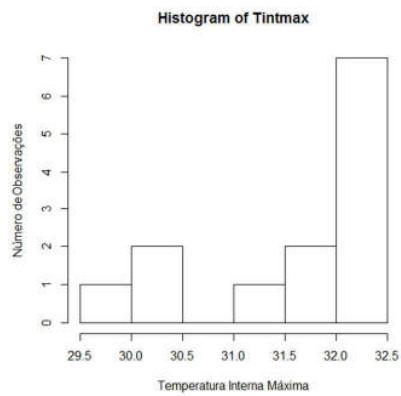
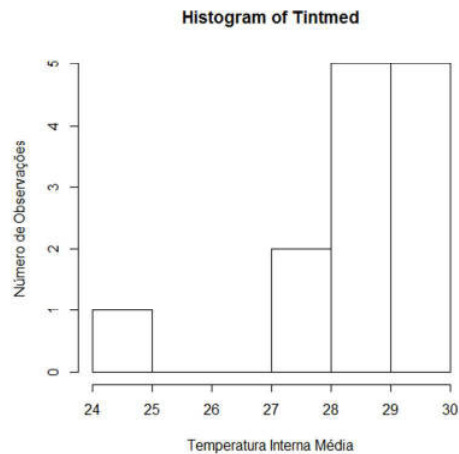
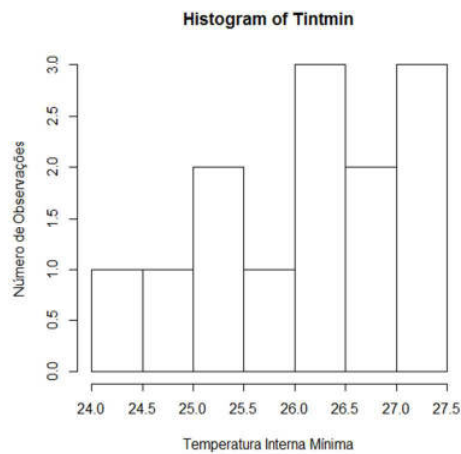
Verão  $r^2$   
 $T_{int_{min}} = 7.0932 + 0.7592 * Text_{min}$  0,7134

$T_{int_{med}} = -14.48202 + 1.58750 * Text_{med}$  0,9637

$T_{int_{max}} = -6.9377 + 1.2833 * Text_{max}$  0,5317

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	28,66849
<b>Variância</b>	3,912294
<b>Desvio Padrão</b>	1,977952
<b>Coef. De Variância</b>	0,068994
<b>Ti min ou X min</b>	24,40
<b>Quartil 1</b>	27,10
<b>Ti med ou Mediana</b>	28,40
<b>Quartil 2</b>	28,40
<b>Quartil 3</b>	30,20
<b>Ti max ou X max</b>	32,40
<b>Moda</b>	27,30
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	8,00
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,831414
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	1,0

Modelo de Regressão



## Modelo m1B

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 7.0932 + 0.7592 * Text_{min}$$

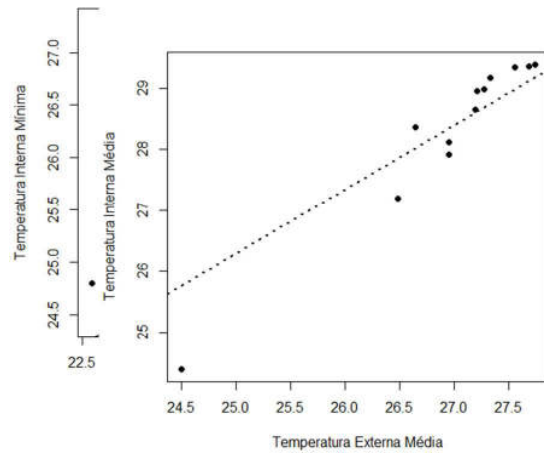
p-valor do intercepto (teste t): 0.07740

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00028

R2multiplo: 0.7134

Erro padrão do modelo: 0.1451

p-valor do modelo (teste F): 0.0002802



## Modelo m2B

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = -14.48202 + 1.58750 * Text_{med}$$

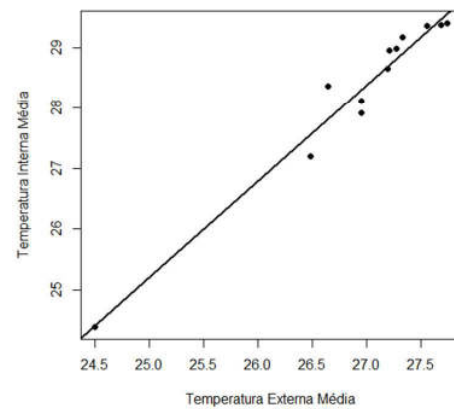
p-valor do intercepto (teste t): 0.000125

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $2.88 * 10^{-9}$

R2multiplo: 0.9637

Erro padrão do modelo: 0.09292

p-valor do modelo (teste F):  $2.877 * 10^{-9}$



## Modelo m3B

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = -6.9377 + 1.2833 * Text_{max}$$

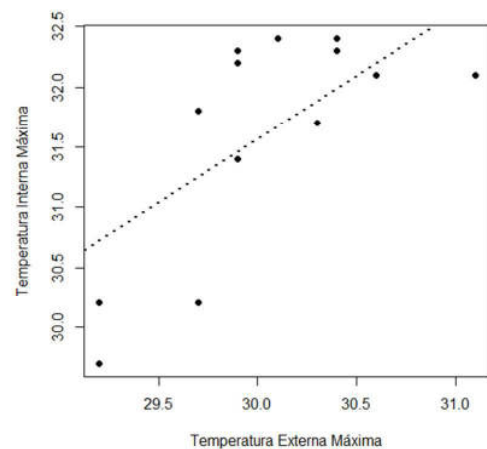
p-valor do intercepto (teste t): 0.53771

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00468

R2multiplo: 0.5317

Erro padrão do modelo: 0.3631

p-valor do modelo (teste F): 0.004681



Apêndice 4 – CÉLULA-TESTE COM ABSORTÂNCIA 0,2 e FATOR DE SOMBREAMENTO DE 50%



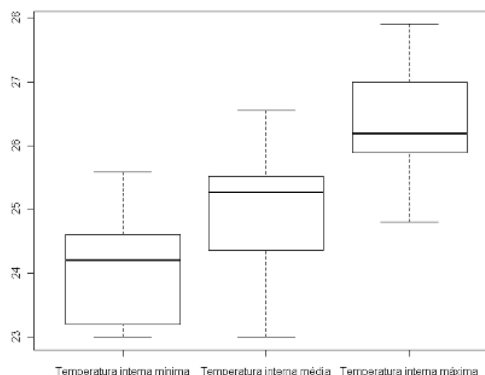
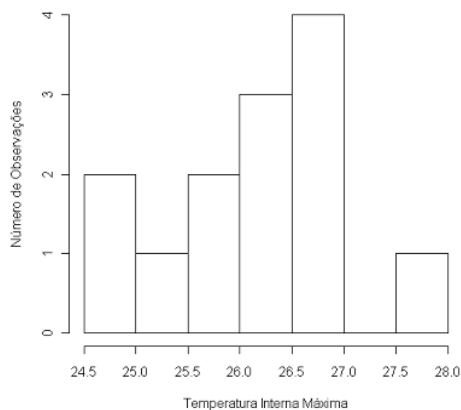
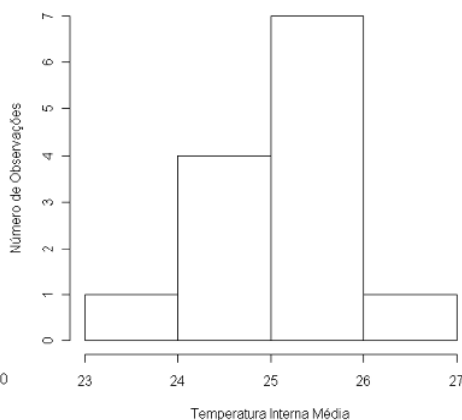
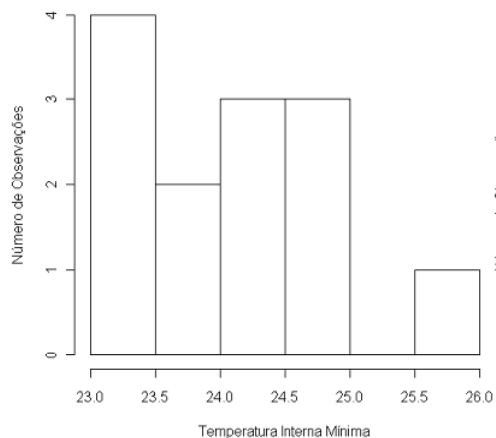
Inverno  $r^2$   
 $T_{int,min} = 0.5271 + 1.0727 * Text_{min}$  0,6772

$T_{int,med} = 11.1461 + 0.5755 * Text_{med}$  0,6935

$T_{int,max} = 20.8233 + 0.1968 * Text_{max}$  0,1292

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	24,50836
<b>Variância</b>	2,02593
<b>Desvio Padrão</b>	1,423352
<b>Coef. De Variância</b>	0,058076
<b>Ti min ou X min</b>	22,10
<b>Quartil 1</b>	23,40
<b>Ti med ou Mediana</b>	24,30
<b>Quartil 2</b>	24,30
<b>Quartil 3</b>	25,20
<b>Ti max ou X max</b>	28,90
<b>Moda</b>	24,30
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	6,80
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,658636
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	0,8

Modelo de Regressão



## Modelo m1BS

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 0.5271 + 1.0727 * Text_{min}$$

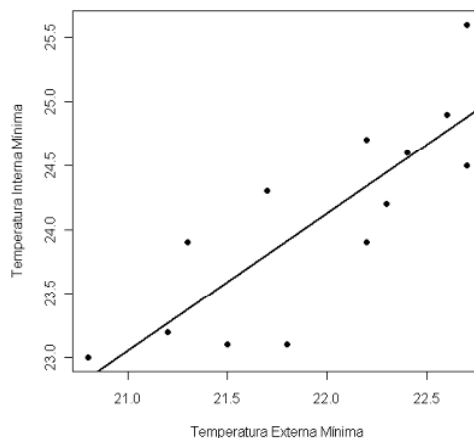
p-valor do intercepto (teste t): 0.91634

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
0.00055

R2multiplo: 0.6772

Erro padrão do modelo: 0.2233

p-valor do modelo (teste F): 0.0005499



## Modelo m2BS

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = 11.1461 + 0.5755 * Text_{med}$$

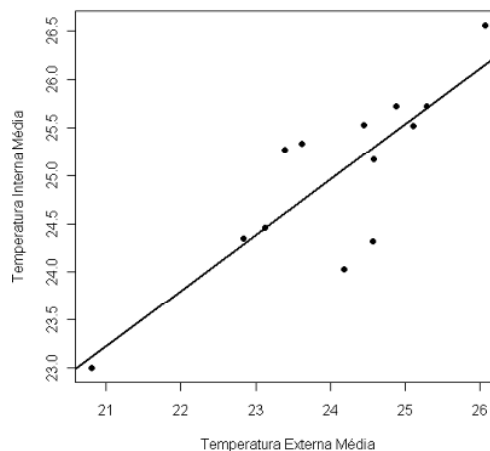
p-valor do intercepto (teste t): 0.002054

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
0.000409

R2multiplo: 0.6935

Erro padrão do modelo: 0.1153

p-valor do modelo (teste F): 0.0004093



## Modelo m3BS

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 20.8233 + 0.1968 * Text_{max}$$

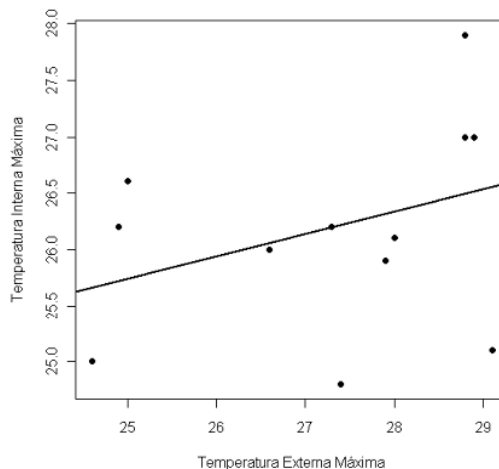
p-valor do intercepto (teste t): 0.000453

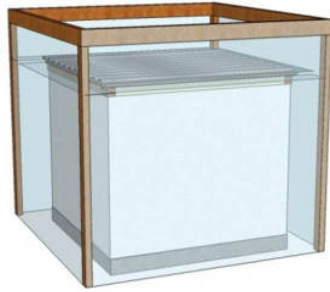
p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
0.227701

R2multiplo: 0.1292

Erro padrão do modelo: 0.1540

p-valor do modelo (teste F): 0.2277





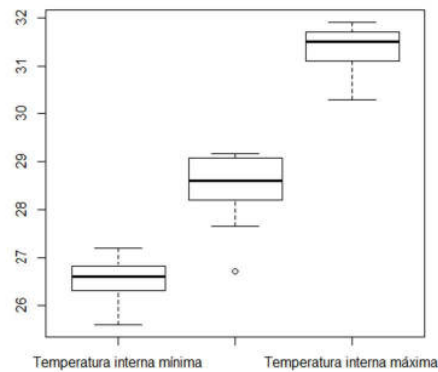
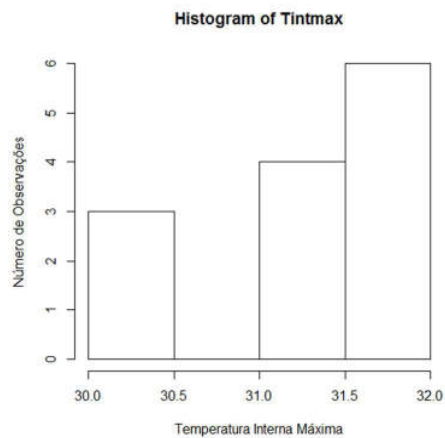
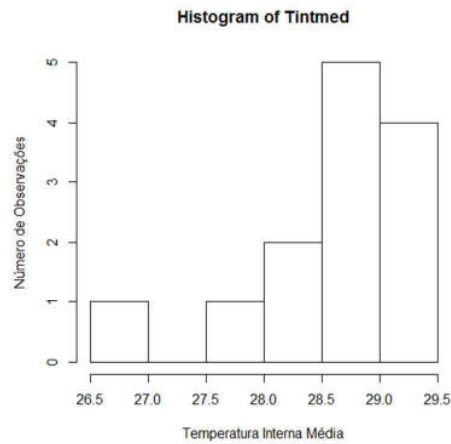
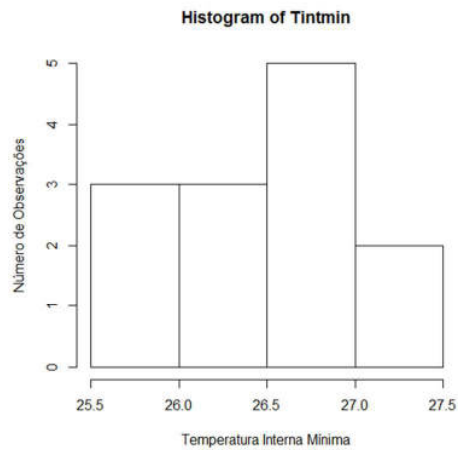
Verão  $r^2$   
 $T_{int_{min}} = 18.5795 + 0.3155 * Text_{min}$  0,4003

$T_{int_{med}} = 7.24242 + 0.78697 * Text_{med}$  0,9068

$T_{int_{max}} = 6.8799 + 0.8119 * Text_{max}$  0,1292

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	28,62219
<b>Variância</b>	2,947345
<b>Desvio Padrão</b>	1,716783
<b>Coef. De Variância</b>	0,059981
<b>Ti min ou X min</b>	25,60
<b>Quartil 1</b>	27,20
<b>Ti med ou Mediana</b>	28,40
<b>Quartil 2</b>	28,40
<b>Quartil 3</b>	30,10
<b>Ti max ou X max</b>	31,90
<b>Moda</b>	27,20
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	6,30
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,789495
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	0,8

Modelo de Regressão



## Modelo m1BS

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 18.5795 + 0.3155 * Text_{min}$$

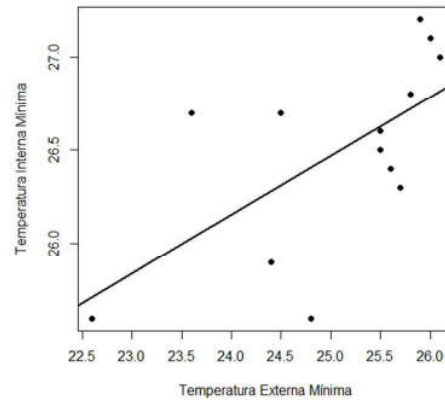
p-valor do intercepto (teste t):  $5.39 * 10^{-5}$

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.0203

R2multiplo: 0.4003

Erro padrão do modelo: 0.1165

p-valor do modelo (teste F): 0.02031



## Modelo m2BS

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = 7.24242 + 0.78697 * Text_{med}$$

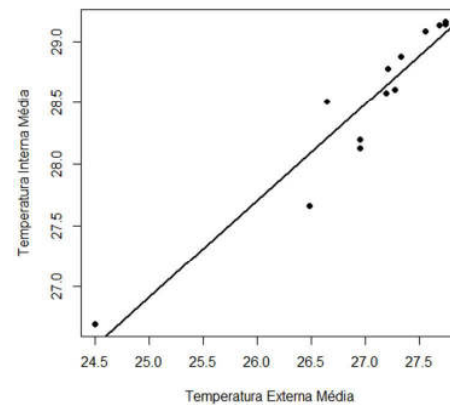
p-valor do intercepto (teste t): 0.002054

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00479

R2multiplo: 0.9068

Erro padrão do modelo: 0.07609

p-valor do modelo (teste F):  $5.276 * 10^{-7}$



## Modelo m3BS

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 6.8799 + 0.8119 * Text_{max}$$

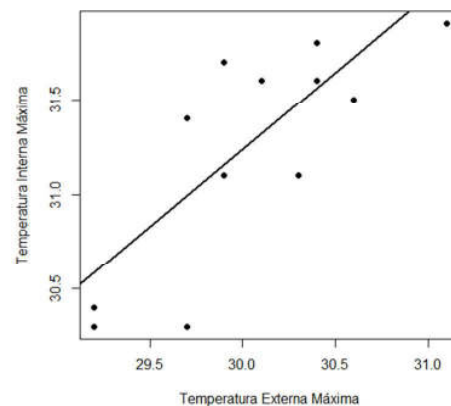
p-valor do intercepto (teste t): 0.30713

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00296

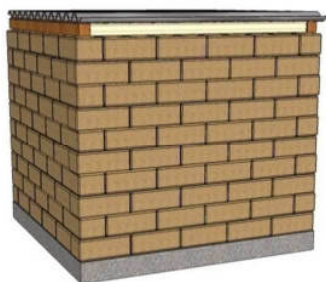
R2multiplo: 0.1292

Erro padrão do modelo: 0.5671

p-valor do modelo (teste F): 0.002964



Apêndice 5 – CÉLULA-TESTE COM ABSORTÂNCIA 0,4



Inverno

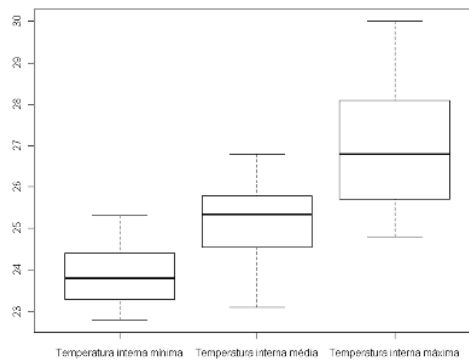
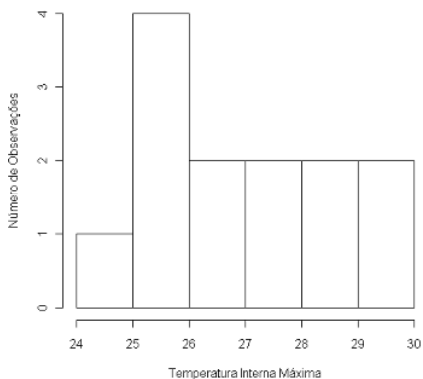
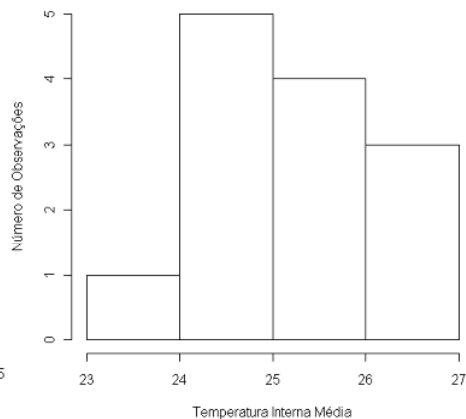
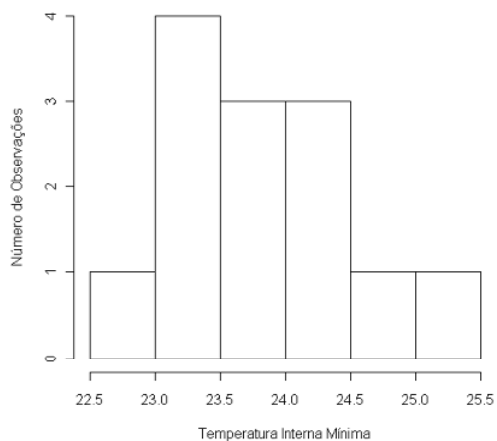
$$T_{int_{min}} = 6.4653 + 0.7938 * Text_{min} \quad r^2 = 0,4326$$

$$T_{int_{med}} = 8.9552 + 0.6774 * Text_{med} \quad 0,7873$$

$$T_{int_{max}} = 6.0371 + 0.7662 * Text_{max} \quad 0,6052$$

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	25,36817
<b>Variância</b>	2,147403
<b>Desvio Padrão</b>	1,465402
<b>Coef. De Variância</b>	0,057765
<b>Ti min ou X min</b>	22,80
<b>Quartil 1</b>	24,30
<b>Ti med ou Mediana</b>	25,20
<b>Quartil 2</b>	25,20
<b>Quartil 3</b>	26,20
<b>Ti max ou X max</b>	30,00
<b>Moda</b>	24,80
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	7,20
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,557811
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	0,9

Modelo de Regressão





## Modelo m1S

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 6.4653 + 0.7938 * Text_{min}$$

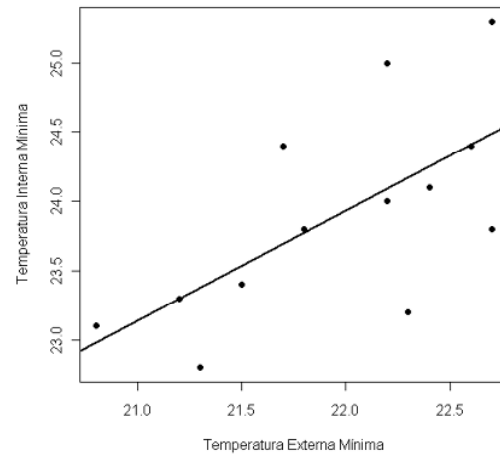
p-valor do intercepto (teste t): 0.3058

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
0.0146

R2múltiplo: 0.4326

Erro padrão do modelo: 0.2741

p-valor do modelo (teste F): 0.01455



## Modelo m2S

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = 8.9552 + 0.6774 * Text_{med}$$

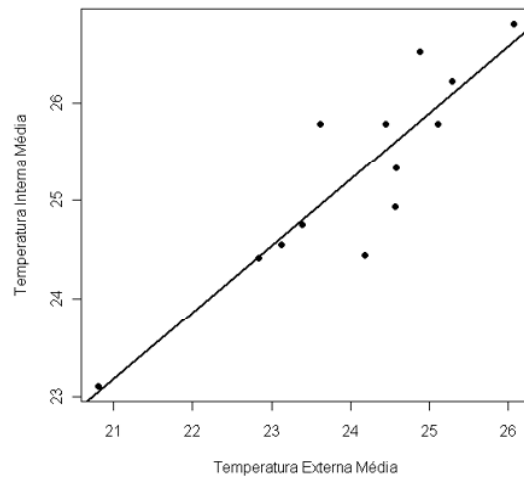
p-valor do intercepto (teste t): 0.00498

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  
 $5.22 * 10^{-5}$

R2múltiplo: 0.7873

Erro padrão do modelo: 0.1062

p-valor do modelo (teste F):  $5.22 * 10^{-5}$



## Modelo m3S

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 6.0371 + 0.7662 * Text_{max}$$

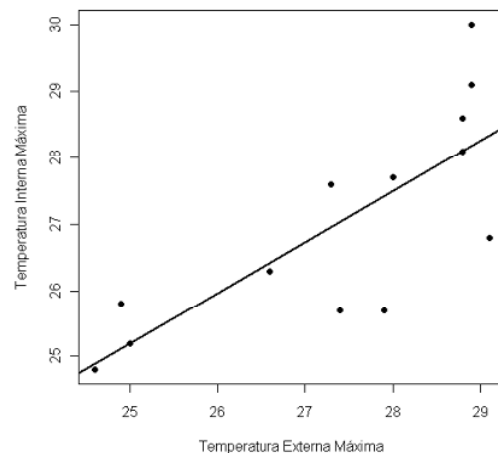
p-valor do intercepto (teste t): 0.26331

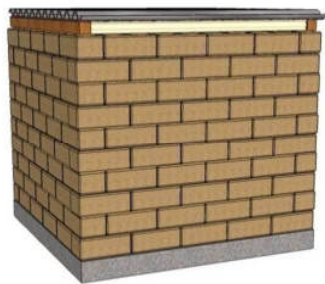
p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00174

R2múltiplo: 0.6052

Erro padrão do modelo: 0.1866

p-valor do modelo (teste F): 0.00174





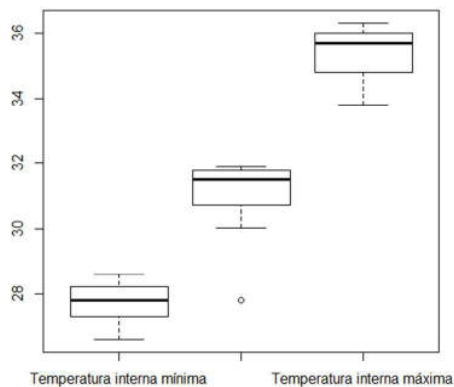
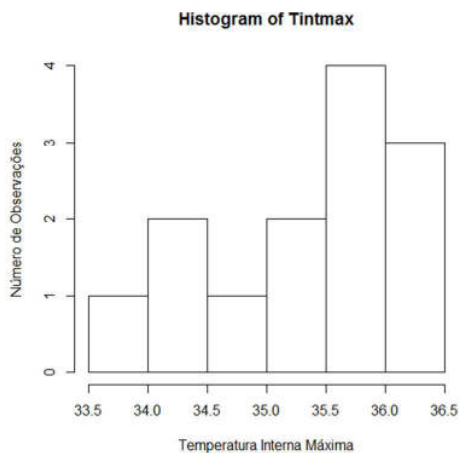
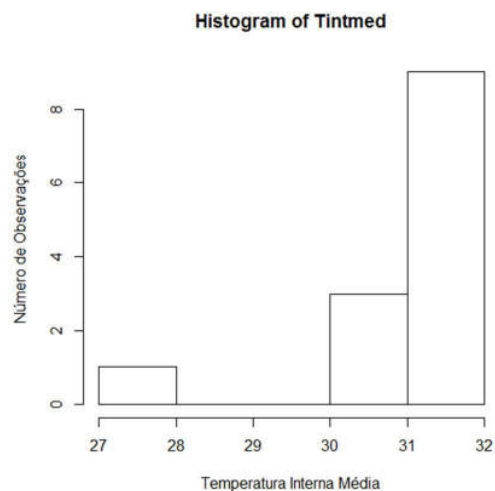
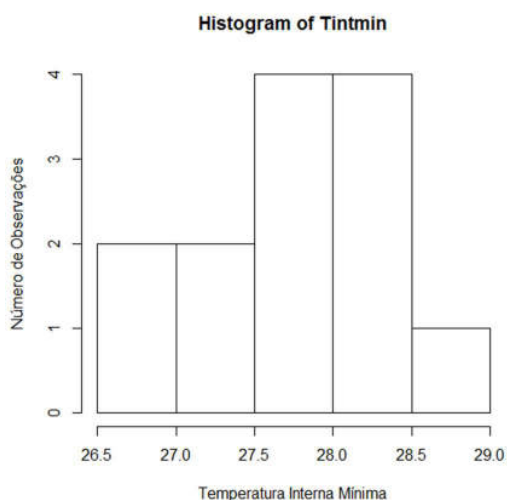
Verão  
 $T_{int_{min}} = 18.4578 + 0.3698 * Text_{min}$        $r^2 = 0,3799$

$T_{int_{med}} = -3.7010 + 1.2867 * Text_{med}$        $0,935$

$T_{int_{max}} = 8.8492 + 0.8831 * Text_{max}$        $0,3156$

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	31,26367
<b>Variância</b>	7,397934
<b>Desvio Padrão</b>	2,719914
<b>Coef. De Variância</b>	0,086999
<b>Ti min ou X min</b>	26,60
<b>Quartil 1</b>	28,80
<b>Ti med ou Mediana</b>	30,90
<b>Quartil 2</b>	30,90
<b>Quartil 3</b>	33,70
<b>Ti max ou X max</b>	36,30
<b>Moda</b>	28,60
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	9,70
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,700335
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	1,2

Modelo de Regressão



## Modelo m1S

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 18.4578 + 0.3698 * Text_{min}$$

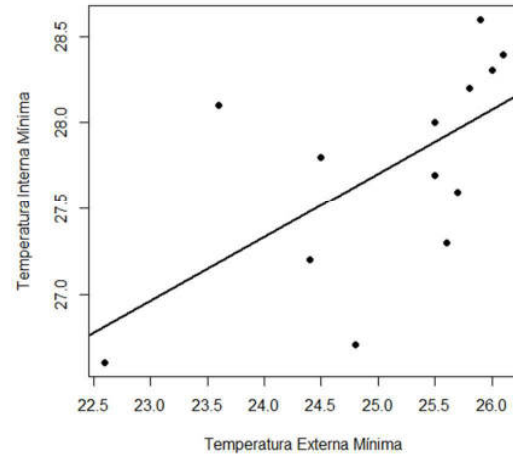
p-valor do intercepto (teste t): 0.000312

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.024862

R2multiplo: 0.3799

Erro padrão do modelo: 0.2741

p-valor do modelo (teste F): 0.02486



## Modelo m2S

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = -3.7010 + 1.2867 * Text_{med}$$

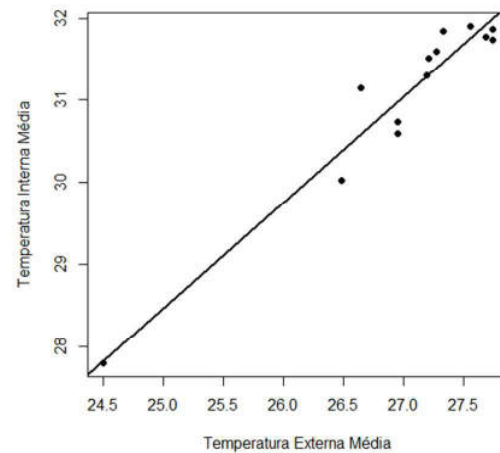
p-valor do intercepto (teste t): 0.208

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $7.18 * 10^{-8}$

R2multiplo: 0.935

Erro padrão do modelo: 0.1023

p-valor do modelo (teste F):  $7.178 * 10^{-8}$



## Modelo m3S

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 8.8492 + 0.8831 * Text_{max}$$

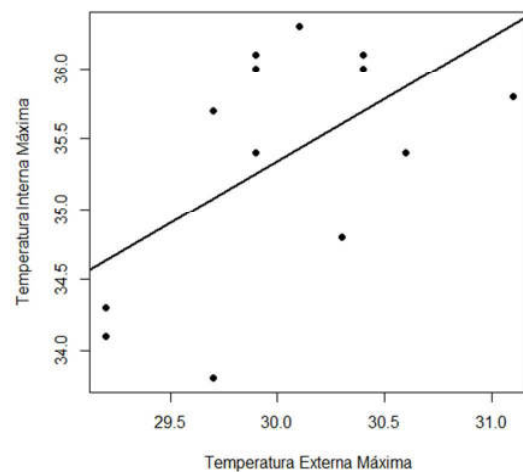
p-valor do intercepto (teste t): 0.4681

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.0457

R2multiplo: 0.3156

Erro padrão do modelo 0.3921

p-valor do modelo (teste F): 0.04569



## Apêndice 6 – CÉLULA-TESTE COM ABSORTÂNCIA 0,4 e FATOR DE SOMBREAMENTO DE 50%



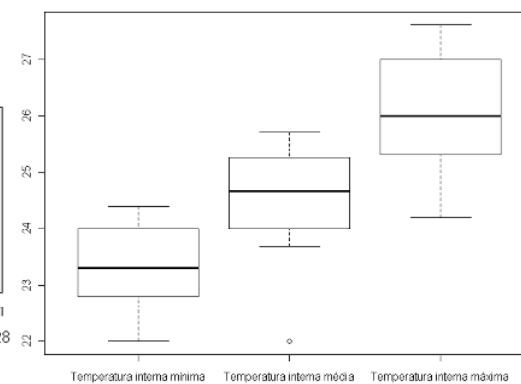
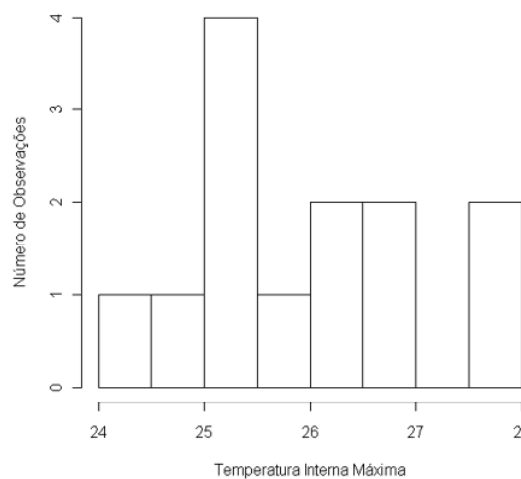
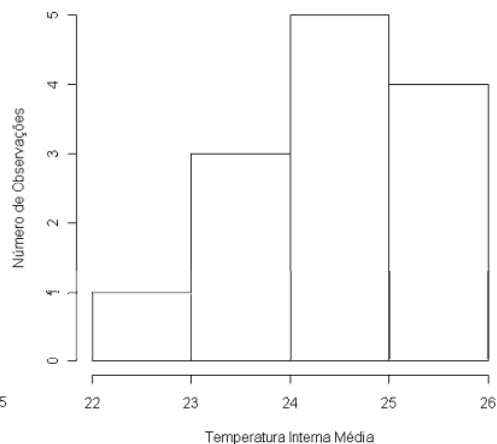
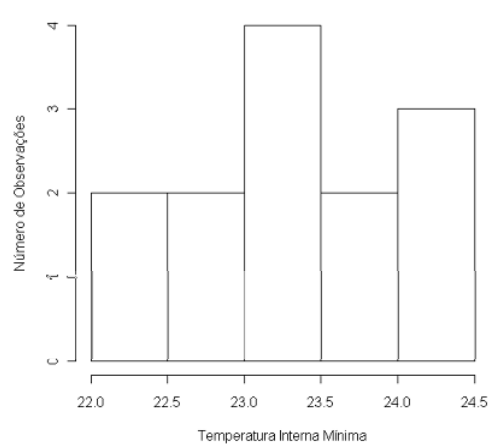
Inverno  $r^2$   
 $T_{int,min} = -0.09635 + 1.06851 * Text_{min}$  0,8256

$T_{int,med} = 8.78115 + 0.65202 * Text_{med}$  0,8135

$T_{int,max} = 11.2927 + 0.5373 * Text_{max}$  0,6755

XXINúmero de amostras	311
Ti med ou Média	24,59518
Variância	1,420396
Desvio Padrão	1,191804
Coef. De Variância	0,048457
Ti min ou X min	22,00
Quartil 1	23,70
Ti med ou Mediana	24,50
Quartil 2	24,50
Quartil 3	25,30
Ti max ou X max	27,60
Moda	24,20
Intervalo (Xmax-Xmin)	5,60
Correlação Ti com Te	0,511321
Nº de intervalos de classe -K	9
Amplitude das Classes-h	0,7

## Modelo de Regressão



## Modelo m1SS

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = -0.09635 + 1.06851 * Text_{min}$$

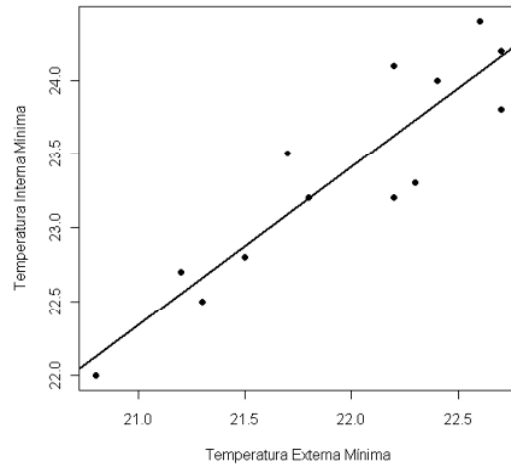
p-valor do intercepto (teste t): 0.977

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $1.72 * 10^{-5}$

R2multiplo: 0.8256

Erro padrão do modelo: 0.14808

p-valor do modelo (teste F):  $1.718 * 10^{-5}$



## Modelo m2SS

$$\text{Modelo: } Tint_{med} = 8.78115 + 0.65202 * Text_{med}$$

p-valor do intercepto (teste t): 0.00261

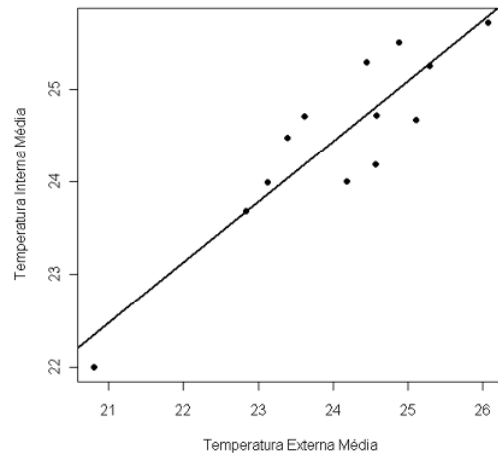
p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $2.5 * 10^{-5}$

R2multiplo: 0.8135

Erro padrão do modelo: 0.09414

Média do quadrado dos erros: 0.1624914

p-valor do modelo (teste F):  $2.5 * 10^{-5}$



## Modelo m3SS

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 11.2927 + 0.5373 * Text_{max}$$

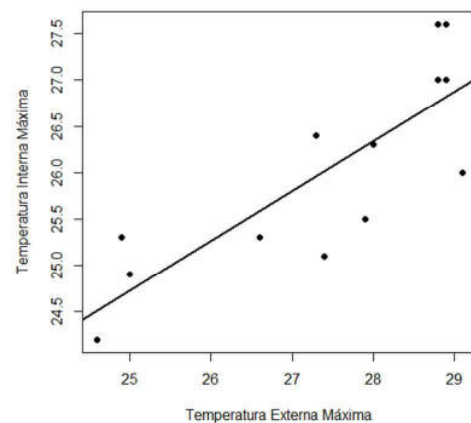
p-valor do intercepto (teste t): 0.003727

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.000567

R2multiplo: 0.6755

Erro padrão do modelo: 0.1123

p-valor do modelo (teste F): 0.0005668





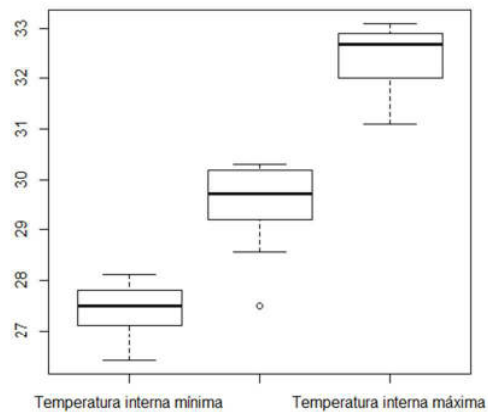
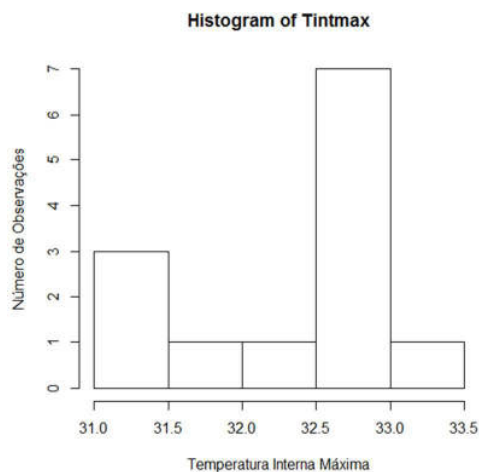
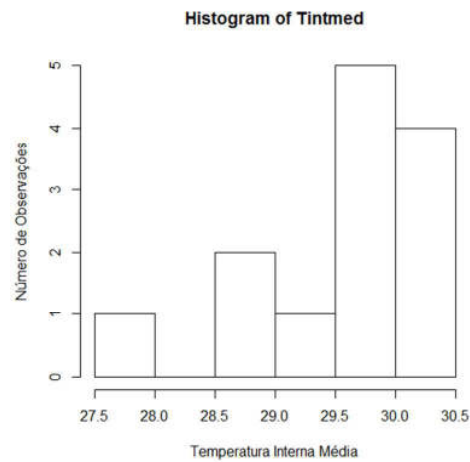
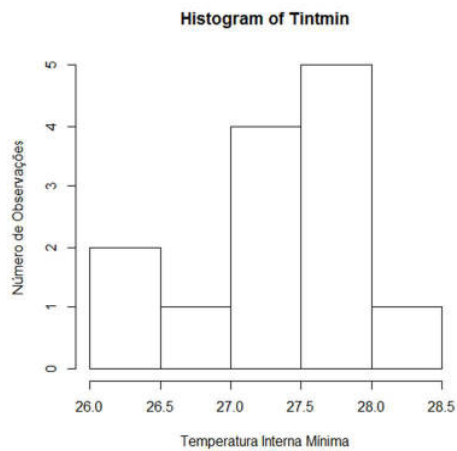
Verão  
 $T_{int,min} = 19.2277 + 0.3250 * T_{ext,min}$   $r^2 = 0,3563$

$T_{int,min} = 5.6017 + 0.8860 * T_{ext,min}$   $0,8746$

$T_{int,max} = 3.0779 + 0.9754 * T_{ext,max}$   $0,5419$

<b>Número de amostras</b>	<b>311</b>
<b>Ti med ou Média</b>	29,66559
<b>Variância</b>	3,193877
<b>Desvio Padrão</b>	1,787142
<b>Coef. De Variância</b>	0,060243
<b>Ti min ou X min</b>	26,40
<b>Quartil 1</b>	28,10
<b>Ti med ou Mediana</b>	29,50
<b>Quartil 2</b>	29,50
<b>Quartil 3</b>	31,20
<b>Ti max ou X max</b>	33,10
<b>Moda</b>	28,40
<b>Intervalo (Xmax-Xmin)</b>	6,70
<b>Correlação Ti com Te</b>	0,733623
<b>Nº de intervalos de classe -K</b>	9
<b>Amplitude das Classes-h</b>	0,8

### Modelo de Regressão



## Modelo m1SS

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 19.2277 + 0.3250 * Text_{min}$$

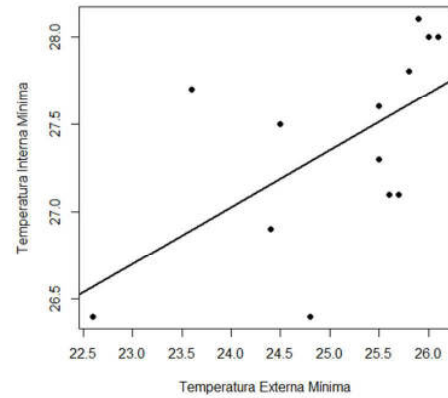
p-valor do intercepto (teste t): 0.000116

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.031262

R2multiplo: 0.3563

Erro padrão do modelo 0.1317

p-valor do modelo (teste F): 0.1317



## Modelo m2SS

$$\text{Modelo: } Tint_{min} = 5.6017 + 0.8860 * Text_{min}$$

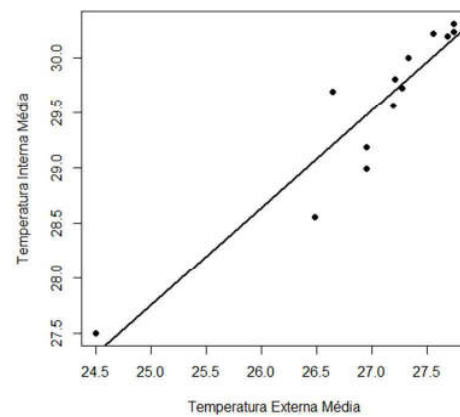
p-valor do intercepto (teste t): 0.0652

p-valor do coeficiente da variável (teste t):  $2.274 \cdot 10^{-6}$

R2multiplo: 0.8746

Erro padrão do modelo: 0.1012

p-valor do modelo (teste F):  $2.737 \cdot 10^{-6}$



## Modelo m3SS

$$\text{Modelo: } Tint_{max} = 3.0779 + 0.9754 * Text_{max}$$

p-valor do intercepto (teste t): 0.71190

p-valor do coeficiente da variável (teste t): 0.00412

R2multiplo: 0.5419

Erro padrão do modelo: 0.2704

p-valor do modelo (teste F): 0.004116

