



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

**Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de
óleo de mamona utilizada em componentes da
edificação (subcoberturas) estudo em Ilha Solteira, SP.**

Autora: Edmar Maria Lima Lopes

**Campinas
2009**

Paulo César Signori

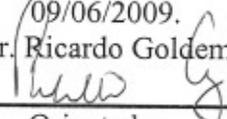
**Tamba Trio: A trajetória histórica do grupo e
análise de obras gravadas entre 1962-1964**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Música, do Instituto de Artes da UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Música, com área de concentração em Processos Criativos sob orientação do Prof. Dr. Ricardo Goldemberg.

Campinas
2009

Este exemplar é a redação final da Dissertação defendida pelo Sr. Paulo César Signori e aprovada pela Comissão Julgadora em

09/06/2009.
Prof. Dr. Ricardo Goldemberg


Orientador

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

EDMAR MARIA LIMA LOPES

**Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de óleo
de mamona utilizada em componentes da edificação
(subcoberturas) estudo em Ilha Solteira - SP.**

Tese de doutorado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil, na área de concentração em Arquitetura e Construção.

Orientadora: Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki

**Campinas
2009**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L881d Lopes, Edmar Maria Lima
Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de
óleo de mamona utilizada em componentes da edificação
(subcoberturas) estudo em Ilha Solteira - SP. / Edmar
Maria Lima Lopes. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Lucila Chebel Labaki.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Meio ambiente. 3. Materiais
isolantes. 4. Biopolímero. I. Labaki, Lucila Chebel. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Thermal performance of a castor oil foam as insulating material
inside the roof. study case in the city of Ilha Solteira, Brazil

Palavras-chave em Inglês: Thermal comfort, Environment, Insulating material,
Biopolimer

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Lucila Chebel Labaki , Alcides Padilha , Rosana Maria
Caram , Lia Lorena Pimentel

Data da defesa: 04/05/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

DESEMPENHO TÉRMICO DA ESPUMA POLIURETANA À
BASE DE ÓLEO DE MAMONA UTILIZADA EM
COMPONENTES DA EDIFICAÇÃO (SUBCOBERTURAS)
ESTUDO EM ILHA SOLTEIRA - SP

Edmar Maria Lima Lopes

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientadora/FEC – Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Alcides Padilha
FEB/ Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – Campus de Bauru



Profa. Dra. Rosana Maria Caram
FEC/ Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
FEC/ Universidade Estadual de Campinas



Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel
PUC/Campinas

Campinas, 4 de maio de 2009

“Buscar o caminho da praia era encontrar de novo a arquitetura do chamado milagre econômico: prédios enormes, esbanjando estruturas metálicas e vidros ray-ban. Eles deveriam morrer de calor dentro daquelas caixas. Possivelmente gastaram uma fortuna para construí-las e agora gastam uma fortuna para refrigera-las. E tudo podia ser tão bonito nos trópicos” .

(GABEIRA, F. *Entradas e bandeiras*. Ed. Codecri. Rio de Janeiro/RJ, 1981).

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Lucila Labaki,, por sua orientação, por sua paciência, pelas suas idéias e pelo incentivo em todos os momentos;

Ao Prof. Dr. Alcides Padilha – Unesp Bauru – SP, pela co – orientação nesta pesquisa e construção tanto do experimento, como dos equipamentos;

As professoras Rosana Caram e Lia Pimentel pelas contribuições feitas durante o exame de qualificação;

Ao Depto. de Matemática da FEIS/UNESP pelo apoio em todos os momentos;

À minha Família, pela compreensão em todos os momentos;

E todas as pessoas que apoiaram o desenvolvimento desse trabalho.

SUMÁRIO

Folha de rosto	iii
Folha de aprovação	v
Epígrafe	vii
Agradecimentos	ix
SUMÁRIO	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE EQUAÇÕES	xxiv
LISTA DE TABELAS	xxv
RESUMO	xxvi
ABSTRACT	xxvii
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1. Introdução	1
1.2. Justificativa	2
1.3. Organização dos capítulos	4
1.4. Objetivo	6
CAPÍTULO 2 – Pesquisas desenvolvidas em campo experimental no Brasil e Exterior	7

5.3.2. Caracterização da área de estudo	38
5.3.3. Desenvolvimento experimental	38
5.3.4. Localização do campo experimental das células-teste	39
5.3.5. Descrição das células-teste	40
5.3.6. Confecção das placas de espuma poliuretana à base de óleo de mamona	44
5.3.7. Confecção das placas de espuma	45
5.3.8. Método de preparação da espuma	45
5.3.9. Métodos mecânicos de dosagem, mistura e jateamento	46
5.3.10. Características químicas	46
5.3.11. Reação à luminosidade	46
5.3.12. Equipamentos	46
5.4. Programa de ensaio	50
5.4.1. Grandezas medidas	50
5.4.2. Disposição dos termopares nas células-teste	51
5.4.3. Realizações das medições	52
5.4.4. Período das medições	52
5.5. Valores das espessuras, densidade e condutividade térmica dos materiais empregados	53
5.6. Dados coletados	54
5.7. Dados analisados	55
5.8. Análise dos resultados	55
5.9. Elaboração e discussão dos gráficos e resultados	56
6. CAPÍTULO 6 – Apresentação dos dados	57
6.1. Período 1 (p1) – 10 a 24 de março de 2003- telha cor natural (fibrocimento)	57
6.2. Período 2 (p2) – 15 a 29 de abril de 2003- telha pintada de branco	59
6.3. Período 3 (p3) – 16 a 30 de julho de 2003 – telha pintada de branco	61
6.4. Período 4 (p4) – 14 a 28 de agosto de 2003 – telha cor natural (fibrocimento)	62
6.5. Influência das temperaturas internas, nas temperaturas superficiais dos elementos construtivos	64

CAPÍTULO 7 - Discussão	67
7.1. Temperatura interna	70
Período 1 (p1)	70
Período 2 (p2)	72
Período 3 (p3)	75
Período 4 (p4)	78
7.2. Temperaturas superficiais	81
Período 1 (p1)	81
Período 2 (p2)	87
Período 3 (p3)	93
Período 4 (p4)	99
7.3. Estudo comparativo das células-teste	107
Período 1 (p1)	107
Período 2 (p2)	111
Período 3 (p3)	115
Período 4 (p4)	119
7.4. Estudo comparativo dos valores da temperatura do ar externo e a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 m do piso entre a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), casa 2 (referência – sem isolante térmico) e a casa 3 (isolante sobre a laje)	123
Período 1 (p1)	123
Período 2 (p2)	127
Período 3 (p3)	131
Período 4 (p4)	134
7.5. Considerações finais	137
CAPÍTULO 8 - Conclusão	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	148

ANEXOS

A.I. Dados climatológicos de Ilha Solteira – SP, referentes ao período de 1999 a 2003	153
A.II. Estação climatológica de referência - Instrutherm	154
A.III. ABNT – NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações – parte 3. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Zona referente a Ilha Solteira – SP.	157
A.IV. Gráficos	158

LISTA DE ABREVIATURAS

CAPÍTULO 5 – Materiais e métodos

Tt1 – temperatura da telha da casa 1 (°C)	54
Tg1 – temperatura de globo casa 1 (°C)	54
Ts1 – temperatura de bulbo seco casa 1 (°C)	54
Th1 – temperatura de bulbo úmido casa 1 (°C)	54
Tli1 – temperatura da face inferior da laje casa 1 (°C)	54
TLs1 – temperatura da face superior da laje casa 1 (°C)	54
Tt2 – temperatura da telha casa 2 (°C)	54
Tg2 – temperatura de globo casa 2 (°C)	54
Ts2 – temperatura de bulbo seco casa 2 (°C)	54
Th2 – temperatura de bulbo úmido casa 2 (°C)	54
Tli2 – temperatura da face inferior da laje casa 2 (°C)	54
TLs2 – temperatura da face superior da laje casa 2 (°C)	54
Tt3 – temperatura da telha casa 3 (°C)	54
Tg3 – temperatura de globo casa 3 (°C)	54
Ts3 – temperatura de bulbo seco casa 3 (°C)	54
Th3 – temperatura de bulbo úmido casa 3 (°C)	54
Tli3 – temperatura da face inferior casa 3 (°C)	54
TLs3 – temperatura da face superior casa 3 (°C)	54
Tgext – temperatura de globo estação externa (°C)	54
Tsxt – temperatura de bulbo seco estação externa (°C)	54
Thxt – temperatura de bulbo úmido estação externa (°C)	

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3 – Noções gerais sobre polímeros e biopolímeros	
3.1. Mamona (<i>Ricinus communis</i>) com suas folhas e sementes	23
3.2. Esquema do processo de obtenção do óleo de mamona	24
3.3. Reação de expansão da poliuretana	25
CAPÍTULO 5 – Materiais e métodos	
5.1. Localização geográfica da cidade de Ilha Solteira - SP	34
5.2. Localização do campo experimental situado na UNESP – Campus de Ilha Solteira	39
5.3. Célula-teste 1 (casa 1 – isolante tipo “sandwich”)	41
5.4. Célula-teste 2 (casa 2 – referência)	42
5.5. Célula-teste 3 (casa 3 – isolante sobre a laje)	43
5.6. Molde fechado de madeira para confecção das placas	44
5.7. Modelagem das placas de espuma poliuretana	44
5.8. Preenchimento do molde com a mistura do polioliol e pré-polímero	45
5.9. Fechamento do molde	45
5.10. Estação climática construída com a estação de referência Instrutherm	47
5.11. Estação climática externa	47
5.12. Aquisição de dados	47
5.13. Programa de aquisição de dados Picolog	47
5.14. Estação externa e estação Instrutherm de referência	49
5.15. Casa 1 e estação Instrutherm de referência	49
5.16. Casa 2 e estação Instrutherm de referência	49

5.17. Casa 3 e estação Instrutherm de referência	49
5.18. Corte esquemático com a localização dos termopares na casa 1	51
5.19. Corte esquemático com a localização dos termopares na casa 2	51
5.20. Corte esquemático com a localização dos termopares na casa 3	52
5.21. Estação externa a 1,70 m de altura do piso	54
5.22. Disposição do termopar sob a telha	54

CAPÍTULO 6 – Apresentação dos dados

6.1. Gráfico – Período 1 – temperaturas internas casa 1	64
6.2. Gráfico – Período 1 – temperaturas internas casa 2	64
6.3. Gráfico – Período 1 – temperaturas internas casa 3	65
6.4. Gráfico – Período 2 – temperaturas internas casa 1	65
6.5. Gráfico – Período 2 – temperaturas internas casa 2	65
6.6. Gráfico – Período 2 – temperaturas internas casa 3	65
6.7. Gráfico – Período 3 – temperaturas internas casa 1	65
6.8. Gráfico – Período 3 – temperaturas internas casa 2	65
6.9. Gráfico – Período 3 – temperaturas internas casa 3	66

CAPÍTULO 7 - Discussão

7.1. Gráfico de temperatura e umidade relativa externas referente ao período 1	68
7.2. Gráfico de temperatura e umidade relativa externas referente ao período 2	68
7.3. Gráfico de temperatura e umidade relativa externas referente ao período 3	69
7.4. Gráfico de temperatura e umidade relativa externas referente ao período 4	69
7.5. Gráfico da variação das temperaturas de bulbo seco interna e externa no período de 10 a 24 março de 2003. Telha de cor natural (fibrocimento)	70
7.6. Gráfico de comparação entre a diferença das máximas interna e externa (Δt_{max}), atraso térmico e a temperatura do ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo)	71
7.7. Gráfico da variação das temperaturas de bulbo seco interna e externa no período de 15 a 29 de abril de 2003. Telha de cor branca	72

7.8. Gráfico de comparação entre a diferença das máximas interna e externa (Δt_{max}), atraso térmico e temperatura do ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo)	74
7.9. Gráfico da variação das temperaturas de bulbo seco interna e externa no período de 16 a 30 de julho de 2003. Telha de cor branca.	76
7.10. Gráfico de comparação entre a diferença das máximas interna e externa (Δt_{max}), atraso térmico e a temperatura do ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo)	77
7.11. Gráfico da variação das temperaturas de bulbo seco interna e externa no período de 14 a 28 de agosto de 2003. Telha de cor natural (fibrocimento)	79
7.12. Gráfico de comparação entre a diferença das máximas interna e externa (Δt_{max}), atraso térmico e a temperatura do ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo)	80
7.13. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1, no período 1	81
7.14. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 1	82
7.15. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3, no período 1	82
7.16. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1, no período 2	87
7.17. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 2	88
7.18. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3, no período 2	88
7.19. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1, no período 3	93
7.20. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 3	94
7.21. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3, no período 3	94
7.22. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1 (isolante tipo “sandwich”), no período 4	99
7.23. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 4	100
7.24. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3 (isolante sobre a laje), no período 4	100

7.25. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 1	107
7.26. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 1	108
7.27. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 1	108
7.28. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 2	111
7.29. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 2	111
7.30. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 2	112
7.31. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 3	115
7.32. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 3	115
7.33. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 3	116
7.34. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 4	119
7.35. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, no período 4	119
7.36. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 4	120
7.37. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 1	123
7.38. Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 1}$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 1	123
7.39. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 2	127

7.40. Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 2}$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 2	127
7.41. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 3	131
7.42. Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3}$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 3	131
7.43. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 4	134
7.44. . Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 4}$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 4	134

ANEXO III – Desempenho térmico das edificações

A.III.1 – Zona bioclimática 6	157
A.III.2 – Carta bioclimática apresentando as normais de cidades desta zona, destacando a cidade de Ilha Solteira - SP	157

ANEXO IV - Gráficos

A.1. Gráfico temperatura de b. seco p1	159
A.2. Gráfico temperatura de b. úmido p1	159
A.3. Gráfico temperatura de globo p1	159
A.4. Gráfico temperatura da telha p1	159
A.5. Gráfico temperatura abaixo da laje p1	159
A.6. Gráfico temperatura acima da laje p1	159
A.7. Gráfico temperatura e umidade – casa 1 – p1	160
A.8. Gráfico temperatura e umidade – casa 2 – p1	160
A.9. Gráfico temperatura e umidade – casa 3 – p1	160
A.10. Gráfico umidade relativa p1	160
A.11. Gráfico ambiente externo p1	160

A.12. Gráfico temperatura – casa 1 – p1	160
A.13. Gráfico temperatura – casa 2 – p1	161
A.14. Gráfico temperatura – casa 3 – p1	161
A.15. Gráfico temperatura e umidade externa	161
A.16. Gráfico temperatura e umidade externa p1	161
A.17. Gráfico temperatura e umidade externa p1	161
A.18. Gráfico temperatura de b. seco p2	162
A.19. Gráfico temperatura de b. úmido p2	162
A.20. Gráfico temperatura de globo p2	162
A.21. Gráfico temperatura da telha p2	162
A.22. Gráfico temperatura abaixo da laje p2	162
A.23. Gráfico temperatura acima da laje p2	162
A.24. Gráfico temperatura e umidade – casa 1 – p2	163
A.25. Gráfico temperatura e umidade – casa 2 – p2	163
A.26. Gráfico temperatura e umidade – casa 3 – p2	163
A.27. Gráfico umidade relativa p2	163
A.28. Gráfico ambiente externo p2	163
A.29. Gráfico temperatura – casa 1 – p2	163
A.30. Gráfico temperatura – casa 2 – p2	164
A.31. Gráfico temperatura – casa 3 – p2	164
A.32. Gráfico temperatura e umidade externa p2	164
A.33. Gráfico temperatura e umidade externa p2	164
A.34. Gráfico temperatura e umidade externa p2	164
A.35. Gráfico temperatura de b. seco p3	165
A.36. Gráfico temperatura de b. úmido p3	165
A.37. Gráfico temperatura de globo p3	165
A.38. Gráfico temperatura da telha p3	165
A.39. Gráfico temperatura abaixo da laje p3	165
A.40. Gráfico temperatura acima da laje p3	165
A.41. Gráfico temperatura e umidade – casa 1 – p3	166
A.42. Gráfico temperatura e umidade – casa 2 – p3	166

A.43. Gráfico temperatura e umidade – casa 3 – p3	166
A.44. Gráfico umidade relativa p3	166
A.45. Gráfico ambiente externo p3	166
A.46. Gráfico temperatura – casa 1 – p3	166
A.47. Gráfico temperatura – casa 2 – p3	167
A.48. Gráfico temperatura – casa 3 – p3	167
A.49. Gráfico temperatura e umidade externa p3	167
A.50. Gráfico temperatura e umidade externa p3	167
A.51. Gráfico temperatura e umidade externa p3	167
A.52. Gráfico temperatura de b. seco p4	168
A.53. Gráfico temperatura de b. úmido p4	168
A.54. Gráfico temperatura de globo p4	168
A.55. Gráfico temperatura da telha p4	168
A.56. Gráfico temperatura abaixo da laje p4	168
A.57. Gráfico temperatura acima da laje p4	168
A.58. Gráfico temperatura e umidade – casa 1 – p4	169
A.59. Gráfico temperatura e umidade – casa 2 – p4	169
A.60. Gráfico temperatura e umidade – casa 3 – p4	169
A.61. Gráfico umidade relativa p4	169
A.62. Gráfico ambiente externo p4	169
A.63. Gráfico temperatura – casa 1 – p4	169
A.64. Gráfico temperatura – casa 2 – p4	170
A.65. Gráfico temperatura – casa 3 – p4	170
A.66. Gráfico temperatura e umidade externa p4	170
A.67. Gráfico temperatura e umidade externa p4	170
A.68. Gráfico temperatura e umidade externa p4	170

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO 2 – Revisão bibliográfica

2.1. Carga térmica de radiação	9
2.2. Temperatura média radiante	9
2.3. Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU)	10

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 5 – Materiais e métodos

- 5.1. Valores das espessuras, densidade e condutividade térmica dos materiais empregados

CAPÍTULO 6 – Apresentação dos dados

- 6.1. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 1 (p1) 58
- 6.2. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 1 (p1) 58
- 6.3. Umidade relativa no período 1 (p1) 59
- 6.4. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 2 (p2) 59
- 6.5. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 2 (p2) 60
- 6.6. Umidade relativa no período 2 (p2) 61
- 6.7. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 3 (p3) 61
- 6.8. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 3 (p3) 62
- 6.9. Umidade relativa no período 3 (p3) 62
- 6.10. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 4 (p4) 63
- 6.11. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 4 (p4) 63
- 6.12. Umidade relativa no período 4 (p4) 63

CAPÍTULO 7 – Discussão

- 7.1. Amplitude térmica C° entre as temperaturas das casas 1,2, 3 e a externa p2 73
- 7.2. Amplitude térmica C° entre as temperaturas ambientes das casas 1, 2, 3 e a externa p2 74
- 7.3. Amplitude térmica C° entre as temperaturas das casas 1, 2, 3 e a externa p2 75

7.4. Amplitude térmica C^0 entre as temperaturas ambientes das casas 1, 2, 3 e a externa p3	77
7.5. Amplitude térmica C^0 entre as temperaturas das casas 1, 2, 3 e a externa p4	78
7.6. Amplitude térmica C^0 entre as temperaturas ambientes das casas 1, 2, 3 e a externa p4	80

RESUMO

LOPES, E. M. L. Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de óleo de mamona utilizada em componentes da edificação - estudo em Ilha Solteira - SP. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2009.

O óleo de mamona após seu processamento e síntese, dá origem a uma poliuretana, termicamente compatível com as poliuretanas de origem petroquímica, mas com toxicidade quase nula e baixa flamabilidade. A utilização da espuma de mamona é ecologicamente correta por tratar-se de uma fonte vegetal renovável, não tóxica durante o seu manuseio. Através da experimentação de 4 (quatro) células-teste em escala 1: 1 foram utilizadas placas de espuma poliuretana de mamona, como isolante térmico em coberturas. A diferença entre as células-teste apresenta-se na localização das placas de resina poliuretana. Na quarta célula-teste (casa 4), está localizada a central de tomada dos dados. Na primeira (casa 1), a espuma poliuretana encontra-se em forma “sandwich”, localizada entre as telhas de fibrocimento. A segunda (casa 2), não possui nenhum tipo de isolamento térmico – é a célula-teste utilizada como referência para este estudo e na terceira (casa 3), a espuma poliuretana é colocada diretamente sobre a laje. O trabalho teve como objetivo verificar comparativamente, a resposta térmica das coberturas utilizando a espuma poliuretana de mamona como isolante térmico na cobertura, englobando duas estações climáticas, final do verão e o inverno. Em diferentes períodos da pesquisa utilizou-se as telhas de fibrocimento em sua cor natural e com a telha pintada na cor branca. Foram registradas as temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e de globo internas e externas do ar e as temperaturas superficiais dos elementos construtivos componentes da cobertura. A análise dos dados foi feita comparando-se as temperaturas de cada uma das células - teste, com as temperaturas externas, tomadas por uma pequena estação meteorológica. O experimento foi desenvolvido na cidade de Ilha Solteira/SP, região noroeste do estado. A célula-teste 1 (casa 1), que possui o isolante térmico em forma “sandwich “ entre as telhas e com as telhas pintadas na cor branca, apresentou melhor desempenho térmico, para utilização no inverno-seco e, a célula-teste 3 (casa 3), com o isolante diretamente sobre a laje e com as telhas pintadas de branco, demonstrou melhor comportamento térmico no verão quente-úmido.

Palavras chaves: conforto térmico, meio ambiente, polímero vegetal, material isolante.

ABSTRACT

LOPES, E. M. L. Thermal performance of a castor oil foam as insulating material inside the roof. Study case in the city of Ilha Solteira, Brazil. Thesis (Doctorate) – School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design, State University of Campinas, Campinas, 2009.

The aim of this work is to describe an experimental study using castor oil foam as an insulating material inside the roof. The castor oil foam inside the roof is an appropriate natural recycled material as a passive cooling strategy as opposite to the burning of fossil fuels for air conditioning (AC) and mechanical ventilation. The expected result of this research is the possibility of contributing to improve thermal comfort and quality of life in the built environment. This experimental study is based on collecting data under real climate conditions of temperature and humidity to investigate the thermal performance in four test-cells with castor oil foam inside their roofs, in the city of Ilha Solteira located at northwest region of São Paulo State, in Brazil. In this research four test-cells constructions were used for data collection of ambient and surfaces temperatures with dimensions 3,00 x 2,00 x 2,50 m in real scale. The first test-cell was composed with insulating material like a sandwich. The second one with no insulating material was taken by reference. The third one was had insulating material on the flag and on the fourth was found the central of data collection. This work compared about the behavior in the test-cells applying castor oil foam on four different periods of the year: two on the summer and two in the winter. Results showed up the best thermal performance on the summer period was demonstrated on the test-cell n° 3, presenting white roofing. Otherwise in the winter, the best thermal behavior was presented on the test cell n° 1, with white roofing, too.

Keywords: experimental thermal performance, thermal comfort, vegetable polymer and insulating material.

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1. INTRODUÇÃO

No mundo moderno, em que o processo tecnológico está cada vez mais presente, a construção encontra subsídios para a criação de novos rumos na produção de espaços edificados. Em contrapartida, apesar do triunfo tecnológico, para alguns profissionais que atuam no ramo da construção, a interação entre os recursos projetuais e com o meio ambiente não é considerado, o que poderia levar a soluções inadequadas frente às condições ambientais.

O Brasil apresenta regiões com diversas características climáticas e microclimáticas. No entanto, há quem insista na utilização indiscriminada de elementos de projeto e materiais de construção, sem a devida preocupação com as condições locais.

Por isso, abordar a permanente necessidade da (re) avaliação dos materiais empregados em componentes construtivos, é uma opção na busca de espaços que ofereçam boas condições de habitabilidade.

Para RORIZ (1989), a adequação climática das edificações busca responder o objetivo de melhorar o microclima no seu interior, otimizando as condições de conforto térmico para seus ocupantes.

Segundo a ASHRAE (1992), conforto térmico significa “aquela condição da mente que expressa a satisfação com o ambiente térmico”.

AKUTSU e VITTORINO (1989), afirmam que “as grandezas que caracterizam a edificação quanto ao comportamento térmico são a forma, dimensão e propriedades termofísicas

dos materiais de componentes construtivos. O desempenho térmico de uma edificação é resultante da interação que se estabelece entre a edificação e o ambiente térmico no qual está implantada”.

AKUTSU & SATO (1988), sugerem o aprofundamento dos estudos referentes às propriedades térmicas dos materiais, considerando as condições de exposição e uso, além de dados representativos de produtos na orientação geral à elaboração de projeto de edificações, para que atendam às exigências de conforto térmico dos usuários.

Com o exposto acima, aliado ao fato de que estudos prévios podem eliminar custos desnecessários e prejuízos à saúde, faz-se necessário, em regiões de clima quente-úmido no verão e inverno seco, estudos de desempenho térmico de componentes construtivos frente à radiação solar.

Assim, esta pesquisa visa o estudo do desempenho térmico da espuma poliuretana de mamona, aplicada em coberturas, no clima de Ilha Solteira – SP.

1.2. Justificativa

A espuma poliuretana de mamona é um polímero que, embora originado em pesquisas desenvolvidas na área de química, tem-se revelado com excelente potencial para utilização em diferentes campos da construção.

É uma poliuretana versátil sob o aspecto de suas propriedades químicas, físicas e mecânicas. A matéria prima principal é o óleo de mamona, conhecido também como óleo de rícino ou castor oil, em países de língua inglesa. Atualmente, o Brasil, é um dos maiores produtores mundiais, caracterizando este produto como de fácil obtenção e baixo custo. Este material já foi alvo de pesquisas anteriores, como no trabalho de SILVA (1996), PEREIRA et al (1993) e MARCHESONI (2000), referindo-se porém, a área de concreto, na construção civil.

Com referência às condições ambientais envolvidas no processo de produção, esta resina apresenta-se favorável pelas seguintes razões:

- originar-se de um vegetal, e não haver necessidade de explorar lavras minerais;
- ser de fonte renovável, tal qual o álcool da cana de açúcar, usado como combustível;
 - empregar mão de obra em larga escala no seu plantio, manejo das lavouras, coleta manual e secagem das sementes;
 - a etapa de colheita da mamona não envolve queimadas, como na produção do álcool, sendo assim melhor do que a cultura da cana de açúcar, por ser menos agressiva ao meio ambiente;
- fixar nutrientes ao solo, o que eleva ainda mais sua importância.

Como subproduto da extração de seu óleo, a mamona fornece alguns rejeitos industriais como a torta de mamona, utilizada como fertilizante e as cascas secas de suas sementes são aproveitadas também como fertilizantes e ração animal, e ainda como combustível pelas indústrias extratoras, permitindo assim reduzir bastante o custo energético de sua produção.

Do óleo extraído tem-se várias aplicações, muitas delas como substitutas, com eficiência, do petróleo e seus derivados, como o caso do diesel vegetal. Esse combustível não é de concepção recente. Na Segunda Guerra Mundial, ele foi utilizado como combustível em caminhões e caldeiras.

Em termos atuais, a resina poliuretana derivada do óleo de mamona apresenta ainda custos altos, devendo-se ao fato desta não estar sendo produzida em larga escala. Com o aumento de sua produção e o aperfeiçoamento de suas técnicas produtivas, o seu custo tende a reduzir-se, podendo competir com os produtos derivados do petróleo e, conseqüentemente, conseguir uma maior aplicação na construção.

Para a análise do desempenho térmico da espuma poliuretana de mamona, fez-se necessário considerar algumas especificidades como por exemplo, as propriedades térmicas dos materiais construtivos empregados, através da análise conjunta, com os fatores climáticos:

temperaturas externa, interna e superficial dos componentes, umidade relativa, ventilação e regime de chuvas.

Apesar de existirem outros estudos experimentais, até o momento, nenhum deles, utiliza a espuma poliuretana de mamona, que é uma fonte vegetal natural, com preocupações de isolamento térmico.

Em Ilha Solteira/SP, atualmente verifica-se forte expansão da cidade, em face aos novos bairros que estão surgindo. Uma das características marcantes na construção da cidade, é a utilização de alvenaria, com cobertura de telha de barro ou telha de fibrocimento, sendo raro a preocupação com o conforto térmico.

Na cidade são comuns, no verão, temperaturas elevadas (de 35 °C a 37 °C – temperaturas máximas de verão) e umidade relativa variando entre 40% a 99%, no mesmo dia. O aquecimento do interior da edificação, permanece até depois de 24 horas, só refrescando a partir das primeiras horas do dia (entre 3 e 5 horas da manhã, no verão).

Com um período prolongado de aquecimento interno, faz-se necessário a utilização de isolamento térmico, para manter as condições de conforto térmico e habitabilidade do indivíduo.

Dada a esta ocorrência na cidade, optou-se pela experimentação “in loco”, no intuito de contribuir, com o relacionamento homem, meio ambiente e edificação, para as construções em Ilha Solteira/SP.

1.3. Organização dos capítulos

Esta pesquisa está estruturada da seguinte forma:

Capítulo 1: introdução e justificativa do tema;

Capítulo 2: apresenta a referência bibliográfica e pesquisas apresentadas no Brasil e exterior utilizando células-teste em tamanho real, na experimentação;

Capítulo 3: discute as noções gerais sobre polímeros e biopolímeros;

Capítulo 4: descreve os requisitos para um bom desempenho térmico em Ilha Solteira – SP;

Capítulo 5: matérias e métodos;

Capítulo 6: Apresentação dos dados;

Capítulo 7 : discussão dos resultados;

Capítulo 8: conclusões;

Referências bibliográficas;

Bibliografia consultada.

Anexos: dados climáticos e gráficos citados no decorrer do trabalho.

1.4 Objetivo

Verificar comparativamente o comportamento da espuma poliuretana da resina do óleo de mamona, utilizada como isolante térmico na cobertura, sob as mesmas condições de projeto, orientação, ângulo de cobertura, geometria, materiais construtivos utilizados e com a cobertura de fibrocimento, considerando as condições climáticas da cidade de Ilha Solteira/SP.

CAPÍTULO 2 – Revisão bibliográfica.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O isolante térmico, utilizado em lajes e coberturas, desempenha importante função no controle térmico de edificações sujeitas ao clima quente e úmido no verão e inverno seco, como na cidade de Ilha Solteira/SP.

Sobre as contribuições pertinentes ao objeto de estudo, há algumas pesquisas que tratam do desempenho térmico de coberturas e paredes e a influência dos vãos (janelas) no ingresso de energia térmica no espaço interno da edificação.

Segundo Akutsu e Sato (1988), tratando-se de pesquisa internacional, muitas têm sido efetuadas em países como França, Bélgica, Inglaterra, Canadá e EUA, com objetivo de caracterizar o comportamento térmico de componentes arquitetônicos. No entanto, nem todos estes resultados são aplicáveis a nossa realidade devido às diferenças existentes, tanto nos materiais empregados, quanto nas condições climáticas.

Esta revisão apresenta os parâmetros e métodos comumente adotados em pesquisas que objetivam a verificação da resposta térmica de componentes construtivos, especificamente coberturas e paredes.

Cabe a esta pesquisa portanto, uma contribuição no que diz respeito ao comportamento térmico de um dispositivo de proteção (isolante térmico), de material natural e renovável, exposto as condições climáticas quente-úmida no verão e inverno seco.

2.1. Coberturas

A envoltória de uma edificação é constituída por todos os componentes (paredes, telhados, portas e janelas) que separam do meio externo, exercendo simultaneamente, o contato e a proteção contra a influência das variáveis climáticas (temperatura, radiação solar, umidade, etc.). O conhecimento dos processos físicos que ocorrem na envoltória, além das propriedades dos materiais utilizados em cada componente da edificação, fornece informações acerca da energia térmica e conseqüentemente, do desempenho térmico de cada componente, assim como de toda a edificação.

As coberturas constituem parte fundamental nas edificações, protegendo tanto a própria edificação quanto aos usuários dos efeitos nocivos do clima. Esta proteção, no entanto, depende das propriedades térmicas dos elementos da cobertura que poderão gerar condições internas mais adversas do que o meio externo. As coberturas devem responder com eficiência a diversos fatores, como desempenho estrutural, térmico e acústico, estanqueidade, proteção contra incêndio, entre outros.

Em edificações térreas, considerando-se a “envoltória” composta pelas vedações e cobertura, esta última é responsável pelo acréscimo de considerável parcela da carga térmica em função de sua exposição permanente à radiação solar. Dentre os componentes da cobertura (telhas + ático + forro), o forro ou subcobertura, é um dos elementos construtivos mais importantes em relação ao ganho de calor, pois interfere no conforto térmico interno e até mesmo no consumo de energia.

Segundo Dominguez et al (1992), no projeto de uma cobertura devem ser considerados simultaneamente três fatores:

- “controle solar” (quantidade de sombra produzida e adequação da forma a da superfície ocupada);
- “parcela de radiação” que atravessa a cobertura em relação ao total que incide sobre ela (o que depende do tipo de cobertura e dos materiais utilizados);

- a quantidade de calor absorvido e dissipada pela cobertura” (o que depende do tipo de cobertura, da forma e da cor da superfície).

Considerando-se a morfologia das estruturas (Peralta, 2006), “as coberturas são estruturas que se definem pela forma, observando características de função e estilo arquitetônico das edificações” e devem atender a questões estéticas, econômicas e utilitárias. Nas questões utilitárias enquadram-se: impermeabilidade, leveza, isolamento térmico e acústico. Todos estes aspectos dependem sobretudo da composição das coberturas. Nesta pesquisa porém, são enfocadas, somente as questões referentes ao conforto térmico.

Dominguez et al (1992) dividem as coberturas em três grupos:

- simples (uma camada de material);
 - duplas (formadas por duas camadas simples superpostas com uma camada de ar entre elas);
- múltiplas (formadas por um conjunto de placas inclinadas que se sobrepõem).

Em coberturas simples, a propriedade do material é de importância fundamental, pois como não existem outras camadas, a proteção contra o excesso de passagem de calor só pode ser realizada pela própria telha.

Uma correta especificação de cobertura depende, sobretudo dos conhecimentos do profissional da construção civil acerca das exigências fundamentais, responsáveis por um bom desempenho como: impermeabilidade, resistência ao impacto, leveza e durabilidade. Além disso, este profissional deve entender o comportamento das variáveis climáticas da região onde está atuando e sua relação com as propriedades térmicas dos materiais.

2.1.1. Pesquisas sobre desempenho térmico de coberturas

Ainda são pouco numerosas as pesquisas que analisam em campo o desempenho térmico em coberturas e subcoberturas. A dificuldade de realização de ensaios experimentais deve-se aos

aspectos restritivos, como a variabilidade das condições climáticas, a pouca disponibilidade e o custo dos equipamentos empregados, bem como o período de medições necessário a esse tipo de estudo.

Lamberts (1990), analisou o desempenho térmico de coberturas leves com ático e sua influência no conforto térmico de casas populares, usando simulação através de um modelo baseado no método das diferenças finitas. Foram analisadas dez configurações diferentes de telhado, para um dia típico de verão de Porto Alegre, RS. Concluiu que barreiras radiantes no ático representam uma melhoria sensível no desempenho térmico, cujo maior problema é uma alta temperatura no forro.

Akutsu e Vittorino (1990), através de simulação computacional, avaliaram o efeito da aplicação de isolantes térmicos no conforto térmico e nas cargas térmicas de condicionamento, tanto na cobertura quanto em paredes. Avaliaram o efeito de seu posicionamento (externa ou internamente), e principalmente levando em conta a inércia térmica da edificação. Foram simulados três tipos de edificação: leve, médio e pesado, para três cidades: Porto Alegre, São Paulo e Salvador.

Basso e Correa (1993), analisaram a ação da temperatura sobre a laje de cobertura de edifícios, também através de simulação computacional. Um estudo experimental foi realizado por Souza e Pires, 1995, sobre o desempenho térmico de coberturas leves para a cidade de São Carlos, SP. Os resultados das medições foram comparados com os da simulação computacional.

Uma análise do desempenho térmico de coberturas e das tensões de cisalhamento impostas à alvenaria pela expansão térmica da laje de cobertura foi realizada por Pereira et al (1995). Neste trabalho foi desenvolvido um software fundamentado no método das diferenças finitas.

Akutsu e Vittorino (1999), estudaram o desempenho térmico de telhas de alumínio, através da comparação de desempenho com telhas convencionais de fibrocimento, de aço galvanizado e de cerâmica, por meio de medições de propriedades térmicas em laboratório e de

parâmetros ambientais em protótipos. Os resultados demonstraram um bom potencial de desempenho de telhas com superfície de baixa emissividade, como é o caso das telhas de alumínio sem revestimento.

Souza et al. (2001), avaliaram o desempenho térmico de coberturas em habitações populares feitas em estrutura metálica. Através de simulação computacional, foram levadas em consideração as propriedades dos materiais, as fontes internas e externas de calor em relação ao ambiente analisado, bem como o custo das diferentes configurações de telhado.

Valentim (1989) pesquisou soluções construtivas para casas populares, com coberturas de fibrocimento, que possibilitassem melhores condições de conforto térmico, quando comparadas às casas populares cobertas com telhas de barro tipo Marselha. Foram construídas quatro casas com 55m² de área, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)/SP. Em duas delas foram utilizadas telhas de fibrocimento, com modificações quanto à inclinação da cobertura, tipo de forro, aberturas de ventilação e cor da pintura da telha. As outras duas casas foram mantidas sem modificações, utilizando telhas de barro com 35% de inclinação. Em uma delas foi utilizado forro de madeira prensada com 6mm de espessura. O autor adotou o índice de temperatura efetiva, onde esta temperatura foi definida pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar. Koenigsberger et al. (1977) admitiu como parâmetros de análise, a temperatura de globo associada com a Carta Psicrométrica, a qual fornece os valores de umidade relativa. Utilizou termômetros de mercúrio, termopares e anemômetro de fio quente. As medições foram efetuadas de hora em hora, de 8.00 às 22.00 horas. Foram selecionados os dias em que as condições climatológicas admitiam céu limpo e ar parado, pois os resultados eram mais precisos.

Ainda segundo Valentim (1989), a temperatura efetiva interna, em relação à externa, não apresenta variações significativas capazes de embasar o conceito de que a inclinação influi no desempenho térmico das coberturas estudadas. Também não foi verificada redução de temperatura efetiva interna. Só é observado melhor o desempenho das telhas de fibrocimento, em relação às coberturas de barro e forro de madeira simples e sem ventilação, quando o forro de madeira utilizado, recebe ventilação. A solução através da pintura em cor branca da telha de

fibrocimento para Valentim (1989), revelou-se boa em termos de melhoria de conforto, mas esta solução não resolve o problema, devido ao caráter temporário da propriedade refletiva à radiação solar.

Para fazer uma análise comparativa do comportamento térmico de edificações com cobertura de telha de barro e laje de concreto, Akutsu e Sato (1988) efetuam medições de temperaturas do ar interno e externo, superficiais interna e externa das coberturas, superficiais de piso e parede, em células-teste, em tamanho real, expostos às condições naturais.

As células-teste possuem 12m^2 de dimensões de piso e são idênticas, quanto a orientação, as aberturas e a implantação no terreno. A célula-teste de referência é constituída por cobertura de telha de barro tipo marselha, com inclinação de 25° e forro em madeira aglomerada com 6mm de espessura. As paredes são de alvenaria de tijolos maciços de barro, revestidas nas duas faces, com a espessura total em torno de 0,25m. O piso é de concreto, sem revestimento.

O período de medição, para Akutsu e Sato (1988), segue as etapas de comparação do protótipo de referência, com as seguintes modificações:

- a. A_1 – cobertura em laje pré-moldada, de 10cm de espessura, impermeabilizada por uma manta asfáltica – de 11/04/80 a 26/04/80;
- b. A_2 – a situação anterior adicionada de uma camada de argila expandida, perfazendo a espessura média de 0,05m – de 17/06/80 a 07/07/80;
- c. A_3 – a situação A_1 adicionada de sombreamento através da telha modulada de cimento amianto, de 0,008m de espessura – de 07/08/80 a 25/08/80.

As pesquisadoras verificaram, que para locais de pequena variação diária do ar exterior, a célula-teste com laje simples não apresenta diferenças nas temperaturas do ar interior em relação à célula-teste com cobertura de telha de barro. Esta, por sua vez, proporciona, em sua superfície interna, variações diárias inferiores às correspondentes temperaturas superficiais da laje.

Sato (1988) desenvolveu um modelo para a cobertura de uma célula-teste de edificação, construída no Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP tomando como referência os resultados da pesquisa realizada no NBS – National Bureau of Standards, em 1979. A célula-teste é constituída por laje mista de concreto e elementos cerâmicos, impermeabilizados por uma manta asfáltica e sombreada com telhas de fibrocimento. O vão entre o telhado e a laje foi mantido, para a ventilação do ático. Foram dadas as equações de balanço de energia para cada superfície da cobertura. A quantidade de calor, transmitida por condução, foi calculada pelo método dos fatores de resposta térmica e a vazão de ar, através do ático foi determinada a partir da formulação proposta pela ASHRAE (1981). A comprovação experimental do modelo pela autora, foi efetuada com realização de ensaios, a partir da comparação entre valores medidos e os calculados através do modelo. Para uma série de medidas, foi verificada uma aproximação satisfatória entre os valores medidos e os calculados. Embora, estes resultados apresentassem boa indicação do modelo, comprovou-se neste estudo, a necessidade de um número maior de ensaios que permitissem a extrapolação desses resultados.

Silva, Ghelfi Filho e Consigliero (1990) analisaram a eficiência das coberturas com telha de barro tipo canal e cimento amianto na redução da carga térmica de radiação solar em protótipos. O campo experimental localizou-se na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, na cidade de Piracicaba/SP. O período de coleta de dados, de 09/02/90 a 14/03/90, refere-se ao período de verão. Os abrigos estavam instalados em solo gramado, com estrutura de madeira e fechamento lateral feito com tela de polietileno. O telhado constitui-se de duas águas, sendo o maior comprimento no sentido leste-oeste. Os abrigos diferenciam-se pelo material de cobertura, a seguir:

- a. Telha de barro tipo capa canal;
- b. Telha ondulada de fibrocimento, com 6mm de espessura;
- c. Telha ondulada de fibrocimento, em duas camadas, formando um colchão de ar de 4 cm de espessura.

A instrumentação utilizada compôs-se de termômetros de máxima e mínima, termômetro de globo e termômetro de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro de aspiração). Foi selecionado

o dia de maior entalpia para análise e discussão dos resultados. Os autores avaliaram os efeitos térmicos do tipo de cobertura através de dois índices:

a) Carga térmica de radiação (CTR), proposta por Esmay (1979) e determinada pela equação 2.1.

$$CTR = \sigma (TRM)^4 \quad (\text{eq. 2.1.})$$

onde: CTR = carga térmica de radiação (W.m^{-2})

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W. m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ (Constante de Stefan-Boltzmann)}$$

TRM = temperatura média radiante, sendo esta determinada pela equação 2.2.

$$TRM = 100 [2,51 V_v (T_g - T_a) (T_g)^4]^{1/4} \quad (\text{eq. 2.2})$$

onde: TRM = temperatura média radiante (K°)

T_g = temperatura de globo (K)

V_v = velocidade do vento (m/s)

T_a = temperatura ambiente (K)

b) Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1977), representado pela equação 2.3.

$$ITGU = T_g + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (\text{eq. 2.3})$$

onde: ITGU = índice de temperatura de globo e umidade (K°)

T_{po} = temperatura de ponto de orvalho (K°)

Os pesquisadores concluíram que as telhas de barro e fibrocimento dupla, apresentam o comportamento de maior conforto, em relação a telha de amianto simples.

Souza (1990) pesquisou coberturas, com o objetivo de avaliar a aplicabilidade do programa de simulação computacional NBSLD – National Bureau of Standards Load Determination – na verificação do desempenho térmico de coberturas (telha de barro, fibrocimento e argamassa armada), comparando seus resultados com os colhidos no campo. Efetuou medidas “in loco”, utilizando protótipos em escala real, construídos no Campus da EESC-USP, em São Carlos/SP, sob as mesmas condições de exposição de sol e vento. Foram coletados dados horários de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido do ar externo e do ar interno, temperatura de globo, velocidade do vento e umidade do ar.

A partir da comparação entre os dados medidos e os simulados pelo programa NBSLD, o autor verificou que existem algumas limitações impostas ao programa, que podem causar distorções aos resultados. Exemplificando, tem-se que o tipo de cobertura analisado não corresponde aos padrões adotados no País, para o qual o modelo foi desenvolvido, tratando-se de inclinação e os materiais empregados. Akutsu (1988), já havia abordado este fato, quando afirma que a inclinação acentuada da cobertura pode levar a erros não desprezíveis nos resultados simulados no programa. Souza (1990) ainda observou que, entre os materiais analisados, a cobertura de barro é a que proporciona melhor desempenho térmico para o local de análise.

O estudo de Moura et al (1991) faz parte de mais uma etapa de observações sobre o comportamento de diferentes materiais de cobertura nos índices de conforto térmico de habitações. Em relação ao estudo desenvolvido por Silva, Ghelfi e Consiglieri (1990), foi adicionado o protótipo de telha térmica. Esta telha apresenta perfil trapezoidal, composta por duas chapas de alumínio com 0,5 mm de espessura e poliuretano expandido entre elas, obtendo como espessura final 30 mm. A inclinação usada na cobertura de perfil trapezoidal foi de 10%, nas coberturas de fibrocimento de 26% e na telha de barro de 36%.

Segundo Moura et al (1991), tanto nas análises do ITGU (índice de temperatura de globo e umidade), quanto de CTR (carga térmica de radiação), as telhas térmicas apresentam maior eficiência, quando comparadas às telhas de fibrocimento simples. Porém, são menos efetivas que as de fibrocimento dupla e principalmente em relação as telhas de barro.

Para Moura et al (1991), a cobertura composta por telhas de barro propiciou as melhores condições de conforto, quando comparada as demais coberturas, utilizadas neste estudo.

Com o objetivo de apontar os principais elementos que distinguem o desempenho térmico apresentado por diversas alternativas de projeto e de materiais empregados em coberturas em São Paulo, Akutsu, Vittorino (1993) fizeram análises a partir de resultados de simulação de computador, utilizando o programa NBSLD, em condições dinâmicas de exposição ao clima.

Para eles, os dados climáticos utilizados representam “dias típicos” de verão e inverno. Consideraram 26 (vinte e seis) soluções de cobertura, cujos desempenhos foram associados a três tipos de paredes, para 4 (quatro) orientações de janela. As alternativas de cobertura são resultantes da combinação de dois tipos de telhado, com 3 (três) tipos de forro em duas posições (horizontal ou acompanhando a inclinação do telhado) e a influência da colocação de material isolante sobre o forro. Por sua vez, os telhados são constituídos por telhas cerâmicas, com 1,5 cm de espessura e por telhas onduladas de fibrocimento, com 8mm de espessura. Como parâmetro de comparação entre as alternativas de projeto, foi adotado o comportamento da temperatura do ar interior.

Os procedimentos para avaliação do desempenho térmico das edificações utilizadas neste estudo são os mesmos desenvolvidos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cuja comunicação foi apresentada por Akutsu e Vittorino (1993). A avaliação das condições de conforto térmico foi feita de acordo com a norma ISO 7730 (Ambiente térmico moderado – determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições de conforto térmico/ Organização Internacional para padronização, Genebra, 1984), cuja análise dos resultados referentes à condição de verão, observaram que o efeito da alternativa de cobertura sobre o desempenho térmico da edificação varia segundo a condição de isolamento. Para aquelas sem isolante, o melhor desempenho térmico foi alcançado pelas telhas cerâmicas.

Os autores ainda observaram que os desempenhos térmicos equivalentes, podem ser conseguidos, combinando a inércia térmica das paredes com as alternativas de cobertura. Nas análises finais, argumentam que os resultados do estudo não são absolutos para todo o país, devido às diferenças climáticas que existem ao longo do território nacional.

Desde a Antigüidade, é empregado o resfriamento do ar na cobertura, através da aplicação de técnicas passivas, em localidades de clima quente e seco (Teixeira, 2006).

No Brasil, pesquisas realizadas com este tipo de técnica, ainda são tímidas, principalmente se for considerado a extensa área de terra do País, localizada entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio. Encontram-se algumas referências que trazem

recomendações de projeto para algumas localidades como, por exemplo, Recife - PE (Cavalcanti, 2001) e São Carlos – SP (Roriz e Roriz, 2005).

Várias pesquisas internacionais analisam o desempenho de técnicas passivas de resfriamento, a maioria delas é aplicada em clima temperado. Há bons exemplos de estudos sobre o isolamento térmico da cobertura, através das técnicas de resfriamento do ar, utilizando modelos experimentais.

Tiwari et al (1992) realizaram um experimento em Phoenix – Arizona, USA, para determinar quanto a aspersão em superfícies horizontais e inclinadas poderia resfriá-las sob condições de intensa insolação, alta temperatura atmosférica e baixa umidade relativa. Concluiu que a aplicação da aspersão em coberturas mostrou-se eficaz em construções de baixa inércia térmica, com nenhum ou quase nenhum isolamento da cobertura.

Na Índia, Nahar et al (1999) monitoraram cinco estruturas idênticas com técnicas diferentes: com pintura branca no telhado isolante térmico, colchão ou bolsa d'água na cobertura. De acordo com os autores, foram positivos os resultados obtidos com a queda das temperaturas da cobertura e do ar interno. nas estruturas. Considerando a facilidade de manutenção e a escassez da disponibilidade de água, o tanque com isolante móvel acima da cobertura demonstrou ser a técnica de resfriamento das estrutura, que melhor funcionou neste estudo.

Na pesquisa de Kant e Mullick (2003) foram coletados valores horários de temperaturas diurnas e umidade do ambiente da cobertura exposta à radiação solar no verão em Nova Deli (de abril a junho) e comparados com os valores das temperaturas do ar externo. Para os meses de abril e maio, o resfriamento conseguiu atingir temperaturas internas confortáveis. Porém, em junho, as condições do ar interno não atenderam a zona de conforto, todavia implicando em uma atenuação considerável do desconforto.

Givoni (1998), em seu estudo no Japão, testou a “shower tower” para resfriar ambientes internos em edifícios. Esta técnica consiste em uma torre com um tipo de chuveiro na extremidade superior. O fluxo de água, devido à altura, proporciona umidade ao ar e seu

resfriamento, respeitando-se alguns parâmetros mínimos de altura. Estas dimensões foram estudadas por Badran (2003).

Givoni (1997 e 1998) testou esta técnica em três tipos de clima: temperado (Los Angeles, USA), quente e seco (Riyadh, Arábia Saudita) e quente e úmido (Yokohama, Japão). Concluiu que este sistema pode resfriar a água através do fluxo de ar resfriado do interior do edifício. Seu desempenho vai depender da altura, o tipo das aberturas de saída de água, vazão d'água e condições ambientais, funcionando tanto em climas quentes e úmidos, como em climas quentes secos.

Castro (2006) em seu trabalho estudou o comportamento de superfícies transparentes em fachadas, através de medições em células-teste. Analisou *in loco* o comportamento térmico de vidros, comercialmente disponíveis no mercado, cuja caracterização através de técnica espectrofotométrica já é conhecida. Os 14 tipos de vidros selecionados foram: cinco planos, quatro refletivos pirolíticos, três refletivos metalizados a vácuo e dois laminados, os quais foram instalados nas células-teste. Foi analisado o desempenho térmico de cada um deles, tendo o vidro incolor, de espessura 4 mm, como referência.. O método consistiu na aquisição de dados mensuráveis de parâmetros ambientais, através de ensaios de campo e do cálculo do fator de ganho solar. Os resultados mostraram o alto ganho de calor solar através dos vidros planos. Os vidros refletivos metalizados a vácuo apresentaram o melhor desempenho térmico, dentre todos os materiais analisados, contribuindo assim, para a atenuação do ganho de calor solar e para projetar edificações com menor consumo energético para refrigeração.

Sardeiro (2007) estudou os vidros translúcidos e policarbonatos alveolares comumente utilizados na construção civil no país. Foi realizada medições da temperatura, da umidade do ar, temperatura de globo, temperaturas superficiais das superfícies translúcidas e das paredes e velocidade do ar.

Este estudo complementa também uma série de estudos desenvolvidos por Assis (2002), referentes às características óticas dos materiais transparentes disponíveis no mercado.

Os resultados encontrados servem para formular recomendações na especificação e indicação de superfícies translúcidas para arquitetos e projetistas, levando em consideração o conforto ambiental.

Gutierrez (2004) avaliou o desempenho térmico do brise-soleil, em relação à radiação solar incidente em ambientes com aberturas protegidas. Os dispositivos testados foram selecionados considerando as tipologias e materiais utilizados em edificações da arquitetura moderna brasileira entre os anos 1930 e 1960. A metodologia utilizada é baseada em pesquisas de desempenho térmico de elementos e componentes construtivos realizadas em células - teste. Através de um sistema de aquisição de dados foram verificadas: variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, pluviosidade, direção e velocidade dos ventos), e variáveis medidas nas células - teste (temperaturas do ar e superficiais). Foram testados brise-soleil horizontal e vertical em madeira e concreto, e elemento vazado (concreto), fixos,

expostos nas fachadas norte ou oeste, durante uma semana em cada orientação, nos períodos próximos aos equinócios e solstícios de verão e inverno. Nos ensaios realizados, os resultados mostraram a redução pontual de até 4,14°C na temperatura interna, sendo o melhor desempenho térmico o da tipologia combinada.

Miana (2005) avaliou comparativamente, as temperaturas internas e superficiais em seis células-teste. Quatro delas foram protegidas com brises transparentes horizontais e verticais combinados, constituídos por vidros, outra protegida com brise-soleil metálico horizontal e uma sem dispositivo de proteção solar, sendo esta considerada de referência. Foram selecionados quatro tipos de vidro com diferentes características ópticas: vidro “float” comum incolor, vidro impresso mini-boreal, vidro “float” comum azul e vidro refletivo metalizado a vácuo prata médio.

Foi concluído que os brises de vidro refletivo prata, “float” azul e impresso possuem o desempenho térmico similar entre si e ao brise metálico estudado. O brise de vidro “float” incolor não apresentou um resultado de desempenho térmico satisfatório.

Peralta (2006) realizou diversas análises de desempenho térmico (em períodos de calor), para quatro tipos de telhas e suas variações, mediante posterior alteração da refletância de duas das telhas monitoradas. Posteriormente, fez as análises espectrofotométricas para as amostras das telhas monitoradas para comparação com os resultados de monitoramento de temperatura.

Através dos resultados foi possível verificar influência da alteração da refletância no desempenho térmico das telhas e mostrar a importância de uma normalização de desempenho térmico relacionada às propriedades e características térmicas dos materiais.

Teixeira (2006) estudou o desempenho térmico de coberturas de fibrocimento em células-teste na cidade de Campinas, SP, com aplicação de técnicas passivas de resfriamento. Foram utilizadas quatro células-teste: uma de referência, e as outras três com sistema evaporativo, radiante e reflexivo. O sistema evaporativo foi testado com diferentes períodos de aspersão e intervalos sem aspersão. Monitorou-se as temperaturas de superfícies internas das telhas e as temperaturas do ar dos áticos no período de 21 de janeiro a 9 de fevereiro de 2006. A técnica passiva que melhor resultado apresentou, com um gradiente de 6,3°C na temperatura da superfície interna da telha e 2,2°C na temperatura do ar dos áticos, foi a de resfriamento evaporativo no período de 21 a 25 de janeiro, com aspersão de 30 min e intervalo de 30 min.

Os resultados deste estudo demonstraram que a utilização do sistema evaporativo em condições climáticas de umidade relativa do ar elevada é viável, contribuindo, portanto, para atenuar as hostilidades climáticas nas edificações.

2.2. Paredes e Vãos

Com objetivo de analisar a influência da orientação, do tipo de proteção solar e das dimensões de janelas, nos ganhos e perdas de calor de um compartimento da edificação, em função da absorvância a radiação solar da parte opaca da fachada, do coeficiente de sombreamento e, do fator de armazenamento de energia térmica do ambiente para as condições climáticas de São Paulo, Ogura, Akutsu e Lopes (1989) desenvolveram um programa

computacional, para a verificação da influência de três fatores na quantidade de energia térmica trocada através da janela: coeficiente de sombreamento (CS), absorvância a radiação solar (α) da superfície opaca e fator de armazenamento de energia térmica (FA) de um ambiente.

A análise consistiu de um módulo onde apenas uma das faces trabalha como fachada da edificação, através da qual se processam as trocas de calor entre o ambiente interno e seu exterior. As demais superfícies que compõem o ambiente foram consideradas adiabáticas. As dimensões adotadas para o módulo foram 2,70 metros de pé direito, 4,00 metros de largura e 3,00 metros de profundidade.

Para os autores, os valores do fator de armazenamento de energia térmica do ambiente (FA), utilizados nos cálculos foram 0,1; 0,5 e 1,0; correspondentes a ambientes com capacidade de armazenamento de energia térmica baixa, média e alta, respectivamente.

Para a face exposta, consideram as seguintes características:

- a) Parte opaca – coeficiente global de transmissão de calor = $3,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
valores de absorvância à radiação solar = 0,5 e 0,9;
- b) Parte transparente – coeficiente global de transmissão de calor = $6,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
valores de absorvância solar = 0,1 e 0,4.

Para a aplicação do programa foram utilizados os dados climáticos da cidade de São Paulo, através de valores médios mensais de temperatura do ar exterior e de densidade de irradiação global, em superfícies horizontais. Para as superfícies verticais utilizou-se os dados de superfícies horizontais através do procedimento de cálculo proposto por Kusuda e Ishii (1977). A partir da análise dos dados obtidos foi observado que a orientação oeste era a mais crítica no verão, uma vez que a incidência de radiação solar direta ocorre quando a temperatura do ar encontra-se mais alta. A influência do sombreamento para as janelas com esta orientação, varia muito com o tamanho da janela.

Os autores ainda afirmam que, embora a metodologia tenha permitido verificar a influência dos fatores já mencionados, a determinação do tamanho ótimo da janela, assim como a

melhor posição na parede, só pode ser realizada através de uma metodologia de cálculo que considere os fenômenos de transmissão de calor nos componentes da edificação em regime variável.

Akutsu e Vittorino (1991) estudaram os efeitos das diversas variáveis de projeto no comportamento térmico da edificação. Verificaram que o sombreamento das janelas é uma medida eficiente para reduzir a quantidade de calor que entra no ambiente. Recomendam que o sombreamento pode ser feito através de proteções solares fixas ou móveis, internas e externas ou ainda, com o auxílio da vegetação.

Melo (1990) analisou o efeito de sistemas de paredes de duas unidades habitacionais, construídas nas mesmas condições de orientação, implantação, materiais empregados nas coberturas e pisos, com exceção das paredes, na cidade de Piracicaba/SP. Uma das unidades verificadas apresenta paredes de tijolos furados com 0,15m de espessura, rebocadas e pintadas com hidrator. A outra unidade possui paredes de concreto celular com 0,08m de espessura, compostas de cimento, areia e espuma de neopor, não rebocadas e pintadas com hidrator.

O período de medidas foi de 22/11/1990 a 29/11/1990, com intervalos de tomada de dados diferentes conforme as grandezas. Por exemplo, com exceção das temperaturas e umidades relativas do ar exterior, que eram tomadas de hora em hora, as demais grandezas – temperatura e umidade relativa do ar interior, temperaturas superficiais externas e internas, velocidade do ar interno e temperatura de globo interna foram tomadas às 5.00, 9.00, 12.00 e 16.00 horas. Os equipamentos utilizados foram termohigrógrafo e psicrômetro (temperaturas e umidades), termômetro digital de superfície (temperaturas superficiais), anemômetro de ventoinha (velocidade do ar) e termômetro de globo. Os dados coletados foram analisados através do método T - Student.

O autor observou que nos horários de maiores ganhos térmicos, a unidade com paredes em concreto celular apresenta condições higrotérmicas mais desfavoráveis que a unidade em sistema de tijolos furados. Justificou que este comportamento deve-se aos diferentes fatores de inércia térmica apresentados pelo sistema de parede, além do ganho de calor pela cobertura

(superfície horizontal), fator significativo em locais de clima quente. Quanto à análise entre as temperaturas superficiais externas e internas, foi verificado que o tijolo furado apresenta variações significativas em relação ao de concreto, principalmente nos horários de ganho solar, uma vez que ele se aquece de forma mais lenta do que o concreto.

2.3. Efeito das propriedades termofísicas dos materiais de construção

A partir de vários tipos de estudos realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT/SP e em outras instituições, Akutsu e Sato (1988) descrevem uma breve indicação de como as características de materiais e componentes influenciam no comportamento térmico de uma edificação. Pesquisaram a variação da condutividade térmica (λ) com a massa específica aparente (ρ), com a porosidade dos materiais e com o teor de umidade contido nos mesmos e observaram aspectos referentes ao calor específico e resistência térmica. Sobre absorvância, refletância e transmitância à radiação solar e emissividade, afirmam a importância do desenvolvimento de pesquisas, no sentido de aprofundar o conhecimento de tais propriedades, levando em conta as condições de exposição e uso.

Devido ao pequeno número de trabalhos quantitativos sobre absorvância da radiação solar (α) e emitância térmica para alguns materiais de construção, para uma dada faixa de comprimento de onda, Sharma e Sharma (1989) caracterizaram determinados elementos da edificação quanto a estas propriedades. A absorvância (α) dos materiais foi medida usando um alphanometer, respondendo a comprimento de onda de 0,3 – 0,2 μm . A emitância térmica foi medida usando um emissoter, o qual responde a um comprimento de onda de 3,0 - 30 μm . Estes índices apresentam um erro limite de 0,01 – 0,03; devido aos instrumentos utilizados. Os valores encontrados variam de 0,19 a 0,93 \pm 0,02; dependendo da proximidade com meio natural, cor e textura dos materiais.

Outro estudo quantitativo, cuja meta é investigar e determinar as diferenças de comportamento térmico, quando utilizados diversos tipos de materiais isolantes, com suas características térmicas e físicas, foi desenvolvido por Sato (1988). Este trabalho foi feito através de simulação computacional, utilizando o método de fatores de resposta térmica, em regime

transiente. O autor observou a influência das propriedades termofísicas dos materiais, para a obtenção de maior ou menor isolamento térmico na edificação. Tratou da importância da capacidade térmica da envoltória da edificação, para as condições de clima quente e seco.

2.4. Análise das contribuições mais pertinentes com o objeto de estudo

A pesquisa desenvolvida por Valentim (1989) demonstra preocupação em alcançar, através de soluções em projeto, boas condições de habitabilidade para unidades habitacionais, cujas coberturas são constituídas por telhas de fibrocimento. O ponto chave é, portanto, a adequação das telhas de fibrocimento, tendo como referência as telhas de barro, sendo as de barro tradicionalmente utilizadas em construções no Brasil.

Ele analisou uma residência, a qual o motivou para o estudo térmico de suas coberturas. O parâmetro de resposta é a temperatura do ar.

O autor alcançou o objetivo, que era o estudo de utilização das telhas de fibrocimento com a mesma inclinação da telha de barro (33%), o qual pode-se concluir que os requisitos de projeto minimizam aspectos desfavoráveis de determinados materiais de construção, em projetos habitacionais. Ou seja, apesar das propriedades térmicas dos materiais de construção serem desfavoráveis, a condição de conforto poderá ser alcançada ao serem aplicados os princípios de projeto, que poderão otimizar a utilização dos componentes arquitetônicos propostos.

Valentim (1989) verifica o quanto às soluções de projeto levam a aceitáveis condições de conforto térmico, tendo como parâmetro resposta a temperatura efetiva. Akutsu e Sato (1988), ao contrário, consideram as características dos materiais e componentes como parâmetro resposta. Aqui observa-se os diferentes métodos utilizados para avaliação do desempenho térmico de edificações.

A análise de Akutsu e Sato (1988), entre as propriedades dos materiais e componentes e condições climáticas locais, reforça a influência das condições de tempo nos componentes empregados e, os efeitos térmicos no espaço edificado. Citou-se neste estudo, uma pequena

variação da temperatura diária do ar exterior, interferindo no comportamento térmico dos elementos de cobertura.

Em face aos estudos analisados, outro aspecto a ser abordado, é a interdisciplinaridade. Os profissionais que atuam nesta área são de diferentes especializações, assim como o enfoque dos estudos. Pode-se constatar, que estudos das áreas mais diversas do conhecimento, podem prestar grandes contribuições para esta linha de pesquisa. Os trabalhos desenvolvidos por Silva, Ghelfi Filho e Consiglieri (1990) e Moura et al (1991) no Congresso de Engenharia Agrícola, apesar dos parâmetros de análise serem específicos para construção rural, prevalece a intenção de proporcionar boas condições de habitabilidade ao ambiente construído, através de testes com diferentes materiais de cobertura.

São poucos e raros os estudos desta natureza em um país extenso e com grandes diferenças climáticas e microclimáticas, como o Brasil. Principalmente estudos que apresentem metodologia de comparação de uma dada edificação em diferentes regiões do país.

A maioria dos documentos utilizados direciona-se para o estudo térmico de edificações, através de modelos experimentais, onde os parâmetros comumente empregados nas análises são os índices referentes aos efeitos térmicos no organismo humano e as características dos materiais e componentes.

Sobre as propriedades térmicas dos materiais, várias instituições internacionais desenvolvem estudos neste sentido, como é o caso da ASHRAE (1992), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Alguns artigos técnicos no Brasil e Exterior apresentam os índices alcançados a partir de estudos específicos.

Sabe-se que alguns coeficientes térmicos variam em função de determinadas condições. A condutividade térmica é um exemplo. Além do que, as próprias propriedades físicas e de composição dos materiais empregados na edificação admitem as mais diversas combinações, o que leva a variadas formas de composição, utilização e exposição às fontes de calor que se interrelacionam com o ambiente construído. Estas assertivas reforçam a colocação de Akutsu e

Sato (1988), quanto à necessidade da criação de bons laboratórios que possam apresentar resultados adequados, ao ser considerado o componente estudado e condições climáticas as quais está exposto.

2.5. Considerações sobre o capítulo

O exposto respalda este estudo, que levanta aspectos referentes aos efeitos térmicos da espuma poliuretana de mamona, no panorama de pesquisas afins, nacionais e internacionais, com as seguintes contribuições:

- a. este elemento de proteção à radiação solar apresenta a particularidade de constituir a cobertura, constituída por telha + ático + forro (ou subcobertura), como um dos componentes construtivos mais importante da edificação, em relação ao ganho de calor, pois interfere no conforto térmico interno e até mesmo no consumo de energia;
- b. o trabalho experimental realizado, para verificação do comportamento das temperaturas dos componentes da edificação, analisa o fenômeno da energia térmica considerando as variáveis de orientação, ângulo da cobertura, geometria das células-teste e material de construção, permitindo assim, uma aplicação otimizada da espuma poliuretana, frente aos fenômenos térmicos ocorridos na área de estudo;
- c. a pesquisa experimental propicia a tomada de referências quantitativas para o projeto de arquitetura, especialmente por se tratar da proteção da cobertura, de grande significado para a arquitetura adaptada ao clima de Ilha Solteira, no Estado de São Paulo.

CAPÍTULO 3 – Noções gerais sobre polímeros e biopolímeros.

3. INTRODUÇÃO

A espuma poliuretana de mamona é produzida à base de biomassa, ou seja, é um recurso vegetal renovável.

Trata-se de um polímero caracterizado principalmente pela ligação química uretana, que lhe dá rigidez e flexibilidade. A ligação uretana é a principal responsável pelas propriedades físicas da espuma, como textura, densidade, resistência à compressão e resiliência. Estas características assemelham-se às do isopor (poliestireno expandido).

Para apresentar algumas noções sobre polímeros e biopolímeros desenvolveu-se, neste capítulo, as características da espuma poliuretana de mamona, identificando sua aplicação como isolante térmico, sua utilização no campo da construção, como também sua vantagem de não degradação do meio ambiente, por se tratar de um recurso vegetal renovável.

3.1. Noções gerais sobre polímeros

Cabe esclarecer que a resina utilizada neste estudo, faz parte de um grupo de substâncias conhecidas por polímeros, ou especificamente, de uma categoria conhecida por biopolímeros. De

uma forma sucinta, os biopolímeros podem ser entendidos como todos os polímeros de origem vegetal. Além da poliuretana utilizada nesta pesquisa, as resinas furânicas são outro exemplo de biopolímeros. As resinas furânicas são exemplos de polímeros extraídos do milho, utilizados nos países da antiga União Soviética. No Brasil chegou a ser empregado como uma espécie de verniz para assoalhos nas décadas de 60 e 70 até ser pouco a pouco substituído pelo poliuretano.

A obtenção dos primeiros polímeros iniciou-se nos EUA por volta de 1870. Os irmãos John e Wesley Hyatt conseguiram uma patente no ano de 1869 pelo processo de se combinar nitrato de celulose à cânfora, obtendo uma massa plástica que permitiu a moldagem de objetos SANTOS (1996).

Esta característica de possuírem grande potencial de trabalho e capacidade de moldagem fez com que as resinas poliméricas e os polímeros em geral ficassem sendo conhecidos vulgarmente como plásticos.

Os polímeros são substâncias de elevada massa molecular, em sua maioria formando moléculas orgânicas, constituídas pela repetição contínua e ordenada de unidades de poucos átomos, chamados de **meros**, (do grego – simples). Polímeros são, segundo MANO (1988), substâncias constituídas de moléculas relativamente grandes, de massas moleculares da ordem de 10^3 a 10^6 u.m.a. (unidade de massa atômica), em cuja estrutura se encontram repetidas estas unidades químicas bastante simples. Ainda do grego tem-se que polímeros significa a soma de muitos meros.

Podem ser classificados de vários modos e, um deles é a classificação pelas características mecânicas. Assim, podem ser termoplásticos, termorrígidos ou elastômeros. Os termoplásticos podem ser moldados com facilidade ao serem aquecidos, o que facilita sua reciclagem e beneficia o meio ambiente, enquanto que os termorrígidos não podem ser fundidos e remodelados após sua fabricação, dificultando sua reciclagem. Os elastômeros são obtidos através de um processo de emaranhamento de cadeias lineares à baixa tensão. Ao fazer desaparecer a tensão, retornam a sua forma primitiva e podem ser esticados até a um certo

comprimento sem se romperem. Os elastômeros têm uma reciclagem complicada devido à sua capacidade de fusão.

Outra maneira de classifica-los é de acordo com a reação que lhes deu origem: polímeros de adição e de condensação. Esta reação é denominada polimerização, na qual o monômero é aquecido na presença de um catalisador adequado. O polímero de adição é formado por uma reação de monômeros que possuem uma ou várias duplas ligações, na qual o polímero é o único produto. Quando, na reação de adição, se utilizam moléculas de um só monômero, forma-se um homopolímero; mais de um monômero, forma-se um copolímero. Já o polímero de condensação é formado por uma reação de monômeros que possuem mais de um grupo funcional. Nesta reação ocorre a eliminação de pequenas moléculas como a água ou algum ácido.

As vantagens de sua utilização no lugar de diversos materiais são o baixo custo de produção, a durabilidade, a leveza, a resistência ao impacto e à abrasão, a baixa temperatura de processamento, as baixas condutividades elétrica e térmica, maior resistência a corrosão, a porosidade e facilidade de ser moldado.

Não é objetivo principal desta pesquisa, discorrer sobre as inúmeras formas que os polímeros contribuem para a construção civil, entretanto, ROCHA (1990), discorre de forma bastante abrangente este assunto.

3.2. Materiais provenientes de recursos renováveis.

Atualmente, um dos pontos de maior relevância é a problemática de emprego de um material qualquer, sob o ponto de vista ambiental, considerando sua produção, ou sua utilização. Trata-se não somente de um conceito atual, o da Arquitetura Sustentável, que está ao centro de um amplo conceito, com a finalidade de produzir algo menos impactante, para o meio ambiente.

O termo Arquitetura Sustentável envolve não apenas as relações da Arquitetura Bio-Climática ou Arquitetura Solar (que se orienta pelo aproveitamento da energia solar de forma racional), está mais ligado à conservação de energia e adequabilidade climática.

Associados ao conceito de sustentabilidade, estão compreendidas as condições para o uso racional da água, o controle climático, a produção de alimentos, o controle e a purificação do ar, o tratamento e a recuperação de resíduos e o aumento da eficiência da energia global utilizada.

Segundo VECCHIA (1999), em termos de construção, esta nova visão reforça a utilização de materiais locais, os recursos consumidos devem ser renováveis e estarem envolvidos também a aplicação de materiais passíveis de serem reciclados ou preferencialmente, materiais biodegradáveis.

Assim, devem estar envolvidos o gasto energético e ambiental para a produção de materiais e componentes. Caso ocorra um dispêndio energético, em termos de Brasil, provavelmente, esta energia foi produzida a partir de uma usina hidrelétrica que ao ser implantada, ocupou terras de boa produtividade agrícola ou matas ciliares e que por sua extensão, acarretou alterações ambientais.

Caso a energia utilizada, não seja a eletricidade e sim outros meios como os combustíveis fósseis, este processo resulta na transformação de fontes poluentes que, se não forem controlados, podem agredir o meio ambiente.

Devido à dimensão da problemática ambiental, a pesquisa de novos materiais e componentes, pode ser vantajosa em uma esfera global, se nas soluções para os problemas, também forem enfocadas as discussões sócio-econômicas, que a utilização de materiais planejados fornece. Um material de consumo em construção que incentive fortemente sua produção no campo, contribuindo para não elevar a taxa de migração aos centros urbanos, daria apoio a uma economia sustentável, reduziria o gasto energético envolvido no processo de produção e, poderia contribuir na redução das desigualdades presentes no País.

No caso particular das resinas poliuretanas de óleo de mamona, estas apresentam boas soluções com os problemas ambientais referentes ao consumo energético, reincorporação não nociva ao meio ambiente e com a obtenção das matérias primas renováveis, além da preocupação com os problemas sócio-econômicos.

3.3. A mamona como biopolímero

O uso do termo biopolímero justifica-se pelo fato da resina poliuretana de óleo de mamona, ser proveniente de produção agrícola renovável e não de um recurso mineral como o caso dos polímeros derivados do petróleo (MANO, 1985).

Como base para este estudo, fez-se o levantamento de várias propriedades da resina poliuretana derivada do óleo de mamona (resina PU), observando-se os aspectos favoráveis à sua utilização na construção, em razão das seguintes características,(ARAÚJO, 1992):

- alto desempenho como isolante térmico e acústico;
- boas propriedades aglomerantes, adesivas e de recobrimento na forma de membranas de cobertura, de acordo com FLAUZINO (1983) e PICCI (1986);
- alta durabilidade sob exposição a agentes agressivos – ácidos e álcalis – e sob ação de calor e raios ultravioletas (SILVA, 1996) e (FERREIRA & ALMEIDA,1999);
- baixíssima absorção de água (nas resinas de alta densidade), podendo ser empregada como impermeabilizante;
- facilidade de moldagem.

O emprego das resinas PU na construção, pode ser demonstrado pelos seguintes exemplos, (FERREIRA & ALMEIDA, 1999):

- *Adequação às exigências ambientais.* Trata-se de um produto proveniente de recursos naturais renováveis e não tóxico, tanto nas fases de manipulação e aplicação,

quanto em sua utilização, associada ou não, a outros elementos construtivos. Sob o aspecto de proteção ao meio ambiente, pode-se procurar alternativas que privilegiem o emprego de materiais originários de rejeitos ou de resíduos industriais em associação com a resina PU;

- *Redução no gasto energético* para o condicionamento térmico de edifícios. A resina PU, pode ser introduzida ou associada com diversos componentes e elementos utilizados em fechamento de edifícios. Podendo-se exemplificar com elementos para cobertura, painéis de paredes tipo sandwich, preenchimento de blocos convencionais de alvenaria, projeção de espuma PU em superfície de elementos;

- *Como aglomerante*. A resina PU possibilita a confecção e moldagem de elementos pré-fabricados com boa resistência a agentes químicos e satisfatória resistência mecânica: produção de elementos leves visando à utilização em painéis de vedação e painéis para tratamento térmico e acústico;

- *Constituição de elementos pré-moldados*. Facilidade de moldagem possibilita que se façam artefatos pré-moldados para fins diversos, como painéis e paredes hidráulicas, células hidro-sanitárias pré-moldadas, pisos especiais, tubulações, etc., principalmente quando estes elementos possam vir a ser empregados sob condições de ambientes agressivos;

- *Como impermeabilizante para recintos fechados*. Por não apresentar riscos a segurança de quem a manuseia, restrição presente na maioria das resinas comerciais e, por ter propriedades impermeabilizantes, esta resina PU é indicada para ser empregada nas impermeabilizações em ambientes fechados, como caixas d'água e reservatórios. Poderão ser utilizados logo após a aplicação e cura do polímero, sem o desprendimento de substâncias tóxicas na água a ser consumida.

3.4. Mamona (*Ricinus Communis L.*)

A mamona (*Ricinus Communis L.*), também conhecida por tártago ou higereta em países sul-americanos, é um arbusto que pertence à família das Euforbiáceas (v. figura 3.1). Seu óleo nos Estados Unidos, é conhecido como Castor Oil.

É comum em qualquer tipo de solo do País, embora sua origem seja a América do Sul – bagas de 400 anos de idade foram encontradas em sarcófagos, nas pirâmides egípcias. Foi introduzida no Brasil, no século XVI, para uso do óleo para iluminação e engraxe dos eixos das carroças em substituição ao óleo de baleia. E pouco a pouco foi se tornando um vegetal bem comum (MARCHESONI, 2000).

Um vegetal que se adapta bem ao clima tropical e subtropical e no Brasil, encontra excelentes condições de cultivo. Seu óleo essencial é extraído por esmagamento das sementes secas. É um triglicéride natural com aplicações industriais. É um óleo não alimentar, utilizado como laxante, o conhecido óleo de rícino.

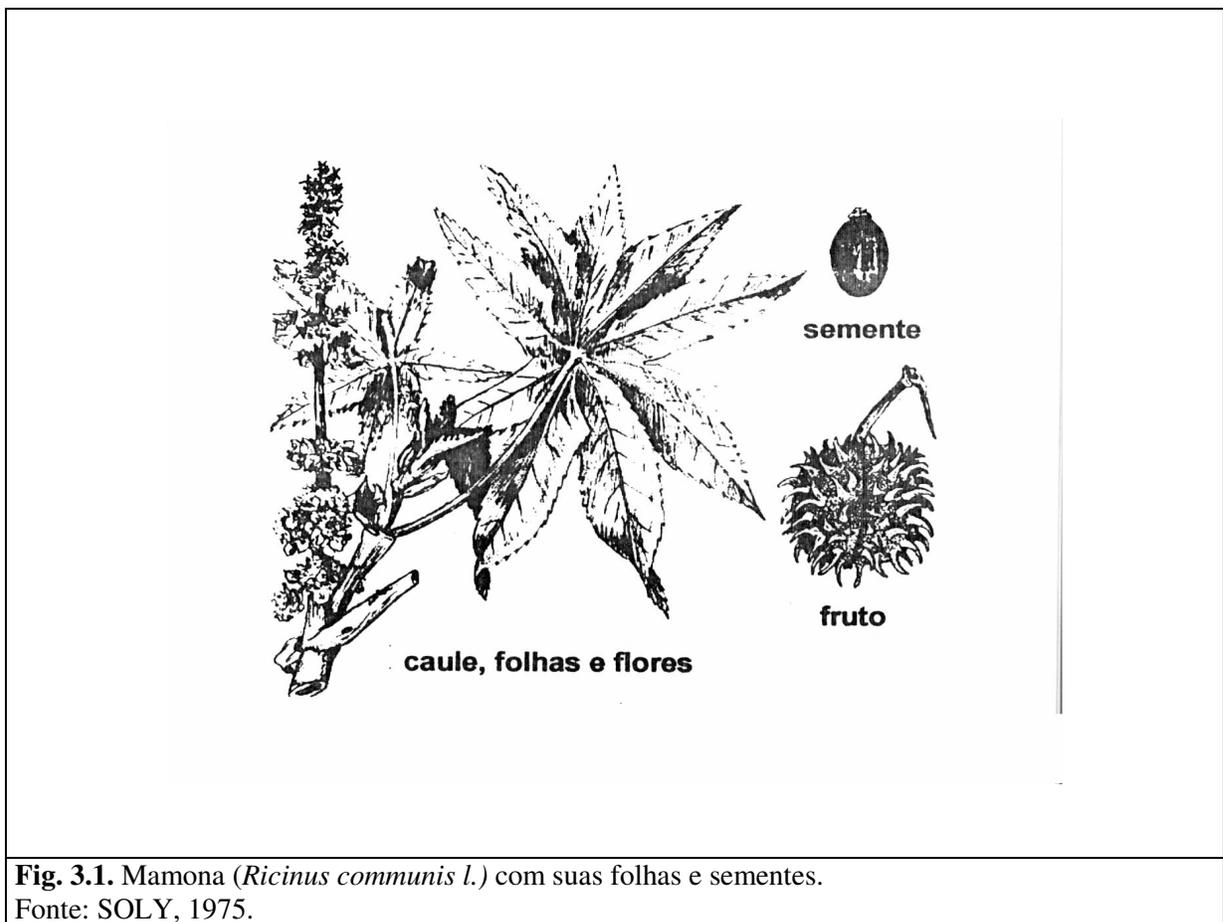
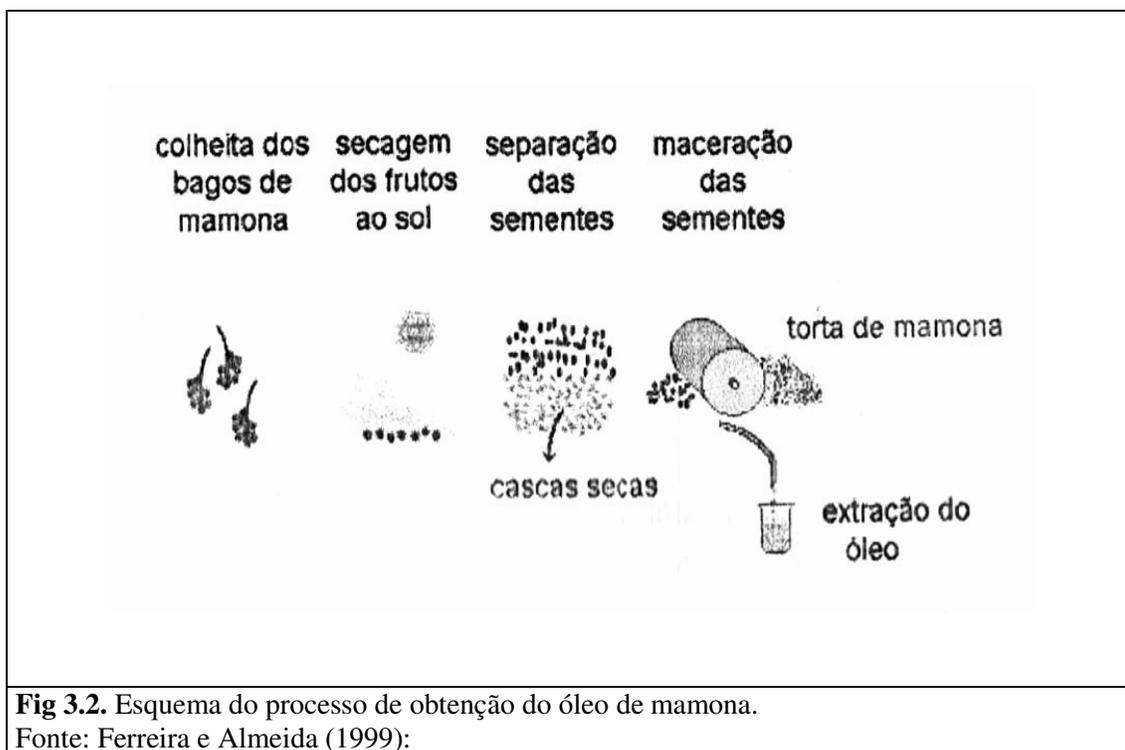


Fig. 3.1. Mamona (*Ricinus communis L.*) com suas folhas e sementes.
Fonte: SOLY, 1975.

Trata-se de uma planta rústica, adaptável a diferentes tipos de solo, aceita os mais variados regimes climáticos, incluindo os de baixa temperatura e de baixa pluviosidade e pode ser cultivado em associação com outras espécies de plantas, como abóbora, melancia, feijão e outras.

A mamona é forte geradora de emprego nas fases de plantio e coleta das sementes. Para obtenção do seu óleo, como observado na figura 3.2, as usinas compram do agricultor as sementes secas e sem casca. A secagem dos bagos com os frutos é feita em terreiros, expostos ao sol, em um processo semelhante ao da secagem do café.



Os frutos vão perdendo água até que a casca externa se rompe, expondo as sementes. Estas são separadas das cascas, que será utilizada como combustível ou adubo.

Nas usinas as sementes são maceradas através de três processos possíveis: por prensagem a frio, prensagem a quente ou utilizando solventes. Destes o que produz o óleo de melhor qualidade é o de prensagem a frio, do qual se obtém, um rendimento entre 40% e 50% de óleo puro, geralmente, utilizado para fins medicinais. Os demais processos possuem rendimentos maiores do que o a frio, porém o óleo é de qualidade inferior. Como subproduto deste processo, o bagaço das sementes pode ser usado como adubo, ração animal ou como combustível vegetal para as caldeiras das próprias usinas.

Para ter maior lucro com o produto, este processo que vai desde o plantio até a obtenção das sementes secas, pode ser feito pela mesma unidade agrícola, que vende diretamente, ou por intermédio de cooperativas, a produção de sementes às usinas.

3.5. O óleo de mamona e derivados

As aplicações comerciais do óleo de mamona abrangem os mais variados ramos da indústria. Citam-se aqui, algumas áreas em que é empregado.

Desde o século XIX, este óleo vem sendo usado para iluminação em substituição ao óleo de baleia e também como matéria prima para a indústria farmacêutica, com o óleo de rícino.

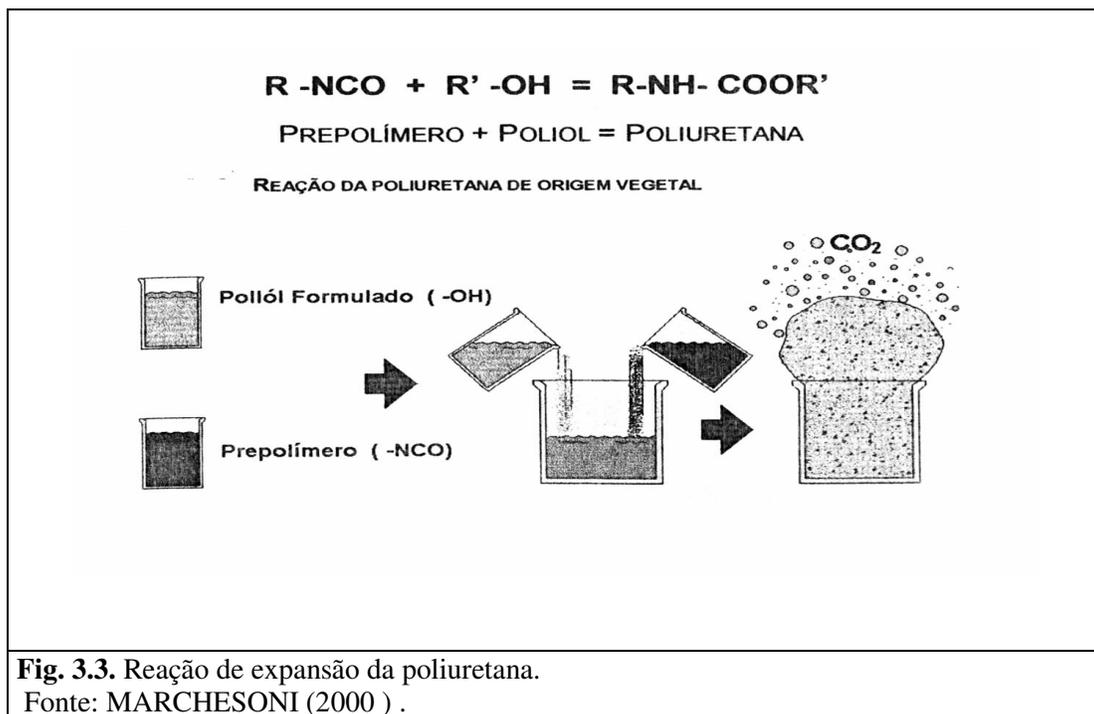
Na indústria de cosméticos, serve como base para batons, cremes, e pomadas de vários tipos. As indústrias químicas o utilizam para obter combustível, aditivos e lubrificantes. Estes últimos considerados como produto militar estratégico pelos Estados Unidos, pois este óleo possui a característica de manter suas propriedades lubrificantes em temperaturas em torno de -30°C, muito menor que a temperatura de trabalho de outros lubrificantes. Desde a década de 30 é utilizado pela aviação comercial e militar. Hoje empregado em jatos e ônibus espaciais.

O óleo de mamona após o processamento e síntese, na forma de um polioliol, em associação com um prepolímero, dá origem a uma poliuretana, compatível com as poliuretanas de origem petroquímica, mas com toxicidade quase nula e baixa inflamabilidade. Na forma de espuma, não requer agentes expansores externos para se expandir. De origem vegetal, renovável é degradável na natureza ao longo do tempo, se comparada as de origem mineral.

Ao ser comparada às poliuretanas de petróleo, em casos onde a segurança é fator preponderante, como em incêndios, sua aplicação é obrigatória. Como no caso dos aviões, quer como isolante termoacústico, quer como espuma flexível para uso no estofamento das poltronas é utilizado este polímero, devido a não liberar gases tóxicos quando queimado.

As resinas poliuretanas, tanto as de petróleo, como as de mamona, são sistemas bicomponentes, onde os dois elementos reagem entre si, polimerizando-se em períodos de tempo entre poucos segundos até 30 minutos ou mais.

Com as poliuretanas vegetais, os resíduos do processo de polimerização (do tipo reação por condensação), para a resina de espuma, são o gás carbônico (formador das células de espuma) e água (v. figura 3.3).



As poliuretanas são um exemplo de materiais de alta resistência mecânica e elevado grau de estiramento antes da ruptura (% de alongamento).

Em materiais não-rígidos, tais como borracha e geleadas, a ruptura ocorre com porcentagem de alongamento inferiores a 1%, mas para poliuretanas similares, este estiramento pode situar-se entre 50% e 150% antes da ruptura (ARAÚJO, 1992).

Estas propriedades básicas das poliuretanas, combinam grande resistência ao impacto e abrasão, além de boa resistência à maioria dos líquidos orgânicos na forma de óleos e fluidos, colocando as poliuretanas em destaque frente a outros polímeros.

As espumas poliuretanas à base de óleo de mamona formam grande família de polímeros, com as mais diversas aplicações e têm como principais características os pontos:

- propriedades reológicas favoráveis (viscosidade, fluidez e tixotropia);
tixotropia – diminuição da viscosidade dos líquidos quando estes são agitados.
- tensões superficiais, umedecimento (poder umectante) e penetração capilar altos;
- endurecimento e cura acelerados;
- econômica.

A utilização das espumas derivadas do óleo de mamona pode substituir as poliuretanas de petróleo em suas aplicações, como os revestimentos termo-acústicos. Em incêndio, os vapores e gases produzidos pela queima deste componente não são nocivos, portanto não comprometem a segurança dos usuários.

3.6. Poliuretanas de petróleo

Na indústria, a poliuretana é amplamente utilizada ao longo das últimas cinco décadas. Possui ótima receptividade no mercado e boa reputação quanto a sua natureza e quanto a sua qualidade como produto final. Contudo, estas espumas têm enfrentado pesadas críticas ao seu uso, devido utilizarem o CFC como agente expensor, composto químico nocivo à camada de ozônio da atmosfera.

As poliuretanas de petróleo são altamente tóxicas sob condições de incêndio. Além de inflamáveis, ao queimarem exalam gases tóxicos (cianeto), que podem ser letais, dependendo do tempo de exposição.

Comercialmente pode-se encontrar dois tipos de espumas poliuretanas: as flexíveis e as rígidas. Como exemplo tem-se a maioria dos estofamentos de espuma poliuretana (PU), possuem cor amarelada e, dependendo de sua densidade e do grau de interligação das células, podem ser mais ou menos flexíveis. A propriedade de rigidez da espuma está relacionada ao grau de entrecruzamento do polímero, assim tanto mais rígida a espuma, maior o grau de

entrecruzamento. Por problemas estruturais, as espumas flexíveis são pouco utilizadas em construção, onde a rígida tem maior aplicação.

Basicamente, pode-se classificar em dois tipos as poliuretanas: as de alta densidade (entre 900 e 1100 kg/m³ ou 0.9 e 1.1 g/cm³) e as de baixa densidade (entre 20 e 70 kg/m³ ou 0.02 e 0.07 g/cm³). As de alta densidade são as que não produzem espuma na sua polimerização e as de baixa densidade produzem, quer na forma de espuma rígida ou na forma de espuma flexível. Nestas últimas alternativas, pode-se obter espumas de células abertas (constituição semelhante a esponja) e células fechadas (forma de bolhas fechadas).

3.7. Poliuretanas vegetais

As poliuretanas vegetais, como as de mamona, divergem da poliuretana de petróleo. Além de sua matéria prima ser proveniente de recursos vegetais e renováveis, as poliuretanas de mamonas são resistentes aos agentes agressivos como: ácidos, álcalis e solventes. Não são inflamáveis e não emitem gases tóxicos, quando queimadas. Características como densidade e capacidade de isolamento térmico são compatíveis com as encontradas nas poliuretanas de petróleo.

3.8. Poliuretanas de alta densidade

Ao misturar seus dois componentes (poliol e prepolímero), as poliuretanas de alta densidade possuem a característica de não se expandirem. Formam polímeros de densidade entre 1.0 e 1.2 g/cm³.

Utiliza-se este tipo de resina como elastômero com capacidade de resistir a grandes deformações, da ordem de 150% das dimensões originais. São utilizadas também como vernizes e como aglomerantes de argamassas para reparos de elementos estruturais de concreto.

3.9. Poliuretanas de baixa densidade

Há dois tipos de poliuretanas de baixa densidade: as flexíveis, semelhantes às espumas utilizadas em estofamentos e colchões e podem ser mais ou menos elásticas. E as rígidas, com elasticidade bem menor que as flexíveis. São normalmente empregadas como absorventes acústicos e isolamento térmico.

Geralmente, as resinas flexíveis são pouco empregadas em construções. Pode-se utilizar em alguns casos, como absorventes acústicos, aparelhos de apoio e como mata-juntas. As espumas rígidas possuem maior quantidade de aplicações. São empregadas na confecção de absorventes acústicos, tanto na forma de componentes pré-moldados, como de “spray”, diretamente no substrato através de um aspersor mecânico.

De forma geral, em expansão livre, quanto maior for a quantidade de carga empregada, mais densa se tornará esta espuma, porém quantidades elevadas de carga, colaboram para o rompimento das células, gerando o escape do gás, o que faz com que a espuma não se expanda adequadamente.

Se a massa for colocada em um molde fechado (resina + carga), se obtém uma argamassa polimérica celular de massa específica aparente controlada, conformada ao molde empregado e possível de ser produzida em quantidade.

3.10. Fenômeno de transmissão de calor da espuma poliuretana de mamona

Marchesoni (2000) estudou o comportamento do fluxo de calor utilizando 3 (três) telhas de fibrocimento com a espuma poliuretana de mamona, da seguinte maneira:

- 1 – A primeira foi revestida internamente com uma camada de um centímetro de espuma poliuretana, sem adição de cargas;

- 2 – A segunda telha foi tratada superficialmente com uma camada externa de resina poliuretana de alta densidade, com 10% de dióxido de titânio como revestimento;
- 3 – a terceira, sem nenhum tipo de revestimento.

Em cada telha foram colocados três termopares, para medir as temperaturas da superfície interna e ligados a uma estação de aquisição de dados e a uma estação meteorológica, que monitorou as condições climáticas (temperatura, direção e velocidade do vento, radiação solar global, pressão atmosférica e umidade relativa do ar). As telhas foram dispostas lado a lado, sobre um suporte de madeira.

As telhas foram expostas ao mesmo tempo à radiação solar global. Os valores medidos pelos termopares foram tomados a cada 5 segundos e suas médias parciais foram armazenadas a cada 5 minutos.

As condições climáticas durante o ensaio apresentavam nebulosidade média, com nuvens esparsas. O tempo total de ensaio foi de 35 minutos, durante os quais a umidade relativa do ar ficou em 53% ($\pm 2\%$), a ventilação permaneceu a SW ($247^\circ (\pm 3^\circ)$) com velocidade de 0,3 m/s ($\pm 0,1$ m/s) e a pressão barométrica manteve-se constante em 926 mB.

De acordo com os dados obtidos, nota-se que o desempenho das poliuretanas, principalmente na forma de espuma, é excelente como isolamento térmico. Os valores relativos à temperatura superficial sob a telha ficaram próximos aos valores da temperatura do ar ambiente.

O tratamento das coberturas com resina de alta densidade contendo dióxido de titânio, também apresenta desempenho favorável, quanto ao isolamento térmico. Com a associação destes dois processos na cobertura, a resina de alta densidade com dióxido de titânio na face superior e espuma de poliuretana na face inferior da telha, pode-se obter valores mais favoráveis, quanto ao conforto térmico.

A adição de dióxido de titânio ou outra carga mineral qualquer às resinas utilizadas como isolamento térmico, é importante para a proteção da mesma contra a ação da radiação

ultravioleta. Como a maioria dos polímeros, a poliuretana vegetal é sensível à ação do ultravioleta, tornando-se quebradiça em sua superfície. Pode-se dizer que qualquer tipo de carga incorporada à resina ainda fresca a protege, elevando sua vida útil, principalmente em aplicações externas ou que venham a ser sujeitas a elevados níveis de iluminação natural, mesmo que refletida.

Por possuir uma coloração branca, o dióxido de titânio contribui para refletir os raios solares, o que acarreta menor carga térmica na cobertura.

Em outro experimento (MARCHESONI, 2000), uma laje pré-moldada foi revestida na face superior, com uma placa de espuma poliuretana de mamona. Após 60 dias, a placa apresentava-se frágil e com coloração mais escura que a inicial. Concluiu-se que estas espumas, caso não sejam protegidas à ação do ultravioleta, tendem a degradar-se ao longo do tempo.

CAPÍTULO 4 – Desempenho Térmico em Coberturas.

4.1. REQUISITOS PARA UM BOM DESEMPENHO TÉRMICO EM COBERTURAS, NA CIDADE DE ILHA SOLTEIRA – SP.

AKUTSU & VITORINO (1992) apresentam variáveis envolvidas no processo de avaliação do desempenho térmico de edificações. Apesar do estudo do desempenho térmico do ambiente construído tentar propiciar boas condições de conforto aos ocupantes, neste estudo buscou-se analisar os modelos de coberturas com a espuma poliuretana de mamona e seus materiais construtivos.

Na caracterização dos materiais empregados na cobertura das células-teste, o estudo de resposta térmica do conjunto cobertura/espuma poliuretana vegetal, envolve o conhecimento de calor específico, massa específica, condutividade térmica, absorvância à radiação solar, resistência térmica, emissividade e mais, forma, dimensão e orientação a que estão submetidos os modelos.

Considerando-se as células-teste com mesma geometria, dimensão, orientação, latitude e tomada de dados nos mesmos horários e época do ano, a resposta térmica seria definida pelo material construtivo e isolamento térmico da cobertura.

Para GIVONI (1998), a composição dos materiais na cobertura, é tão relevante quanto a

forma. A preocupação com a escolha dos materiais construtivos da cobertura está ligada aos efeitos térmicos que estes vão produzir no ambiente interno da edificação.

Sobre as características térmicas dos materiais empregados em climas quente e úmido no verão e inverno seco, ALUCCI (1987) recomenda que a cobertura não deve funcionar como fonte de calor, portanto, deve-se utilizar materiais de alta resistência térmica, baixa capacidade térmica e emissividade (CHVATAL, 1998).

4.1. Transferência de calor através das coberturas

A resposta térmica de uma cobertura, submetida aos processos de transferência de calor, comporta-se de acordo com os fatores climáticos, sua propriedade termofísica e também, a partir de sua reação com os demais da edificação.

As trocas térmicas entre a face superior da cobertura e seu espaço interno são processadas da seguinte forma: a radiação solar incide sobre a face externa da cobertura, e esta, de acordo com seu coeficiente de absorção, absorverá parte desta energia.

Quanto a energia absorvida, a superfície externa da cobertura, em contato com o ar exterior, dependendo do gradiente térmico entre as faces e a velocidade do ar, irá acelerar a troca de calor por convecção.

Caso a cobertura apresente sua superfície interna resfriada, será menor a possibilidade de transferência de calor por radiação da cobertura, para seu espaço interno.

A sua importância está, sobretudo em climas onde o calor e a umidade predominam a maior parte do ano (aproximadamente nove meses em Ilha Solteira/SP), pois que a circulação de ar é deficiente, a radiação solar direta e difusa são comuns neste período e a umidade de ar também se apresenta acentuada nesta mesma época.

As trocas térmicas das faces externas e internas de materiais construtivos são abordadas por GIVONI (1998), onde a ventilação na superfície inferior da cobertura, aciona as trocas por convecção (forçada), evitando a emissão de energia térmica para o ambiente interno.

Simultaneamente, a cobertura a partir da energia absorvida, troca calor por radiação com as superfícies internas e as superfícies circundantes, dada a sua temperatura superficial externa e seu poder de emissividade.

A transferência de calor por condução é processada entre a superfície externa da cobertura e seu isolante térmico e, é função da diferença entre suas respectivas temperaturas superficiais. As propriedades físicas dos materiais utilizados como massa específica e peso específico, e das propriedades térmicas como condutibilidade térmica, influenciam a passagem de calor para o ambiente interno. A espessura da cobertura e seu isolante térmico são de grande importância para definir a resistência térmica do conjunto.

A resistência térmica do conjunto está ligada a capacidade térmica que o mesmo apresenta ao resistir à passagem do calor. Esta característica é função do coeficiente de condutibilidade térmica e espessura do material utilizado.

RIVERO (1986) refere-se à condução de calor considerando a transmissão de calor da cobertura para os espaços internos da edificação, a qual deve ser dificultada, com o objetivo de amenizar as condições ambientais externas no interior do ambiente edificado.

Considerando o quadro climático, para um bom desempenho térmico em coberturas, deve ser considerado o estudo de KOENIGSBERGER et al. (1977). Para o autor, em ambientes quentes e de umidade elevada, os mecanismos de projeto devem evitar os efeitos da radiação do sol e do céu no interior das edificações. SZOKOLAY (1986) afirma que em climas tropicais, a atenuação da radiação direta e difusa é um dos pontos a serem examinados diante da relação entre o sol e o edifício.

Na cidade de Ilha Solteira/SP, levando-se em conta as recomendações acima citadas, para um bom comportamento térmico da edificação, é conveniente que a dimensão, a altura e a espessura da cobertura impeçam a incidência da radiação direta e difusa nos meses quentes. Faz-se necessária a livre circulação de ar no ambiente interno da cobertura, para a retirada do ar aquecido. Quanto aos materiais construtivos, é desejável que absorvam pouca energia solar no verão, com superfícies de alta refletância solar. Também é importante que haja um bom isolamento térmico.

CAPÍTULO 5 – Materiais e Métodos

5.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise das coberturas, utilizando a espuma poliuretana à base de óleo de mamona, como isolante térmico na cidade de Ilha Solteira/SP, foi necessário considerar as propriedades dos materiais empregados e as características físicas do local da construção, em análise conjunta com as condições climáticas. Boa parte dos estudos desenvolvidos sobre resposta térmica de espumas poliuretanas como isolante térmico em coberturas, foram analisados em condição de regime permanente.

A utilização de simulação computacional não foi considerada, pois a aplicabilidade na previsão do desempenho térmico do ambiente construído apresentou algumas limitações que tornaram inconveniente seu uso em climas tropicais. Estas limitações foram estudadas por AKUTSU (1984), ARAÚJO (1987), SOUZA (1990), MELO (1992) e PRIANTO et al. (2003).

Por este motivo, optou-se pela pesquisa experimental, visão esta reforçada com base em AKUTSU & VITTORINO (1992), ao afirmarem “a vantagem da obtenção de informações exatas e precisas, desde que seja conduzida conforme os preceitos de confiabilidade metrológica”.

5.1. Caracterização climática da área da pesquisa

5.1.1. Características gerais da região em estudo

Ilha Solteira situa-se à margem paulista do Rio Paraná, a noroeste do Estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 20° 38' 44" de latitude Sul e 51° 06' 35" de longitude Oeste.

Conta com população absoluta de 20.610 habitantes e densidade demográfica 36 hab/km² , segundo IBGE (2000).

O município tem na hidrografia pontos como a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, Hidrovia Tietê – Paraná, que está localizada entre os rios Paraná e Tietê.

A região apresenta um relevo modesto com altitudes que variam de 280 a 380 metros, sendo a altitude da cidade de 347,3 metros, contendo uma área de 661,30 km² (Cavalcante, 1999).

Em dados recentes, a vegetação caracteriza-se por pastagem como a cobertura predominante da área, segundo Ilha Solteira (1999).

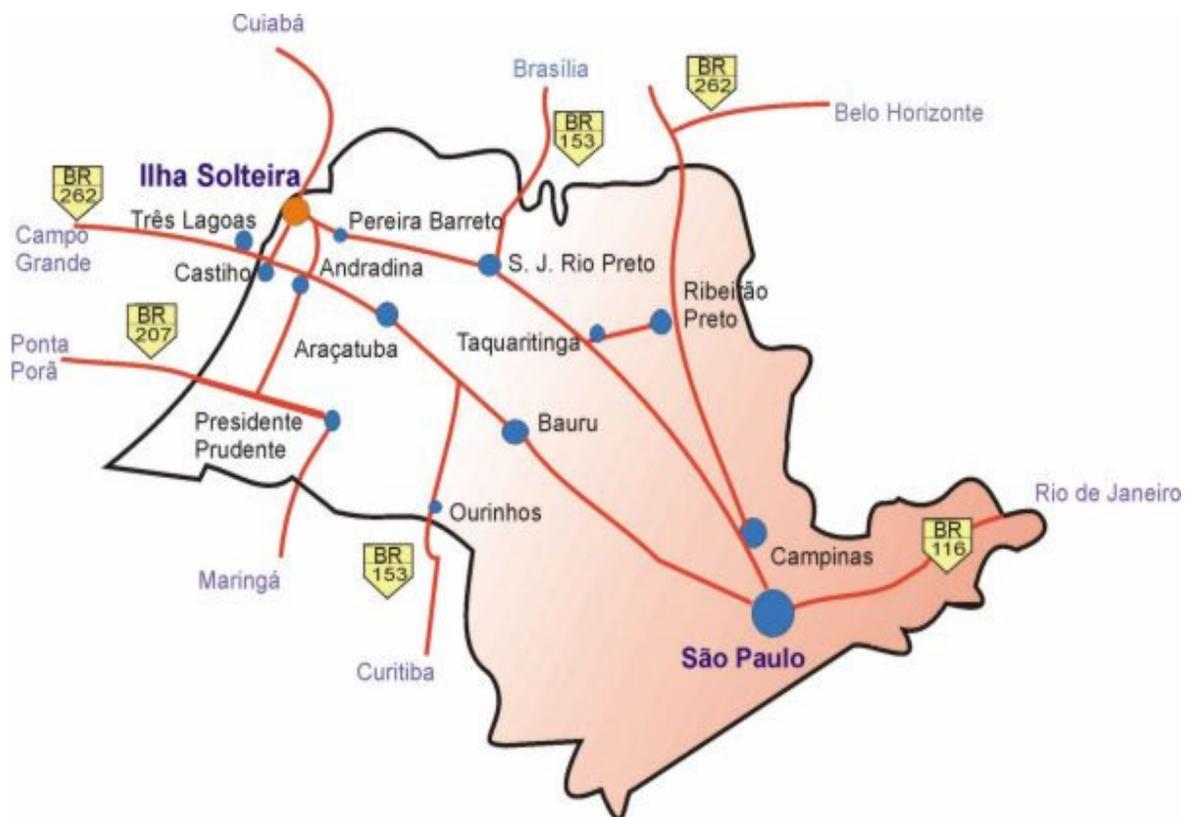


Fig. 5.1. Localização geográfica da cidade de Ilha Solteira – SP.

Fonte: www.feis.unesp.br - acesso: julho 2008

5.1.2. Características Climáticas

De acordo com a classificação de Köppen (1984), o clima de Ilha Solteira é do tipo Aw, clima tropical chuvoso de bosque, com chuvas de verão e estiagem no inverno.

Os dados climáticos utilizados nesta pesquisa, são baseados nas normais climatológicas referentes ao período de 1999/2003, fornecidas pela Estação Agrometeorológica Automática – Campbell CR-23x, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP (Anexo I).

De acordo com os dados climáticos, Ilha Solteira caracteriza-se por um período de verão, abrangendo os meses de outubro a março e, de inverno de junho a agosto. Verifica-se que o período de verão é maior do que o de inverno e, portanto, a predominância do calor sobre o frio.

Observa-se que os meses mais quentes são janeiro e fevereiro com as temperaturas máximas 32,28 °C e 31,10 °C, respectivamente. Os meses mais frios são junho e julho, com as temperaturas máximas 22,2 °C e 21,07 °C e, as temperaturas mínimas 16,03 °C e 14,63 °C.

As umidades relativas máximas nos meses de verão variam entre 82% e 94% e, as umidades relativas mínimas estão em torno de 40% a 50%. Nos meses frios, as umidades relativas máximas variam de 79% a 89% e as mínimas entre 36% a 42%.

Os ventos predominantes são de sudeste (SE) no verão e sudoeste (SW) no inverno. A velocidade média na maioria dos meses é 1,40 m/s, com exceção dos meses de julho, agosto e setembro, com as velocidades médias de 1,85 m/s.

Nos meses de verão, a precipitação média está em torno de 1021 mm, com a maior concentração nos meses de dezembro e janeiro. Nos meses de inverno a média pluviométrica do período é de 220 mm.

Nota-se o período de verão maiores temperaturas o ano inteiro, portanto, a predominância do calor sobre o frio.

5.2. Critérios termofísicos a serem considerados que contribuem na melhoria do desempenho térmico de coberturas

Para a cidade de Ilha Solteira – SP, alguns critérios devem ser considerados:

5.2.1. Atenuação térmica

Estudos desenvolvidos no campus experimental do CRHEA-EESC-USP (Carletto, 2005) demonstraram que o uso exclusivo do telhado como cobertura, não corresponde às adequadas condições de comportamento térmico. Esses estudos também comprovaram que os sistemas de cobertura com o uso de telhado e forro, apresentaram pequena atenuação no seu rigor térmico e, para alcançar um comportamento térmico razoável, foi necessário adotar medidas de correção térmica. Neste caso, ao sistema de cobertura, a aplicação de pintura clara, a presença do ático ventilado e o emprego de uma subcobertura, melhorou consideravelmente o conforto interno da edificação.

5.2.2. Isolamento térmico

Para Givoni (1998), duas propriedades básicas dos elementos da edificação controlam o fluxo térmico e determinam os seus impactos no comportamento térmico das edificações: resistência térmica (R) e a capacidade térmica (C), que são conseqüências das propriedades termofísicas dos materiais e das espessuras das camadas de cada elemento pelos quais são compostos. As propriedades básicas dos materiais são: a densidade, a condutividade e o calor específico.

No inverno, a edificação é aquecida e o lado inferior do ático armazena mais calor do que o lado superior, o que ocasiona o aumento da convecção natural. No verão o telhado é sempre mais quente do que a parte inferior do ático, o que reprime a convecção natural. Então a diferença entre a direção do fluxo de calor em um espaço de ar horizontal e outro em um espaço de ar inclinado é máximo quando o espaço é alinhado com a camada reflexiva. Porque a troca radiante é reprimida e o principal fluxo de calor é feito depois por convecção (Givoni, 1998).

Barreiras de radiação são melhores recomendados para telhados em edificações de regiões quentes.

Para climas quentes, Docherty e Szokolay (1999) recomendam:

- prevenir ou reduzir o ganho de calor;
- permitir a entrada do calor para um horário que seja menos prejudicial;
- a dissipar o máximo de calor possível.

Observa-se, assim a importância do papel desempenhado pelo sistema de cobertura para o comportamento térmico das edificações e, conseqüentemente, do conforto térmico e o emprego de matérias isolantes, tanto no inverno, como no verão:

- no inverno, quando a energia deve ser conservada diminuindo a perda de calor pela edificação, evitando o uso de sistema artificial e, caso seja necessário, que seu custo seja reduzido;
- no verão, para evitar o emprego de sistema artificial de refrigeração e, se utilizado, que seu custo seja reduzido.

Com base na teoria de que o isolamento é o controle do fluxo de calor, podem ser reconhecidas três formas de controle de fluxo (Szokolay, 2004):

- **por reflexão:** são aplicados materiais onde há domínio de transferência de calor por radiação. Um material prático e isolante por reflexão é a manta de alumínio, o qual tem baixa absorvância e baixa emissividade. (aproximadamente 0,02 e 0,05 respectivamente). O material pode ser usado sozinho ou laminado com papel, de um lado ou dos dois lados. Para que tenha o desempenho esperado, deve-se deixar uma cavidade ou espaço de ar faceando a manta;
- **por resistência:** são usados materiais para controlar o fluxo de calor por condução. Materiais usados para este fim são aqueles que têm baixa condutividade (usualmente fibrosos ou porosos).

Existem duas categorias de isolantes:

- os que têm somente a função de isolantes, que podem ser usados sozinhos ou em conjunto com outros materiais, mas com o único propósito de reduzir o fluxo de calor, como por exemplo: fibra mineral, fibra de vidro e fibra de celulose;
- os que têm várias funções além de controle do fluxo de calor, mas que têm um desempenho razoável como isolantes, por exemplo pode-se citar as espumas de polietileno expandido (EPS), polietileno extrudado (Styrofoam), poliuretano e a vermiculita;
- **por capacidade de isolamento:** são referidos à capacidade térmica ou massa térmica e é discutida de forma diferente das anteriores (ZOLD & SZOKOLAY, 1999)

Neste trabalho adotou-se o isolante pertencente a categoria “de isolante por resistência”, pois a espuma poliuretana à base de óleo de mamona apresenta as mesmas propriedades de um produto derivado do petróleo muito comum no mercado: o isopor.

De acordo com o Zoneamento Bioclimático – Norma ABNT- 15220-3. *Desempenho Térmico de Edificações*. Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (2005), a cidade de Ilha Solteira-SP, pertence às diretrizes construtivas da zona bioclimática nº 6 (Anexo II).

5.3. Procedimentos Experimentais

5.3.1. Considerações Gerais

Para análise das coberturas, utilizando a espuma poliuretana à base de óleo de mamona, como isolante térmico na cidade de Ilha Solteira/SP, foi necessário considerar as propriedades dos materiais empregados e as características físicas do local da construção, em análise conjunta com as condições climáticas. Boa parte dos estudos desenvolvidos sobre resposta térmica de espumas poliuretanas como isolante térmico em coberturas, foram analisados em condição de regime permanente.

A utilização de simulação computacional não foi considerada, pois que a aplicabilidade na previsão do desempenho térmico do ambiente construído apresentou algumas limitações que tornaram inconveniente seu uso em climas tropicais. Estas limitações foram estudadas por AKUTSU (1984), ARAÚJO (1987), SOUZA (1990), MELO (1992) e PRIANTO et al. (2003).

Por este motivo, optou-se pela pesquisa experimental, visão esta reforçada com base em AKUTSU & VITTORINO (1992), ao afirmarem “a vantagem da obtenção de informações exatas e precisas, desde que seja conduzida conforme os preceitos de confiabilidade metrológica”.

5.3.2. Caracterização da área de estudo

Esta pesquisa trata sobre a avaliação do desempenho térmico de coberturas de fibrocimento, utilizando a espuma poliuretana à base de óleo de mamona como isolante térmico, através de medições em células-teste. O campo experimental localizou-se no Setor de Transportes, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP-Campus de Ilha Solteira, no Estado de São Paulo, como pode ser observado na figura 5.2.

A escolha deste local deu-se, por o terreno encontrar-se em área aberta gramada, sem influência de sombras e bloqueio de ventilação através de outros prédios.

5.3.3. Desenvolvimento Experimental

Apesar da cidade de Ilha Solteira-SP, possuir clima quente-úmido no verão e inverno seco, a estação quente é predominantemente, a maior parte do ano, aproximadamente 9 (nove) meses. Sendo o período de inverno pequeno e com temperaturas amenas, privilegiou-se a preocupação com a proteção ao excessivo ganho térmico no interior da edificação. Verificou-se que a ocorrência de temperaturas máximas entre 34 °C e 36 °C são comuns no verão na região.

5.3.4. Localização do campo experimental das células-teste

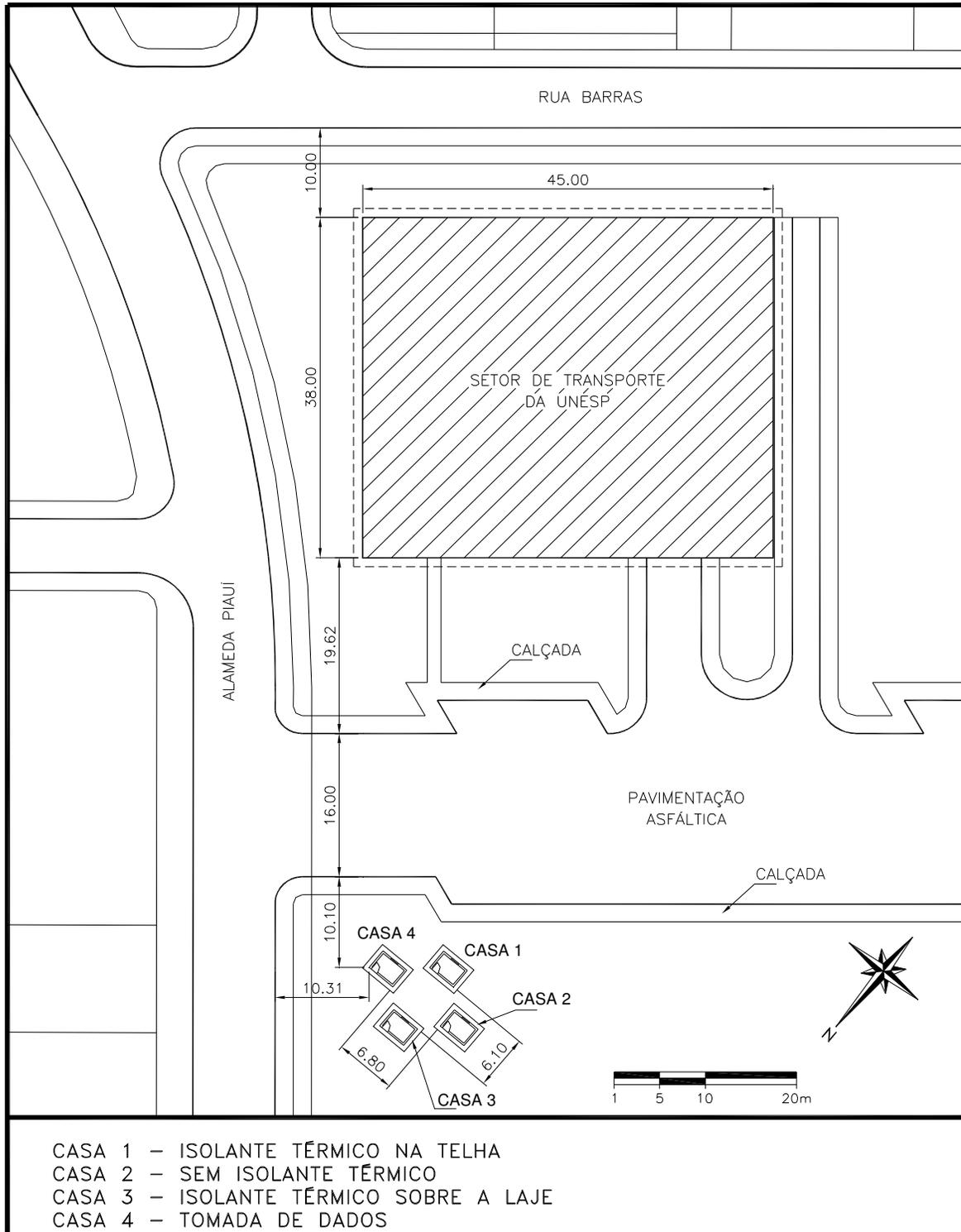


Figura 5.2. Localização do campo experimental situado na UNESP – Campus de Ilha Solteira

5.3.5. Descrição das células-teste

A presente pesquisa constituiu-se de 4 (quatro) células-teste físicas, em tamanho real, com dimensões de 3.00 metros, por 2.00 metros e 2.50 metros de altura. Esta célula-teste é uma representação simplificada de um cômodo, com porta e janela em paredes opostas, com a maior fachada na orientação norte-sul (v. figura 5.2), nas quais se localizam a porta (norte) e a janela (sul). Evita-se, portanto, uma insolação muito intensa nessas duas aberturas e também nas fachadas leste-oeste, de menor área. De acordo com o Código Sanitário do Estado de São Paulo, artigo 60, o menor espaço para dormitórios é de 6m², para casas de 3 (três) dormitórios ou mais. Por esta razão, chegou-se a área de cada célula-teste construída. Cada uma possuía 6m² de dimensões de piso. São idênticas quanto a orientação, às aberturas e à implantação no terreno.

As paredes foram constituídas por tijolos de 8 (oito) furos, sem reboco e sem pintura., na cor natural da cerâmica, por representar o uso real e popular e também por apresentar uma situação bem desfavorável, quanto ao desempenho térmico. Sabe-se que o tijolo com o reboco, aumenta a espessura da parede e, conseqüentemente eleva o valor de inércia térmica, oferecendo melhores condições de conforto térmico (Dornelles, 2008).

O piso interno e externo foi cimentado sem acabamento, aplicado diretamente sobre o solo. O piso foi pintado com tinta específica para pisos e quadras, na cor concreto, para evitar a suspensão de poeira. A cobertura apresenta 18% de inclinação, com laje mista com cerâmica de 10 cm de espessura, com calçada e beirais de 50 cm.

De acordo com a revisão bibliográfica, as cores apresentam diferentes valores de refletância, de acordo com seu comprimento de onda. Como a influência da cor não era o foco principal desta pesquisa, optou-se adotar por padrão para as telhas de fibrocimento (marca comercial Brasilit Fibrotex (www.brasilit.com.br), com as dimensões de 50 cm de largura, 1,22 m de comprimento e 4 mm de espessura), nas cores branca e natural. A cor branca com valor de refletância em torno de 90% e a cor natural (cinza claro), de valor de aproximadamente 50%. Para Castro, 2006, quanto maior o valor de refletância da cor, menor o armazenamento de energia térmica no material, proporcionando melhor conforto térmico para o ambiente onde está aplicado.

A diferença entre as células-teste está na localização das placas de resina poliuretana de mamona, pois elas funcionam como subcobertura. Elas encontram-se na seguinte seqüência:

Célula-teste 1: a espuma poliuretana é colocada em forma “sandwich”, entre as duas telhas de fibrocimento, marca comercial Brasilit Fibrotex 4 mm de espessura – casa 1;

Célula-teste 2: esta é a célula-teste de referência e controle, pois não possui isolamento térmico na subcobertura e está totalmente exposta a radiação solar (célula-teste de referência) – casa 2;

Célula-teste 3: a espuma poliuretana encontra-se colocada diretamente sobre a laje – casa 3;

Célula-teste 4: central de aquisição de dados – casa 4.

Figuras 5.3, 5.4 e 5.5.

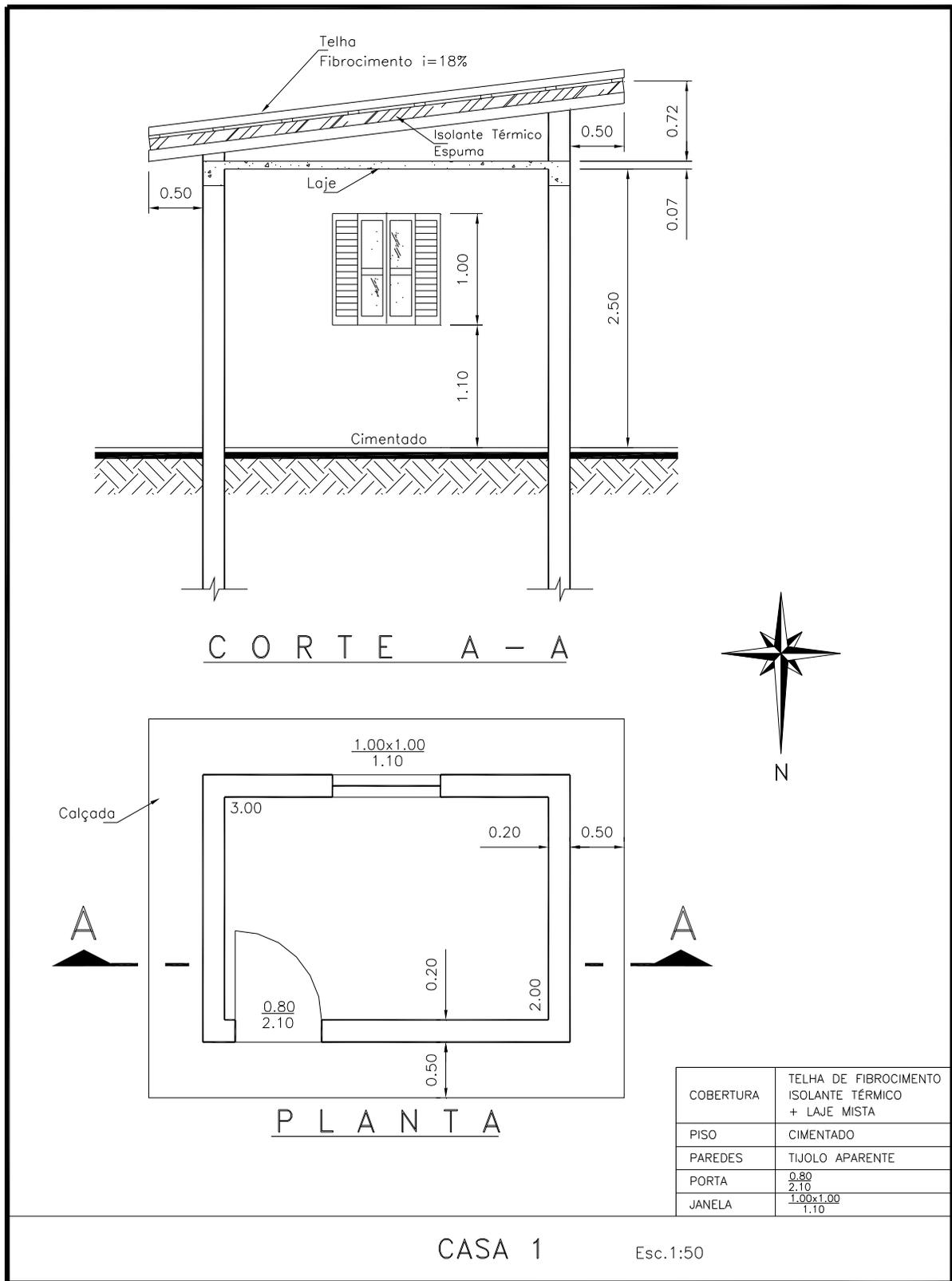


Figura 5.3. Célula-teste 1 (casa 1 – isolante tipo “sandwich”)

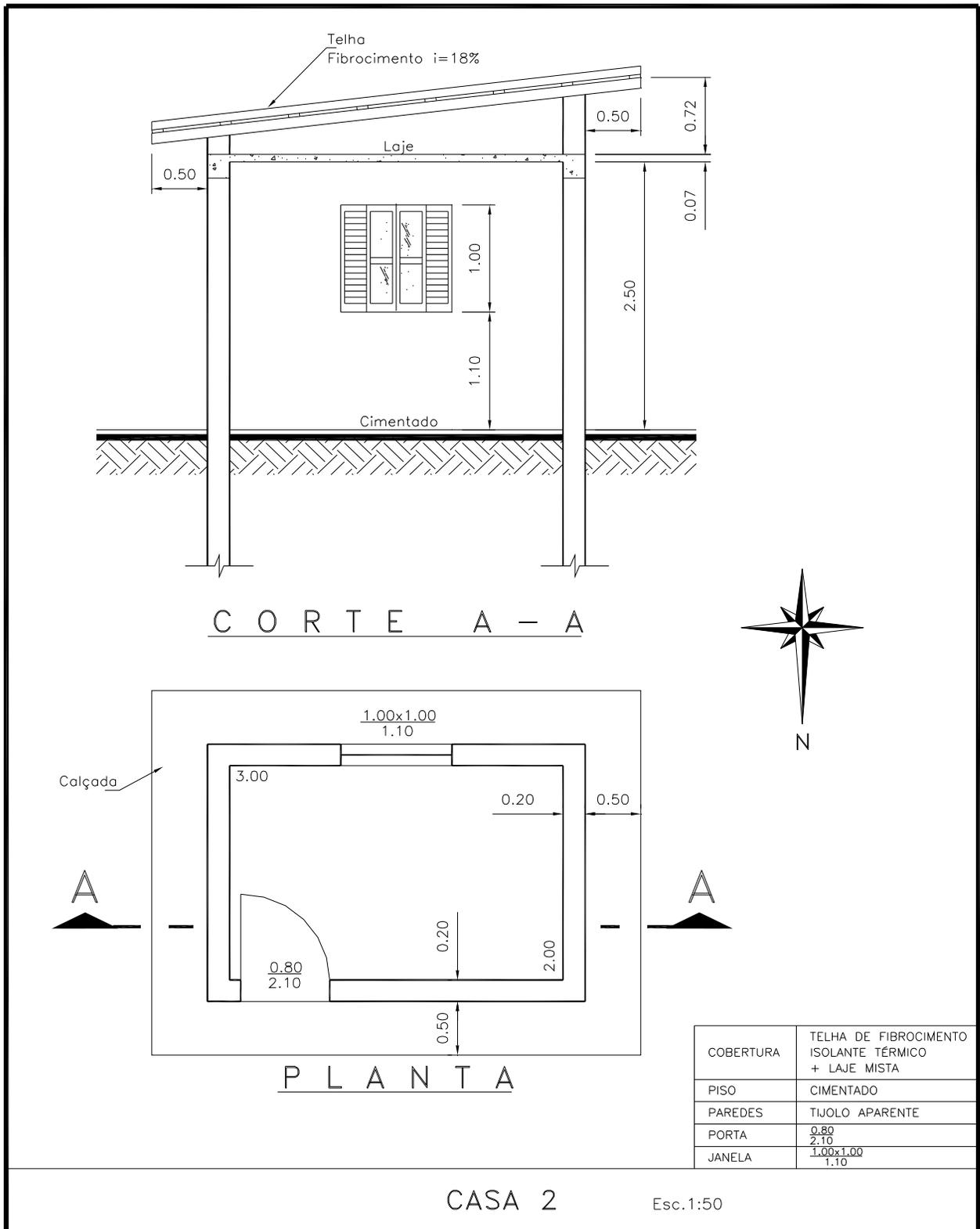


Figura 5.4. Célula-teste 2 (casa 2 – referência)

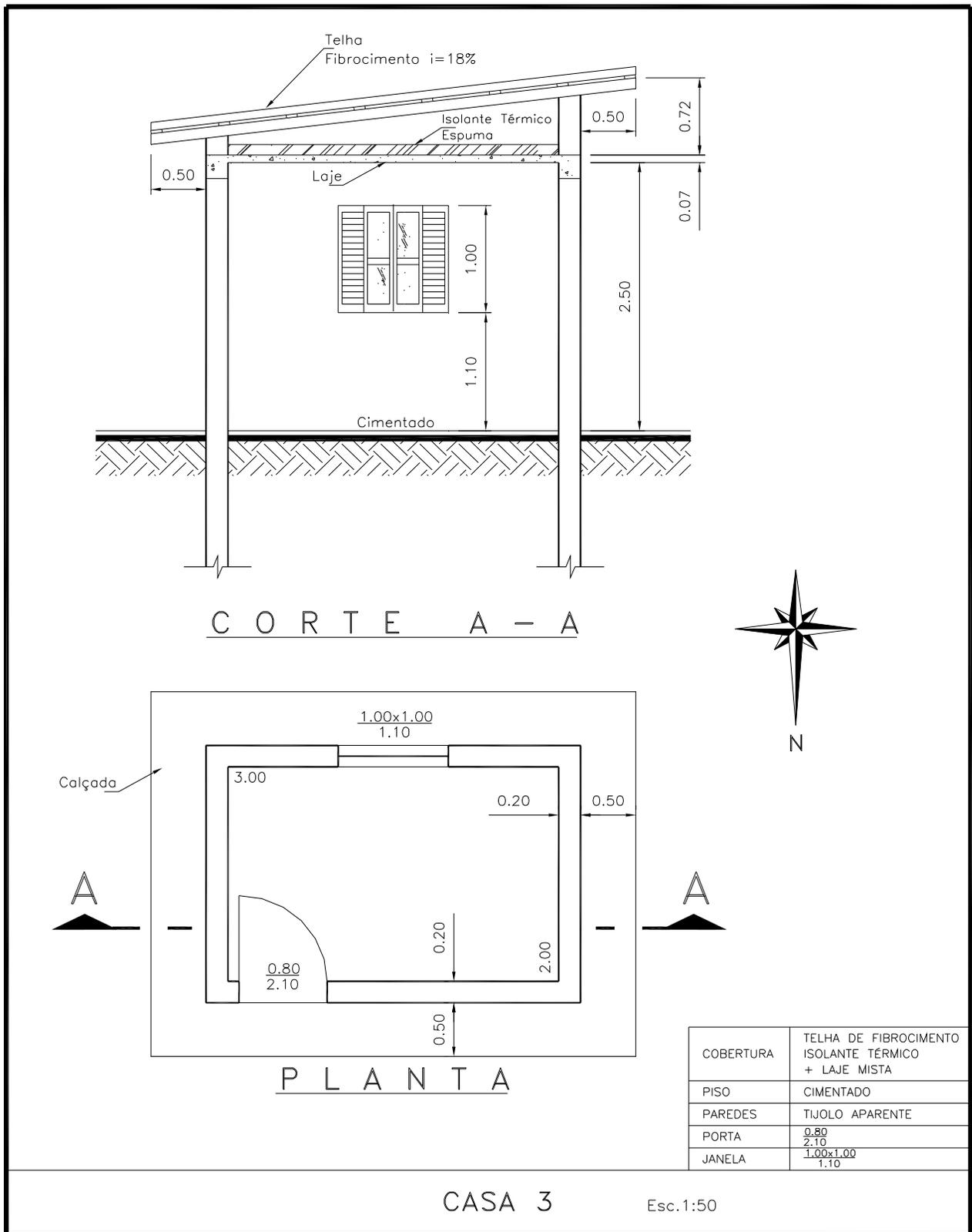


Figura 5.5. Célula-teste 3 (casa 3 – isolante sobre a laje)

5.3.6 Confeção das placas de espuma poliuretana à base de óleo de mamona

Com a espuma poliuretana vegetal é possível obter espumas de variadas densidades e propriedades mecânicas. Pode-se ter espumas tanto rígidas, para o isolamento térmico ou flexíveis, próprias para o isolamento acústico.

Para isto, basta alterar a constituição de polioli e do pré-polímero utilizado, bem como a proporção entre eles. Depois de misturados seus componentes, a reação de polimerização é quase instantânea.

Para a confecção da placa poliuretana, foi construído um molde fechado de madeira, retangular, nas dimensões da telha de fibrocimento (nome comercial - Brasilit Fibrotex). A placa resultante possui as dimensões de 0.50m x 1.00m e 35 mm de espessura.

De forma geral, para fazer a reação de polimerização da espuma aplica-se:

0.7g polioli + 1g pré-polímero = espuma poliuretana

Para a placa de poliuretana desta pesquisa, utilizou-se a seguinte relação:

100g pré-polímero + 70g polioli

Após a adição dos dois componentes, a reação ocorreu quase instantaneamente. Após um minuto, a placa era desformada. Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.

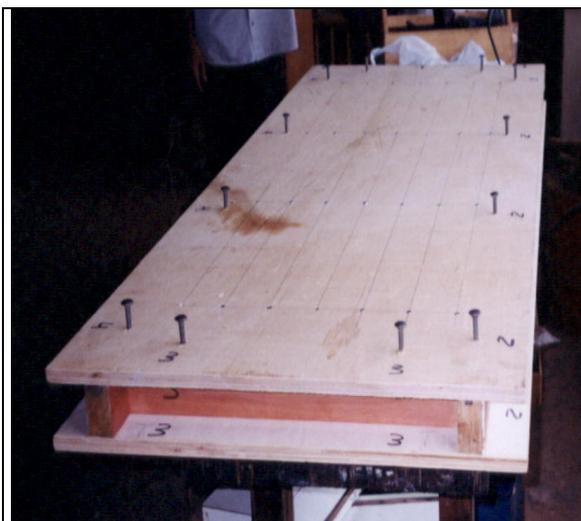


Figura 5.6. Molde fechado de madeira para confecção das placas.



Figura 5.7. Modelagem das placas de espuma poliuretana.



Figura 5.8. Preenchimento do molde com a mistura do polioli e pré-polímero.



Figura 5.9. Fechamento do molde.

5.3.7. Confeção das placas de espuma

As placas de mamona foram executadas por meio de mistura manual, por não se ter disponível, o equipamento adequado, que pudesse misturar e aspergir os componentes: polioli e pré-polímero.

Não foi possível testar a viabilidade da obtenção de placas pela injeção mecânica nos moldes, pelos seguintes motivos:

- o alto custo do equipamento, que deveria ser importado;
- o tempo e o custo necessários para que se pudesse desenvolver satisfatoriamente um equipamento experimental, com possibilidades de atender esta exigência.

O desenvolvimento deste dispositivo pode ser tentado futuramente, não se configurou, como etapa obrigatória deste trabalho, que consiste em verificar a eficiência térmica da mamona.

Devido à quantidade de dados obtidos, adotou-se uma abordagem estatística, estabelecendo o nível de confiança em 95%, onde os valores estão dentro da confiabilidade prevista em norma estatística. Fez-se o estudo do método de variância.

5.3.8. Método de preparação da espuma

Várias misturas foram testadas com o objetivo de conseguir placas que fossem satisfatórias, com o menor número possível de imperfeições. O molde deve ser fechado. Caso contrário, a espuma irá se expandir ultrapassando o volume nominal do molde, desperdiçando grande parte de seu material.

Para cada placa produzida, repete-se novamente a operação, que vai desde a medição das quantidades de cada componente, sua mistura, homogeneização e lançamento. Há também a necessidade de fechamento do molde, impedindo que ocorra o escape do material, quando a mistura começar sua expansão (aproximadamente 1 minuto após a mistura).

5.3.9. Métodos mecânicos de dosagem, mistura e jateamento

Esta pesquisa não contemplou estudos quanto ao uso de métodos mecânicos de mistura. O principal motivo deste impedimento está no alto custo do equipamento e na inexistência de um dispositivo simples, que pudesse atender às exigências deste trabalho. São disponíveis equipamentos para produção de placas em regime de alta produtividade em escala industrial. A empresa italiana Sandreto-Cannon proporciona a mostra do alto nível tecnológico dos equipamentos (www.thecannongroup.com). A elaboração de um dispositivo desta natureza, demandaria tempo e custos elevados, sem a garantia de eficiência.

5.3.10. Características químicas

Não foi o objetivo deste trabalho levantar o comportamento químico da espuma. Em outras pesquisas com a mamona, sabe-se que sua resistência química é alta, comparável aos melhores polímeros encontrados no mercado.

Embora se trate de um material leve, com alto índice de vazios, as espumas de mamona devem atender aos quesitos de resistência química para materiais de uso comum. Um estudo aprofundado revelaria quais os verdadeiros limites do material.

5.3.11. Reação à luminosidade

Em um experimento, uma laje pré-moldada foi revestida, na face superior, com uma placa poliuretana de mamona. Após 60 dias, esta se apresentava frágil e com coloração mais escura que a inicial, demonstrando que as espumas de mamona, se não forem protegidas contra o ataque do raio ultravioleta, tendem a se degradar ao longo do tempo (Marchesoni, 2000). Também não é objetivo sua avaliação neste trabalho.

5.3.12. Equipamentos

Foi construída uma estação climática composta de 3 (três) termopares, tipo K (cromel (+)/alumel (-)) e intervalo de escala 0.1 C°. Nesta estação foram medidas as temperaturas de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo.

Para minimizar a influência da radiação solar incidente nas leituras dos termopares foi utilizado um pequeno pedaço de isopor para cobrir a ponta dos termopares e, foram fixados na superfície com uma pasta térmica, para melhorar a condutividade na ponta do termopar.

Tanto a colocação dos equipamentos, como os ensaios basearam-se na Internacional Standard – ISO 7730 – 2nd edition, 1998, que trata da ergonomia do ambiente térmico – dos instrumentos para medidas de grandezas físicas. A estação climática externa encontra-se a 1.70 m de altura, a partir do piso, simbolizando uma pessoa de pé. E no interior das células-teste, está com 1.10 m de altura, como uma pessoa sentada. Figuras 5.10 e 5.11.



Figura 5.10. Estação climática construída com a estação de referência Instrutherm.



Figura 5.11. Estação climática externa.

Para a tomada de dados, os termopares foram acoplados a um computador, com uma placa de aquisição de dados multi-serial TC-08, da empresa americana PICO. Sua capacidade possibilita medir temperaturas desde $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, para termopares tipo K. Sua precisão é de $\pm 0.3\% + 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e resolução $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para leitura, com oito canais.

A este equipamento acompanha um software chamado Picolog, que é um programa de coleta, registro e impressão de dados, para ambiente windows. Este programa permite identificar cada canal, separadamente. É possível a geração e impressão de gráficos, tabelas, registro de alarmes e acesso remoto TCP/IP (internet). Permite também, a exportação de dados para outros aplicativos, tanto no formato gráfico, como no formato tabela. Figuras 5.12 e 5.13.



Figura 5.12. Aquisição de dados.



Figura 5.13. Programa de aquisição de dados Picolog.

Como referência, foi colocada ao lado da estação climática utilizada nesta pesquisa, a estação climática da marca INSTRUTHERM (v. anexo II).

Com a comparação dos dados de ambas as estações e aplicadas nos cálculos da estatística clássica (método de variância), como nível de confiança, obteve-se:

$$I_{\text{média pesquisa}} = 25.86 \pm 1.89$$

$$I_{\text{média INSTRUTHERM}} = 25.86 \pm 1.29$$

De acordo com a ASTM (1979), a relação entre o nível de confiança da estação climática INSTRUTHERM e a estação construída, estava dentro do nível de confiança estatística utilizado nesta pesquisa, em torno de 95% de confiabilidade. Os dados da estação construída são, portanto, confiáveis. Os resultados da comparação encontram-se nas figuras 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17.

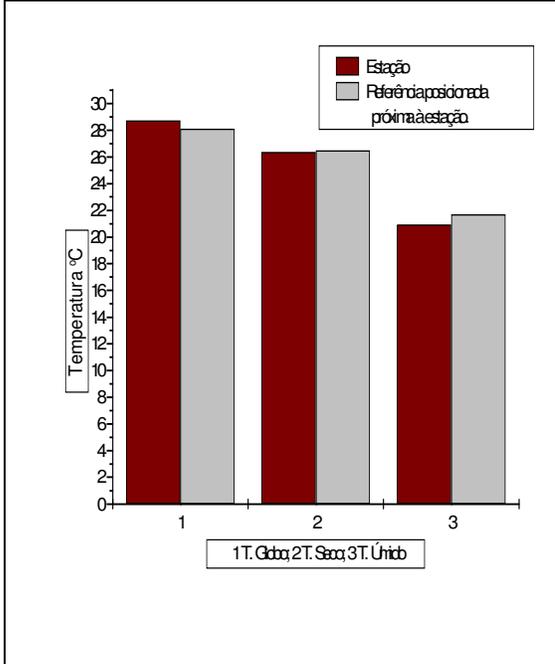


Figura 5.14. Estação Externa e E. Instrutherm de referência.

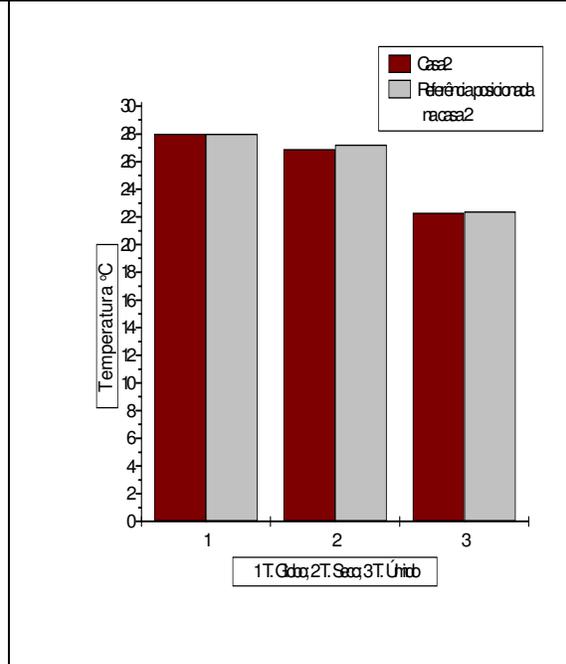


Figura 5.15. Casa 1 e E. Instrutherm de referência.

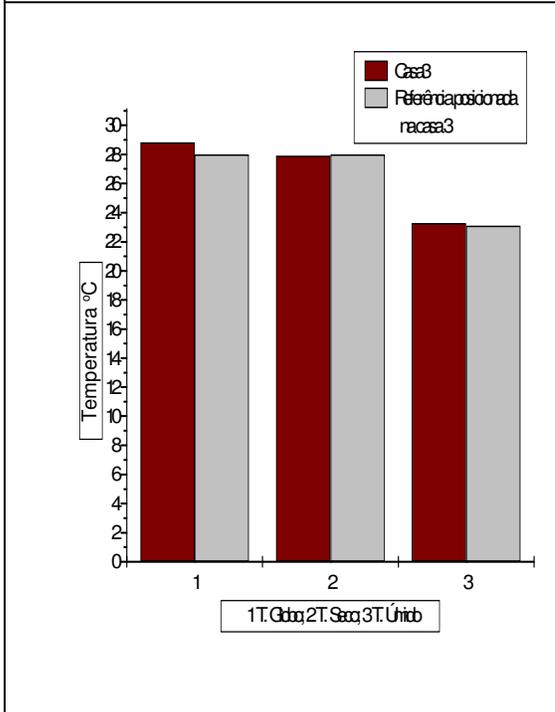


Figura 5.16. Casa 2 e E. Instrutherm de referência.

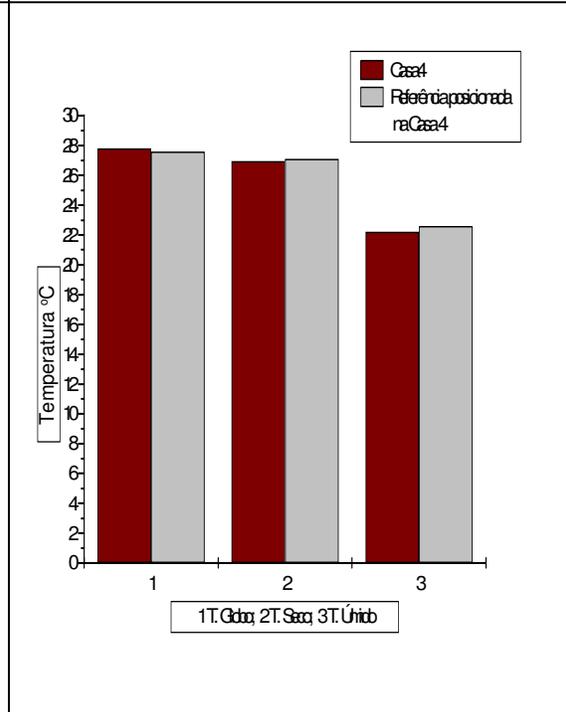


Figura 5.17. Casa 3 e E. Instrutherm de referência.

5.4. Programa de Ensaio

5.4.1. Grandezas medidas

As grandezas medidas nas três células-teste e na estação climática externa, foram:

1 = casa 1 = célula-teste 1

2 = casa 2 = célula-teste 2 – célula teste de referência

3 = casa 3 = célula-teste 3

4 = casa 4 = estação externa

Tt1 – temperatura da telha da casa 1 (°C);

Tg1 – temperatura de globo casa 1 (°C);

Ts1 – temperatura de bulbo seco casa 1 (°C);

Th1 – temperatura de bulbo úmido casa 1 (°C);

Tli1 – temperatura da face inferior da laje casa 1 (°C);

TLs1 – temperatura da face superior da laje casa 1 (°C);

Tt2 – temperatura da telha casa 2 (°C);

Tg2 – temperatura de globo casa 2 (°C);

Ts2 – temperatura de bulbo seco casa 2 (°C);

Th2 – temperatura de bulbo úmido casa 2 (°C);

Tli2 – temperatura da face inferior da laje casa 2 (°C);

TLs2 – temperatura da face superior da laje casa 2 (°C);

Tt3 – temperatura da telha casa 3 (°C);

Tg3 – temperatura de globo casa 3 (°C);

Ts3 – temperatura de bulbo seco casa 3 (°C);

Th3 – temperatura de bulbo úmido casa 3 (°C);

Tli3 – temperatura da face inferior casa 3 (°C);

TLs3 – temperatura da face superior casa 3 (°C);

Tgext – temperatura de globo estação externa (°C);

Tsext – temperatura de bulbo seco estação externa (°C);

T_{ext} – temperatura de bulbo úmido estação externa ($^{\circ}\text{C}$);

Os termopares que estavam dentro de cada célula-teste, foram posicionados a um metro e dez centímetros do piso, equivalendo a uma pessoa sentada e, os externos a um metro e setenta centímetros, simulando uma pessoa de pé (International Standard – ISO 7730, 1998).

5.4.2. Disposição dos termopares nas células-teste

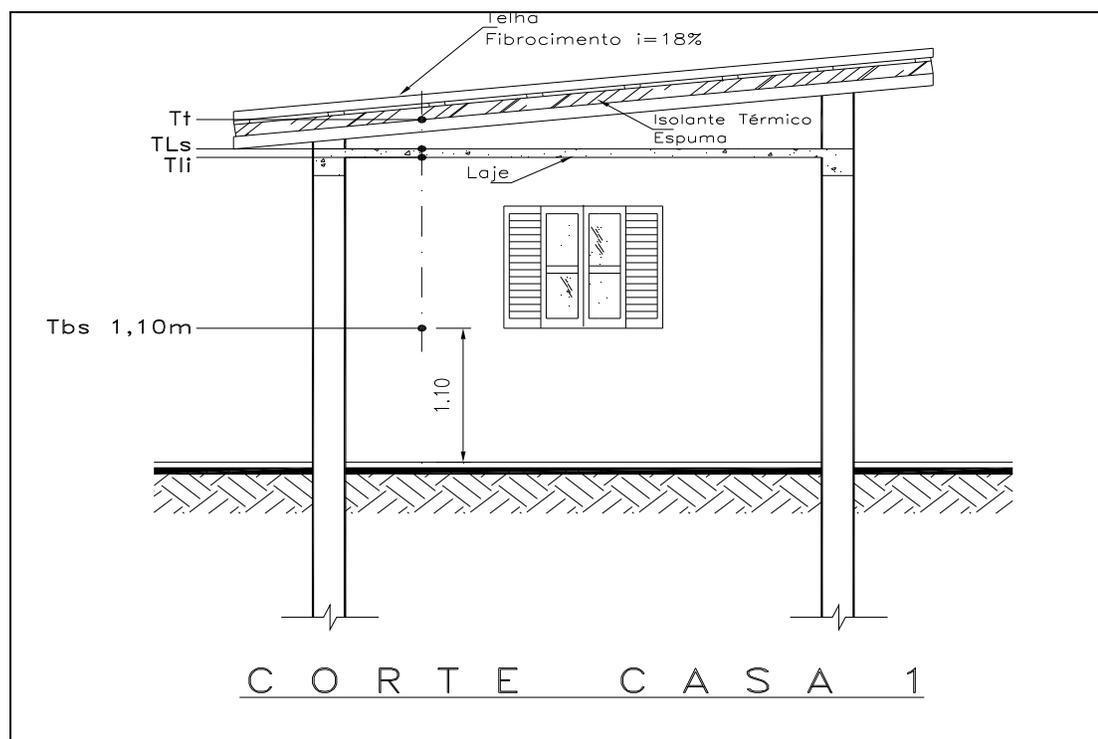


Figura 5.18 – Corte esquemático com a localização dos termopares na casa 1.

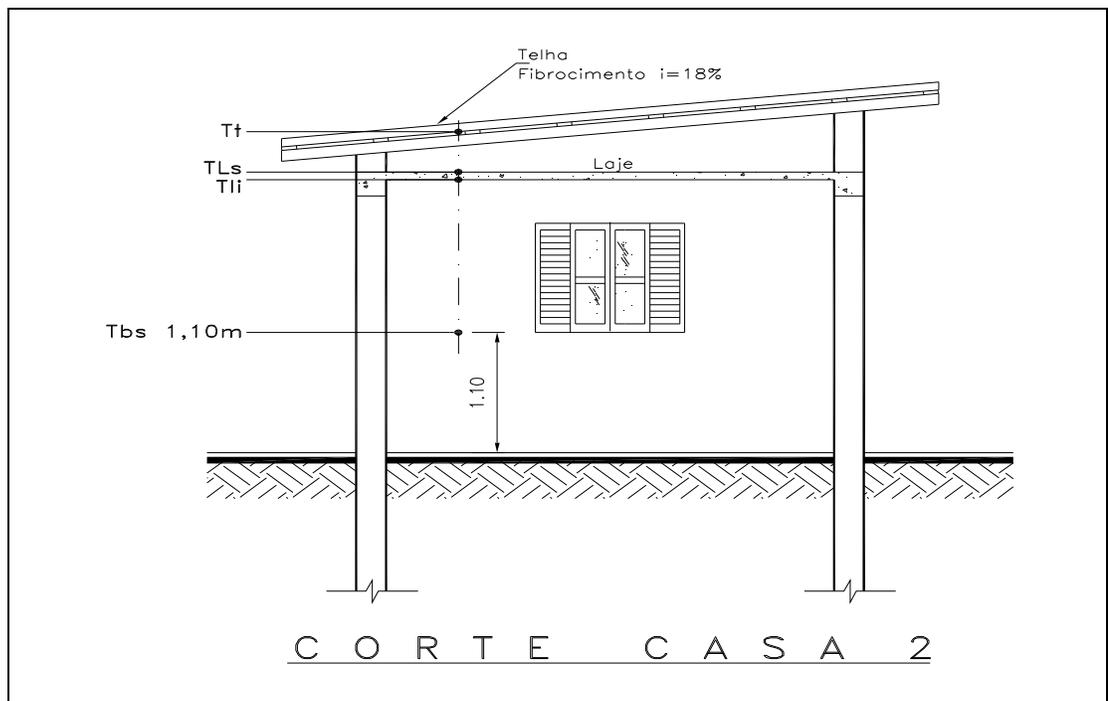


Figura 5.19. Corte esquemático com a localização dos termopares na casa 2.

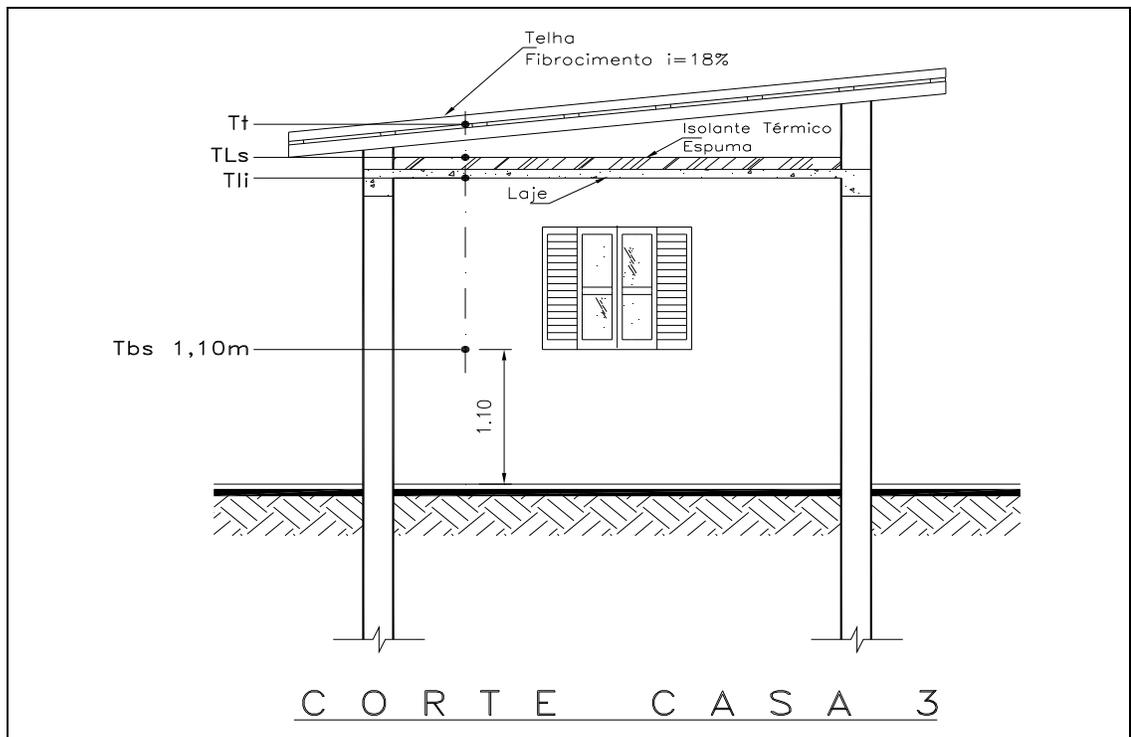


Figura 5.20. Corte esquemático com a localização dos termopares na casa 3.

5.4.3. Realização das medições

O período de medições compreendeu os meses de março, abril, próximo ao equinócio de outono (21 de março 2003) e julho e agosto, próximo ao solstício de inverno (21 de junho de 2003). Portanto, um período de final de verão e um período de inverno. Foram coletados dados de temperatura do ar e temperaturas superficiais. Cada dispositivo foi testado durante uma semana, antes da tomada de dados definitiva.

VERÃO – período 1 e 2

- a. 15 dias – telha de fibrocimento de cor natural – período 1;
- b. 15 dias – telha de fibrocimento pintada de tinta cor branca – período 2;

INVERNO – período 3 e 4

- a. 15 dias - telha de fibrocimento pintada de tinta cor branca – período 3;
- b. 15 dias – telha de fibrocimento de cor natural – período 4.

5.4.4. Período das medições

VERÃO

- a. 15 dias – telha natural- período 1
10 de março a 24 de março de 2003

- b. 15 dias – telha branca – período 2
15 de abril a 29 de abril de 2003

INVERNO

- a. 15 dias – telha branca – período 3
16 de julho a 30 de julho de 2003

- b. 15 dias – telha natural – período 4
14 de agosto a 28 de agosto de 2003.

Com os valores coletados pelos termopares foram calculadas as médias a cada 30 minutos. Esta estratégia de ensaio pode ser bem entendida na pesquisa de VECCHIA (1997). As temperaturas de desempenho térmico das coberturas foram obtidas sob condições dinâmicas do clima. Assim, foi possível testar em pequeno espaço de tempo, o desempenho do sistema construtivo. Figuras 5.21 e 5.22.

5.5. Caracterização dos materiais

Valores adotados neste estudo segundo as referências citadas abaixo:

Tabela 5.1. Valores das espessuras, densidade e condutividade térmica dos materiais empregados

Material	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/m °C)
FB	0.003	1900 ¹	0.76 ¹
PU	0.003	20 ² (NBR 11506)	0.027 ² (NBR 12094)
TJ	0.15	1600 ¹	0.81 ⁴
CC	0.10	2300 ³	1.10 ⁴
LJ	0.10	2300 ³	1.10 ⁴

Referências:

- 1 - SOUZA (1990)
- 2 – MARCHESONI (2000)
- 3 – ASHRAE (1981)
- 4 – IPT (1992)

LEGENDA

FB – telha de fibrocimento

PU – espuma poliuretana de mamona

TJ – tijolo

CC – concreto

LJ – laje

e – espessura do componente (m)

λ - condutividade térmica do material (W/m°C)

ρ - massa específica (kg/m³)

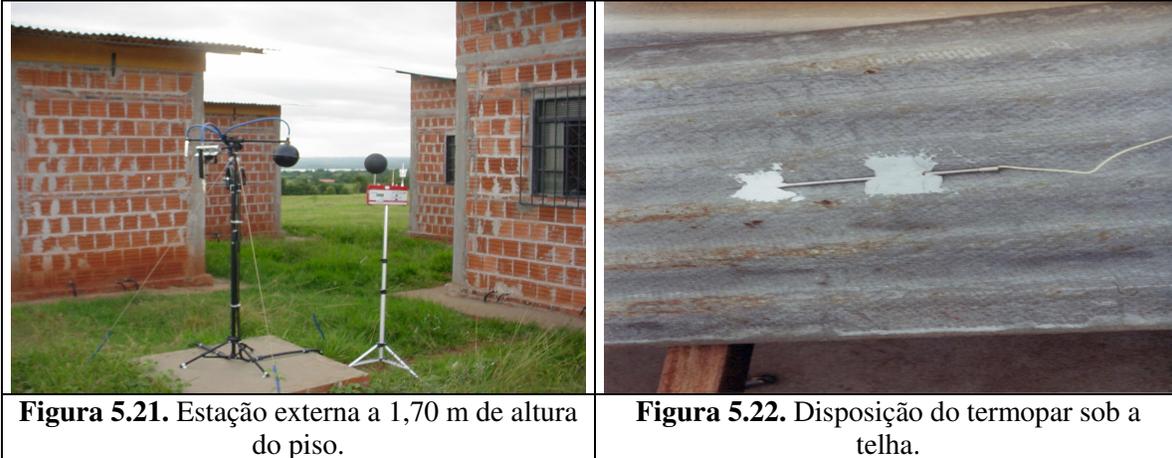


Figura 5.21. Estação externa a 1,70 m de altura do piso.

Figura 5.22. Disposição do termopar sob a telha.

5.6. Dados coletados

O sistema de aquisição de dados efetuou a leitura dos sensores e termopares e, foram armazenados no data logger. Depois, descarregados no microcomputador.

Foram realizados alguns testes iniciais, como forma de treinamento e adaptação com o modo de coleta e descarga dos dados, como também o uso do software.

Os dados adquiridos foram diários das variáveis ambientais (temperatura do ar e umidade relativa) e das variáveis medidas nas células-teste (temperatura do ar, temperatura radiante e temperaturas superficiais), nos quatro (4) períodos relacionados.

O equipamento coletou dados diários e registrou a média das coletas em cada 30 minutos, para cada termopar, em cada célula-teste, para uma dada orientação, durante 30 dias, na estação de verão, sendo 15 dias com a telha cor natural e 15 dias com a telha pintada de tinta branca. Ocorrendo o mesmo procedimento nos 30 dias referentes a estação de inverno. Foram coletados 21 dados diários, 1 placa com 8 sensores para cada uma das três (3) células-teste, 15 dias, 1 orientação, 4 períodos do ano, 2 cores da telha de fibrocimento, totalizando 7.560 dados brutos das variáveis medidas nas células teste. Somam-se também as variáveis ambientais, sendo 2 placas com 6 sensores, com 12 dados diários, por 15 dias, 4 períodos do ano e 2 cores da telha de fibrocimento.

5.7. Dados

Após um pré-teste no equipamento, em março de 2003 iniciaram-se as medições. Os dados brutos coletados foram convertidos em planilhas do software “Origin (.OPJ)”, sendo classificados em vários arquivos com os dados diários de cada período coletado.

Os gráficos apresentam médias diárias das variáveis ambientais, nas 3 células-teste que foram monitoradas.

Foram elaborados gráficos considerando comparações entre:

- a temperatura do ar externo e temperaturas do ar interno nas células-teste;
- as temperaturas superficiais e radiante em cada período estudado;
- a temperatura do ar externo e as temperaturas superficiais e radiante;
- a umidade relativa do ar externo e do ar interno.

5.8. Análise dos dados

Os dados coletados foram avaliados em etapas:

- 1- dados brutos sem tratamento: média dos dados diários em cada período;
- 2- seleção de dados: foram descartados os dias com ocorrência de chuva;
- 3- gráficos das temperaturas internas (temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo), externas (temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo) e superficiais (temperatura da telha, temperatura sobre a face superior da laje e a temperatura da face inferior da laje);
- 4- análise comparativa do comportamento térmico do isolante de espuma poliuretana de mamona, considerando:

- os dados ambientais monitorados pela estação climatológica da FEIS/UNESP, em Ilha Solteira/SP;
- a célula-teste de referência e as demais células-teste, com os diferentes formas de colocação do isolante térmico sobre a laje;
- as células-teste e a estação climática (ou período) do ano monitorada;
- as células-teste entre si;
- a ventilação interna as células-teste, não foi considerada, pois em todos os períodos permaneceu em 0.1m/s, com variações irrelevantes.

5- estudo estatístico:

- determinação das médias dos dados coletados;
- análise da variância para os dados ensaiados;
- nível de confiança, para 5% de possibilidade de erros dos dados utilizados nesta pesquisa.

5.9. Elaboração e discussão dos gráficos e resultados

Após o tratamento estatístico dos dados, foram elaborados planilhas e gráficos comparativos no software “Origin”, os quais serviram como base para discussão dos resultados analisados.

CAPÍTULO 6 – Apresentação dos Resultados

6. RESULTADOS

As medições das diversas temperaturas, tomadas nos dias selecionados para a determinação da resposta térmica da espuma poliuretana de mamona, permitiram a elaboração de tabelas, para a apreciação dos dados coletados.

Para a análise do comportamento dos parâmetros intervenientes desta pesquisa, foram construídos gráficos relacionando tais parâmetros, para as diferentes células-teste, no decorrer de intervalos horários, com médias calculadas a cada 30 (trinta) minutos. Nas tabelas estão contidos tanto os valores de temperatura e umidade internas, como externas.

Estes gráficos demonstram que o comportamento térmico dos elementos construtivos, empregados nas três células-teste, está relacionado às condições de exposição ao tempo. Alguns gráficos analisados encontram-se no anexo IV.

Considerando que a condição de exposição com sol é aquela que torna mais evidente as propriedades térmicas dos materiais, por isto, nesta condição, foi feita a análise do comportamento das diferentes temperaturas, internas e externas das células-teste.

Nas análises feitas dos dados coletados, verificou-se que as temperaturas de inverno e verão tiveram valores aproximados. Observou-se que o ano de 2003 apresentou um comportamento atípico, em relação aos anos anteriores.

6.1. Período 1 – telha natural de fibrocimento

10 a 24 de março de 2003

Nesta época do ano em Ilha Solteira, observou-se grande exposição com sol, médio índice pluviométrico (final das chuvas), o que leva a uma alta incidência da radiação solar direta. Somando-se a outro agravante, que foi a baixa velocidade do vento. Neste período, a chuva ocorreu somente em dois dias. No entanto, a umidade relativa do ar, tanto à externa, como a interna, apresentou-se elevada.

Para a compreensão das tabelas, adotou-se a seguinte simbologia:

Legenda:

Max – temperatura máxima do período

Min – temperatura mínima do período

h – hora em que ocorre a referida temperatura

6.1.1. Temperatura de bulbo seco (Ts), de globo (Tg) e de bulbo úmido (Th)

As diferentes temperaturas de bulbo seco, de globo e de bulbo úmido internas e externas, variaram respectivamente:

Tabela 6.1. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 1 (p1).

	T. INTERNA C°				T. EXTERNA C°	
	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
Ts ₁	33/ 16h	2	25/ 8h	1	32/ 14h	22/ 7h
Th ₁	29,5/ 16h	2	23/ 8h	1	24,5/ 12,30h	21/ 7h
Tg ₁	34/ 16h	2	24,5/ 8h	1	43/ 12,30h	22/ 7h

Observou-se que na casa 2, por não apresentar isolamento térmico, ocorreram as temperaturas máximas. As temperaturas mínimas, com exceção da de globo, ocorreram na casa 1, onde o isolante térmico encontra-se entre as telhas tipo “sandwich”.

Na tabela acima, o melhor desempenho térmico ocorreu na casa 1, apesar de existirem outros elementos construtivos que poderiam ser alterados e haveria uma melhora em seu comportamento térmico. Gráficos no anexo IV: A.1, A.2 e A.3.

6.1.2. Temperatura da telha (Tt), temperatura sobre a laje (TLs) e temperatura abaixo da laje (Tli)

Tabela 6.2. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 1 (p1).

	Max C°	Casa	Min C°	Casa
Tt ₁	44/ 12,30h	3	22/ 8h	2
TLs ₁	35/ 16h	2	24/ 8h	2
Tli ₁	33/ 16h	2	25/ 8h	2

A telha de fibrocimento possuía pequena espessura e elevado valor de densidade, portanto com pouca resistência à transmissão de calor por condução, razão pela qual a laje apresentou alta temperatura. O fluxo de calor passou ao ambiente interior por convecção e radiação. Para tentar resolver a transmissão por convecção, basta aumentar a circulação de ar no ático. Já para a radiação, seu valor era considerável, devido à elevada emissividade da telha.

Devido à baixa capacidade de reter o calor absorvido, verificou-se grande susceptibilidade à instabilidade do tempo, permitindo rápido ganho de calor na presença da radiação solar.

Considerando os valores da temperatura sobre a laje (TLs), o pior desempenho térmico persistiu com a casa 2, onde o isolante térmico era inexistente. O mesmo foi observado na temperatura abaixo da laje (Tli), como pode ser verificado nos Gráficos no anexo IV A.4, A.5 e A.6.

Pode-se ressaltar que ao se comparar as temperaturas da telha, sobre a laje e abaixo da laje, com a temperatura de bulbo seco interna, o melhor comportamento registrou-se na casa 3, onde o isolante térmico está localizado diretamente sobre a laje. Todavia, a casa 1, com seu isolante entre as telhas, apresentou um pequeno atraso térmico na passagem do fluxo de calor, para o interior do ambiente. Motivando assim, que sua temperatura de bulbo seco, permaneça superior a da própria telha e a da laje, em períodos mais tarde do dia, se relacionados com as

outras casas do experimento. Em alguns horários, entre 10 e 18 horas, as temperaturas internas alcançaram valores maiores do que a dos elementos construtivos.

6.1.3. Umidade relativa do ar

Tabela 6.3. Umidade Relativa no período 1 (p1)

UR ₁ %	U. R. INTERNA				U. R. EXTERNA	
	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
	90/ 8h	2	60/ 17h	1	93,5/ 8h	50/ 15h

Quanto à umidade relativa do ar, a casa 2, apresentou valores sempre elevados. Como a velocidade do ar interno apresentou-se sempre baixa, em torno de 0,1m/s, houve dificuldade na retirada do calor por evaporação do ambiente interno. Em condições normais, 25% da energia térmica gerada pelo ser humano é eliminada por evaporação. Deste total, aproximadamente 10%, se perde por meio da respiração e 15% através da pele por transpiração não perceptível (RIVERO, 1986). Deste modo, evidencia-se a importância do processo de eliminação do calor por evaporação, através do favorecimento de uma ventilação interna adequada para a devida retirada do calor. Em relação à umidade, os melhores desempenhos foram demonstrados com a casa 1 e a casa 3. Gráficos no anexo IV: A.7, A.8, A.9, A.10, A.11.

6.2. Período 2 – telha pintada de branco 15 a 29 de abril de 2003

Apesar deste período encontrar-se no outono, as temperaturas não se encontravam amenas. Ocorreram três (3) dias de chuva e, a incidência de radiação solar direta foi elevada. A presença de circulação do ar no local apresentava-se baixa. E a umidade relativa estava ligeiramente mais baixa, do que no período anterior (p1).

6.2.1. Temperatura de bulbo seca (Ts), de globo (Tg) e de bulbo úmido (Th)

Tabela 6.4. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 2 (p2).

	T. INTERNA C°				T. EXTERNA C°	
	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
Ts ₂	35/ 18h	2 e 3	23,5/ 7h	2	33/ 16h	21,5/ 7h
Th ₂	27,5/ 18h	2	20,5/ 7h	1	23,5/ 16h	19,5/ 7h
Tg ₂	34/ 18h	2 e 3	23,5/ 7h	2	42/ 17h	20/ 7h

A cor branca é melhor refletora das ondas visíveis e curtas, seu coeficiente de absorção à radiação solar é baixo. Porém, apesar da telha estar pintada de branco, a redução das temperaturas internas foi ligeiramente menor, do que no período 1 (p1). Isto ocorreu devido às pequenas dimensões do ambiente interno da célula-teste, do ático pouco ventilado, do pé direito baixo e das paredes não apresentarem nenhum tipo de revestimento interno e externo. Durante todo o dia, além da cobertura receber elevada carga térmica por radiação, tinha-se duas paredes insoladas: pela manhã: eram as paredes voltadas para o sentido leste e norte e, pela tarde: eram as oeste e sul.

As temperaturas máximas estavam maiores tanto na casa 2, como na casa 3. Com exceção da temperatura bulbo úmido da casa 1, as temperaturas mínimas ocorreram na casa 2. Analisando os gráficos quanto as temperaturas internas, observou-se o melhor desempenho térmico na casa 3. Gráficos no anexo IV. A.18, A.19 e A.20.

6.2.2. Temperatura da telha (Tt), temperatura sobre a laje (TLs) e temperatura abaixo da laje (Tli)

Tabela 6.5. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 2 (p2).

	Max C°	Casa	Min C°	Casa
Tt ₂	34,5/ 12,30h	2	20,5/ 7,30h	2
TLs ₂	31/ 16h	2	22,5/ 8h	2
Tli ₂	32/ 16h	2	24/ 8h	2

O valor máximo da temperatura da telha ocorreu na casa 2, pois não possuía isolamento térmico. Após a incidência dos raios solares em um determinado tempo e, também devido à baixa resistência térmica do fibrocimento, a telha permitiu a passagem do fluxo de calor por radiação, com facilidade para o ambiente interno, justificando os acréscimos da temperatura da telha na casa 2.

Depois de determinado período de tempo, o calor da telha, passa através da laje, para o ambiente interno. O incremento da circulação do ar entre a telha e a laje, iria acelerar a retirada do ar quente do ático. Na face externa da telha, ao reduzir a taxa de transferência de calor devido à perda para o exterior por convecção, haveria diminuição da transferência de calor para a face interna da telha, por convecção e radiação, como também para o interior.

O comportamento térmico desfavorável ocorreu na casa 2, onde o aquecimento dos elementos construtivos contribuiu para o aquecimento das temperaturas internas. Gráficos no anexo IV. A.21, A.22 e A.23.

6.2.3. Umidade relativa do ar

Tabela 6.6. Umidade relativa do período 2 (p2).

U. R. INTERNA				U. R. EXTERNA		
UR ₂ %	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
	85/ 8h	1	33,5/ 17h	3	87,5/ 8h	43,5/ 14,30h

Neste período 2, apesar de apresentar-se como quente, a umidade relativa está mais baixa do que no período 1. A casa 1 apresenta o valor máximo de umidade relativa e entre as mínimas, a casa 2, possui o menor valor entre as mínimas 57,5 %.

A diferença de horários entre a mínima interna (17h) e a externa (14:30 horas) explicou-se através da temperatura de bulbo seco interna máxima, que ocorreu às 18 horas. Gráficos no anexo IV A.24, A.25, A.26, A.27 e A.28.

6.3. Período 3 – telha pintada de branco 16 a 30 de julho de 2003

Este período caracterizou-se pela estação de inverno, onde os raios solares apesar de intensos, estão mais altos e mais inclinados, devido à posição do sol. A velocidade do ar externo está mais elevada, do que no período anterior (p2). Assim, a preocupação no solstício de inverno era permitir a entrada da radiação pela manhã e, proteger contra o excesso de ventilação. Todavia, sem impedir a circulação de ar higiênica, no ambiente interno. Não ocorreram dias com chuva neste período.

6.3.1. Temperatura de bulbo seco (Ts), de globo (Tg) e de bulbo úmido (Th)

Tabela 6.7. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 3 (p3).

	T. INTERNA C°			T. EXTERNA C°		
	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
Ts ₃	33/ 17h	2	20/ 9h	1	32/ 14,30h	18/ 7h
Th ₃	22,5/ 17h	2	16/ 8h	1	19,5/ 16h	15/ 7h
Tg ₃	32/ 17h	3 e 2	20/ 9h	2	40/ 16h	17/ 7h

Neste período houve uma ligeira redução das temperaturas, em relação ao período anterior (p2). Porém, as temperaturas continuam altas, caracterizando-se por um inverno atípico. A amplitude térmica também se apresenta maior ($Temp_{Max} - Temp_{min}$), o que identificou um período mais seco.

O desempenho térmico na casa 2 apresentou-se mais desfavorável neste período, com as temperaturas máximas altas e temperaturas mínimas baixas, necessitando de ligeira proteção no inverno. Entretanto, esta proteção deve ser controlada, pois o outono e o inverno nesta região, caracterizam-se por curtos períodos de tempo, aproximadamente de um a dois meses. A melhor situação de conforto térmico está na casa 1. Gráficos no anexo IV. A.35, A.36, e A.37.

6.3.2. Temperatura da telha (Tt), temperatura sobre a laje (TLs) e temperatura abaixo da laje (Tli)

Tabela 6.8. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 3 (p3).

	Max C°	Casa	Min C°	Casa
Tt ₃	36/ 14h	3	15/ 7h	3
TLs ₃	30/ 16h	2	19/ 8h	2
Tli ₃	32/ 16h	2	20/ 8h	2

Apesar da temperatura máxima da telha (Tt) chegar aos 36 C°, a temperatura máxima abaixo da laje (Tli), apresentou-se 4 C° graus inferior à telha.

As temperaturas internas resultaram da baixa circulação do ar interno (0,1 m/s) e, do ganho térmico através das paredes e pisos: interno e externo. Nas casas, as quais possuíam o isolante térmico (1 e 3), os picos máximos e mínimos de temperatura sofreram atraso e amortecimento térmico na transmissão de calor, em relação a casa 2. Gráficos no anexo IV. A.38, A.39 e A.40.

6.3.3. Umidade relativa do ar

Tabela 6.9. Umidade relativa no período 3 (p₃).

UR ₃ %	U. R. INTERNA			U. R. EXTERNA		
	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
	70/ 9h	2	30/ 17h	3	72,5/ 7h	27,5/ 14h

No período 3 (p₃), a umidade relativa do ar, está mais baixa do que no período anterior (p₂). A casa 2, em relação a situação de conforto térmico, é a desfavorável, pois possuía a umidade máxima em 70% e, apresentou a mais alta umidade relativa entre as mínimas 40%. Enquanto que, a casa 1 – 35% e a casa 3 – 30%, todas as umidades mínimas ocorreram, em torno, de 17 horas. A partir deste horário, a umidade começava a aumentar.

As temperaturas máximas, no interior das células-teste, ocorreram simultaneamente com as umidades relativas mínimas. Gráficos no anexo IV. A.41, A.42, A.43, A.44 e A.45.

6.4. Período 4 – telha natural de fibrocimento

14 a 28 de agosto de 2003

Este período ainda encontrava-se na estação de inverno, onde os raios solares apesar de intensos, estavam mais altos e mais inclinados, devido à posição do sol. A velocidade do ar externo continuou bem mais elevada, do que no período anterior. Assim, a preocupação no inverno ainda necessitava permitir a entrada da radiação pela manhã e, proteger contra o excesso de ventilação. A velocidade dos ventos em agosto encontrava-se bem maior do que no resto do ano. Não houve dias com chuva neste período.

6.4.1. Temperatura de bulbo seco (Ts), de globo (Tg) e de bulbo úmido (Th)

Tabela 6.10. Temperaturas máximas e mínimas ocorridas no período 4 (p4).

	T. INTERNA C°				T. EXTERNA C°	
	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
Ts ₄	30,15/ 15:3h	3	16,95/ 8h	2	29,99/ 15h	15,26/ 7,3h
Th ₄	20,78/ 15:3h	2	13,73/ 8h	1	17,03/ 14,3h	12,28/ 7h
Tg ₄	30,22/ 17h	3	17,09/ 8h	2	38,01/ 14,3h	13,82/ 7,3h

Neste período houve boa redução das temperaturas, em relação ao período anterior (p3). Entretanto, as temperaturas continuavam elevadas, caracterizando-se por ser um inverno atípico. A amplitude térmica também se apresentou maior ($Temp_{Max} - Temp_{min}$), o que identificou um período mais seco.

O desempenho térmico na casa 2 demonstrou-se mais desfavorável neste período, com as temperaturas máximas altas e temperaturas mínimas baixas, necessitando de ligeira proteção no inverno. Todavia, esta proteção deveria ser controlada, pois o outono e o inverno nesta região, caracterizam-se por serem curtos, aproximadamente de um a dois meses. A melhor situação de conforto térmico está na casa 1.

6.4.2. Temperatura da telha (Tt), temperatura sobre a laje (TLs) e temperatura abaixo da laje (Tli)

Tabela 6.11. Temperaturas superficiais máximas e mínimas no período 4 (p4).

	Max C°	Casa	Min C°	Casa
Tt ₄	41,12/ 13,3h	3	12,91/ 7,3h	3
TL ₄	29,23/ 16h	2	16,3/ 8h	2
Tli ₄	29,38/ 18h	3	17,45/ 8h	2

Apesar de que a temperatura máxima da telha (Tt) estava em 41 C°, a temperatura máxima abaixo da laje (Tli), apresentou-se, aproximadamente, 11C° graus inferiores a da telha.

As temperaturas internas resultaram da baixa circulação do ar interno (0,1 m/s) e, do ganho térmico através das paredes e pisos interno e externo. Nas casas, as quais possuíam o isolante térmico (1 e 3), os picos máximos e mínimos de temperatura sofreram retardamento na transmissão de calor, em relação a casa 2.

6.4.3. Umidade relativa do ar

Tabela 6.12. Umidade relativa no período 4 (p4).

U. R. INTERNA					U. R. EXTERNA	
UR ₄ %	Max	Casa	Min	Casa	Max	Min
	69,6/ 8h	2	36,6/ 17,3h	3	67/ 6h	28,86/ 15h

No período 4 (p4), a umidade relativa do ar, estava mais baixa do que no período anterior (p3). A casa 2, em relação à situação de conforto térmico, estava bem desfavorável, pois possuía a umidade máxima em 69,6% e, apresentou a maior umidade relativa entre as mínimas 43%. Enquanto que, a casa 1 – 40% e a casa 3 – 36%, todas as umidades mínimas ocorreram próximo às 17 horas. A partir deste horário, a umidade começava a aumentar.

As temperaturas máximas, no interior das células-teste, ocorreram simultaneamente com as umidades relativas mínimas. Gráficos no anexo IV A.6.41, A.52, A.53, A. 54 e A.55, A.56, A.57, A.58.

6.5. Influência das temperaturas internas nas temperaturas superficiais dos elementos construtivos

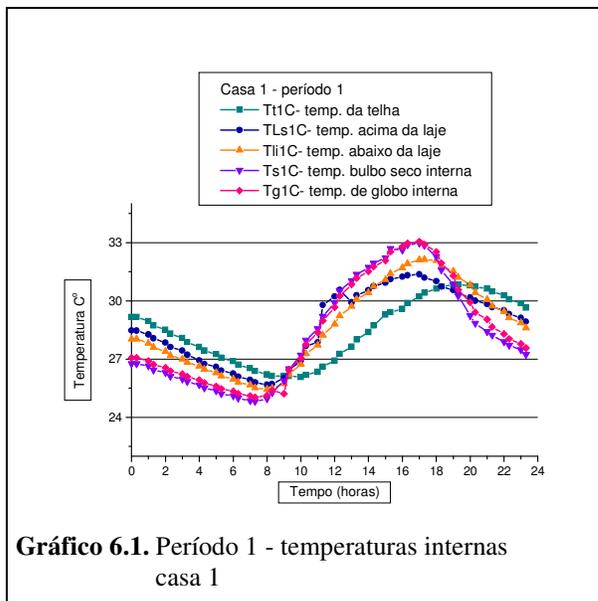


Gráfico 6.1. Período 1 - temperaturas internas casa 1

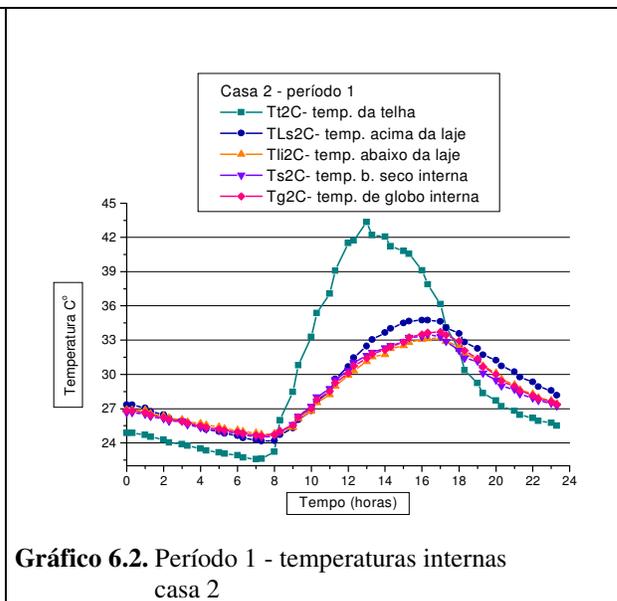


Gráfico 6.2. Período 1 - temperaturas internas casa 2

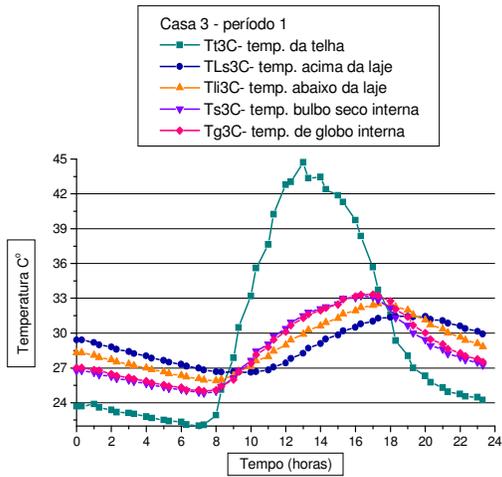


Gráfico 6.3. Período 1 – temperaturas internas casa 3

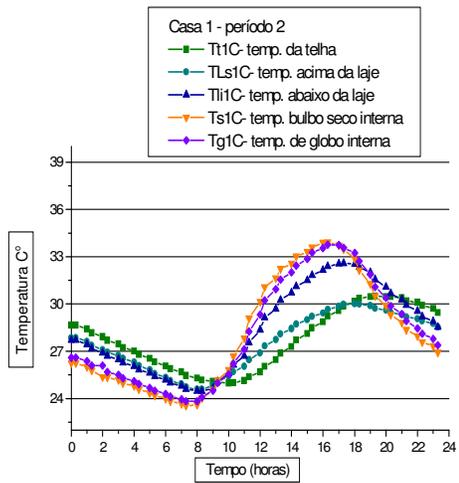


Gráfico 6.4. Período 2 – temperaturas internas casa 1

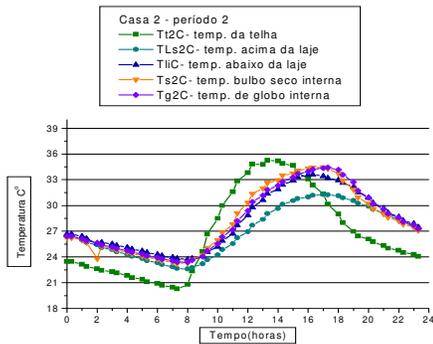


Gráfico 6.5. Período 2 – temperaturas internas casa 2

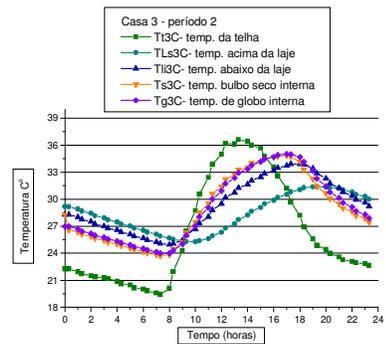


Gráfico 6.6. Período 2 – temperaturas internas casa 3

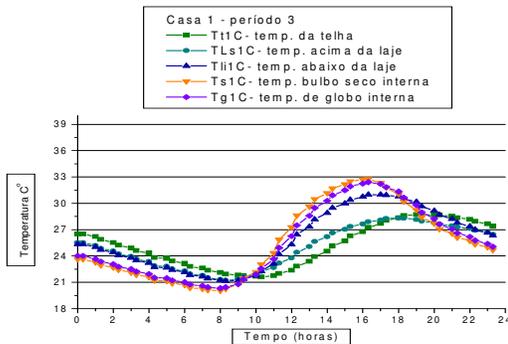


Gráfico 6.7. Período 3 – temperaturas internas casa 1

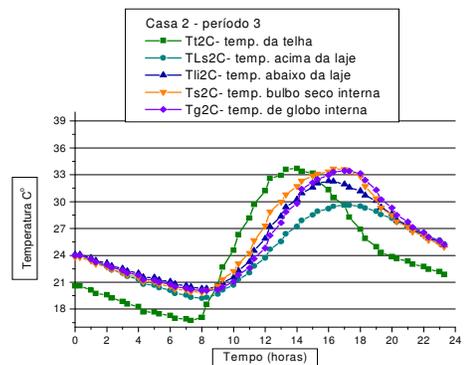


Gráfico 6.8. Período 3 – temperaturas internas casa 2

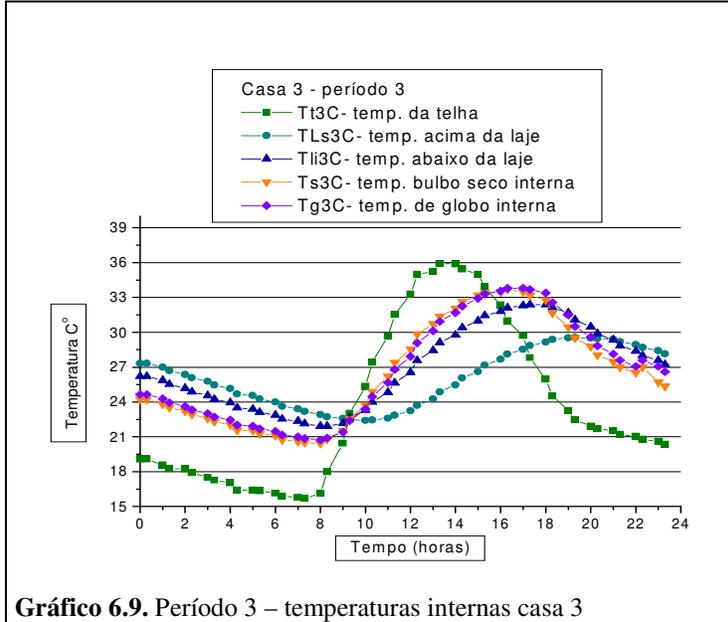


Gráfico 6.9. Período 3 – temperaturas internas casa 3

A temperatura dos elementos construtivos foi influenciada pelas temperaturas internas, principalmente a temperatura de bulbo seco e a de globo. Observou-se o movimento de dois fluxos opostos de calor: um do exterior para a cobertura, outro do interior da edificação em direção à parte inferior da laje.

O fluxo de calor interno resultou da inter-relação entre as temperaturas superficiais dos elementos construtivos e a velocidade do ar interno, que nesta situação, é baixa.

Verificando-se o desempenho das três células-teste, nos diferentes meses do ano, a casa 2 (sem isolante), foi a que apresentou o pior comportamento térmico nos períodos estudados. A temperatura abaixo da laje apresentou-se mais elevada, do que a sobre a laje (logo abaixo da cobertura), justificando-se pela interação entre as temperaturas de bulbo seco e as de globo. Verificar os gráficos 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9.

CAPÍTULO 7

7. DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados dos gráficos das médias dos dados coletados em cada período, por estação climática.

VERÃO: - telha de cor natural - 10 a 24 de março de 2003
 - telha pintada de branco - 15 a 29 de abril de 2003

INVERNO: - telha pintada de branco – 16 a 30 de julho de 2003
 - telha de cor natural – 14 a 28 de agosto de 2003

Nos intervalos definidos acima, para que algumas médias dos valores horários dos dias monitorados pudessem ser utilizadas como parâmetro de comparação e comparação, algumas medidas atípicas foram desprezadas, no caso de algum evento isolado refletisse alteração do padrão da temperatura do ar externo ou interno.

Na análise estatística verificou-se que não houve diferença significativa entre os parâmetros ambientais dos dias monitorados, apontando apenas para alguns desvios ou dispersão de dados, relacionados com situações de queda brusca de temperatura externa por alteração das condições climáticas (chuva ou céu encoberto). Em relação as temperaturas dos ambientes internos, uma pequena alteração nos valores coletados observa-se nas ocasiões em que as portas das células-teste eram abertas, para conferência da água destilada, referente a temperatura de bulbo úmido. Geralmente, próximo às 18 horas.

Como foi coletada uma quantidade expressiva de dados, para comparar a relação entre todos os fatores envolvidos, optou-se por desprezar os horários atípicos e eventos isolados, como os dias com presença de chuva, para reduzir o desvio padrão.

Apresenta-se a seguir os resultados e gráficos obtidos com as temperaturas médias do ar (externa e interna das células-teste) e, as temperaturas superficiais, para comparação dos períodos monitorados no verão e inverno, com as mesmas orientações para todas as células-teste.

Variáveis ambientais – verão: período 1 – 10 a 24 de março de 2003- T. natural

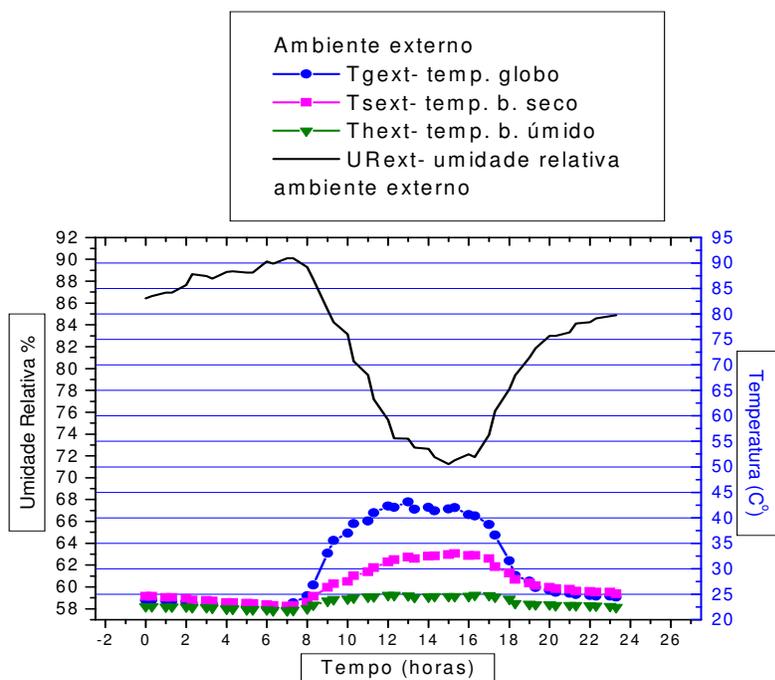


Fig. 7.1. Gráfico de temperatura e umidade relativa externa referente ao período 1.

Variáveis ambientais – verão: período 2 – 15 a 29 de abril de 2003- T. branca

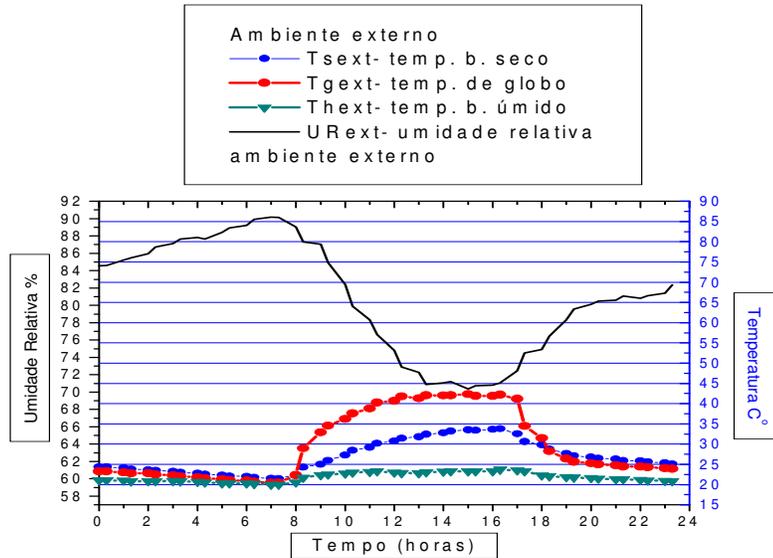


Fig. 7.2. Gráfico de temperatura e umidade relativa externa referente ao período 2.

Variáveis ambientais – inverno: período 3 – 16 a 30 de julho de 2003- T. branca

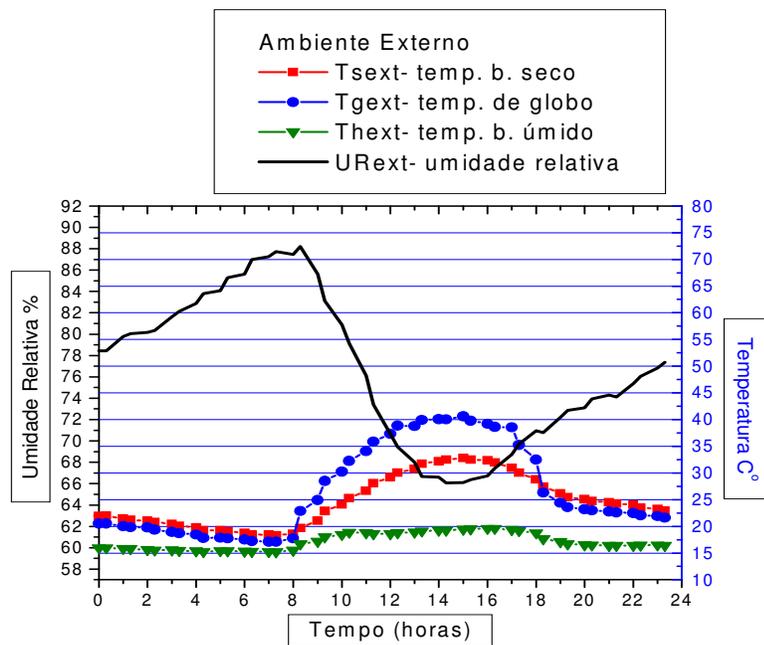


Fig. 7.3. Gráfico de temperatura e umidade relativa externa referente ao período 3

Variáveis ambientais - inverno: 14 a 28 de agosto de 2003. T. natural

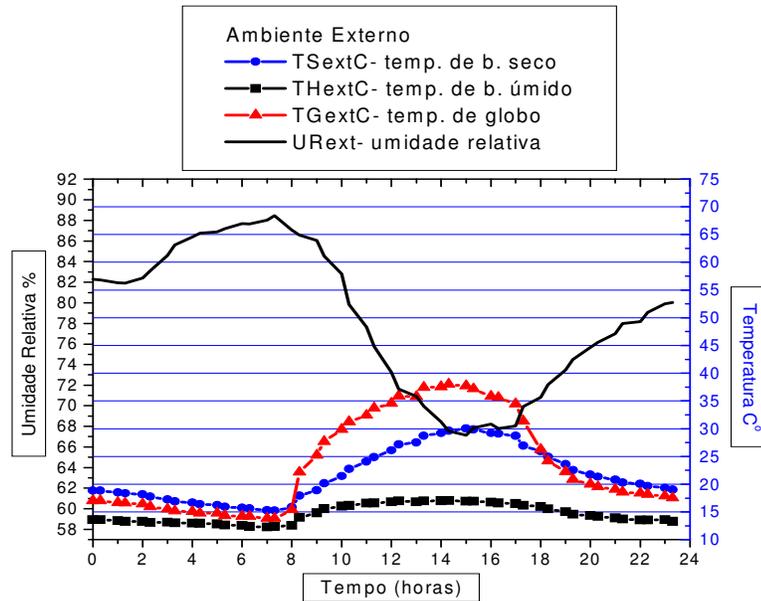


Fig. 7.4. Gráfico de temperatura e umidade relativa externa referente ao período 4

7.1. Temperatura Interna

VERÃO - telha de cor natural - 10 a 24 de março de 2003

Período 1 – p₁

Esse período apresentou as maiores variações nos valores das temperaturas do ar externo, caracterizado por uma variabilidade nas condições ambientais, devido à presença de dois dias de chuva.

Às 9:30 horas, o valor da temperatura do ar externo ultrapassou a do ar interno das células-teste (figura 7.5). A partir das 11:30 horas, as temperaturas internas começaram a elevar-se, permanecendo assim o resto do dia. Entre 10:30 e 12:00 horas, somente a casa 1, permaneceu com sua temperatura menor do que a externa.

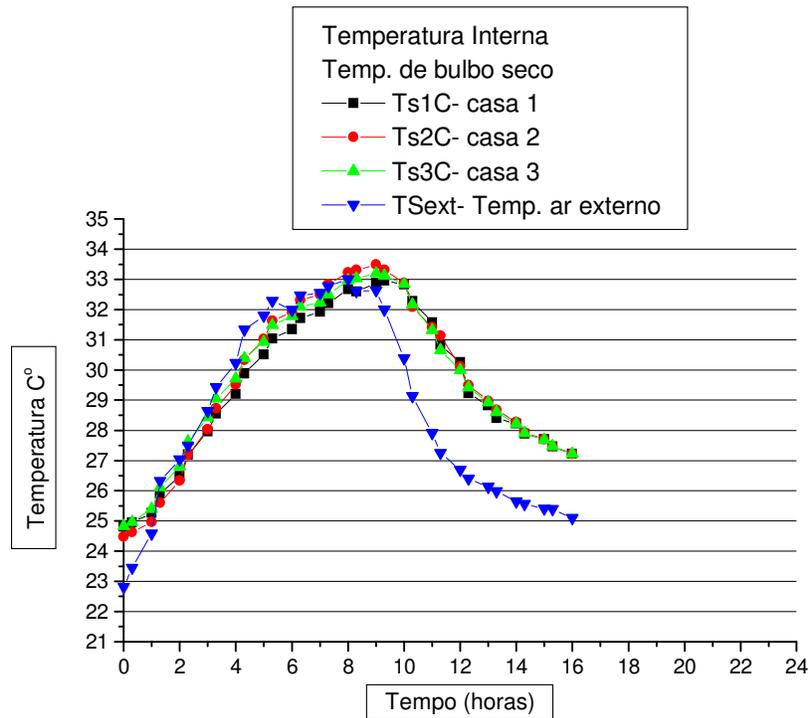


Fig. 7.5. Gráfico da variação das temperaturas internas e externas no período de 10 a 24 de março de 2003. Telha de cor natural.

O atraso térmico sofreu variação de no mínimo de 1 hora e no máximo de 2 horas, O valor máximo da temperatura externa foi de $32,90\text{ C}^\circ$ às 16:00 horas, enquanto que na célula-teste de referência (casa 2) foi de $33,48\text{ C}^\circ$, às 17:00 horas. Portanto constatou-se que o atraso térmico nesta situação foi em torno de 1 e 1,5 horas.

Comparando-se as temperaturas internas das casas 1 e 3 com a casa 2 (referência), verificou-se que o atraso térmico em relação a cobertura é muito pequeno, devido a baixa espessura da telha. Na casa 1, o atraso térmico variou de 1 hora e em relação a casa 3, 30 minutos.

Analisando-se a amplitude térmica, enquanto a temperatura do ar externo possuía a diferença de valor $10,19\text{ C}^\circ$, a casa 2 (referência) apresentou o resultado de 9 C° . Em relação a casa 1, a diferença entre as temperaturas máximas, foi 7 C° e a casa 3, $7,98\text{ C}^\circ$.

Com relação a temperatura externa, a célula-teste que obteve melhor desempenho foi a casa 1, seguida da casa 3, respectivamente. O pior desempenho ficou com a casa 2, a célula-teste que não contava com nenhum tipo de proteção. Há a possibilidade, de que o material empregado e a dimensão das células-teste, sejam responsáveis pela ocorrência destes valores.

Em relação a temperatura ambiente (figura 7.6.), aquela referente a sensação térmica, no período vespertino, a casa 2 (referência) possui o atraso térmico de 4 horas em relação ao ambiente externo, pois a temperatura de globo externa máxima foi de 43,12 C° às 13:00 horas e, a mínima 22,23 C° às 7 horas. Para a casa 2 de referência a temperatura máxima foi de 33,70 às 17 horas e, a mínima 24,6 às 7,30 horas, respectivamente. O segundo atraso é de 30 minutos, no período da manhã. Observa-se que, a maior diferença térmica em relação ao ar externo e a casa 2 (célula-teste sem proteção), foi de 9,54 C°. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”) é a que apresenta o melhor comportamento térmico.

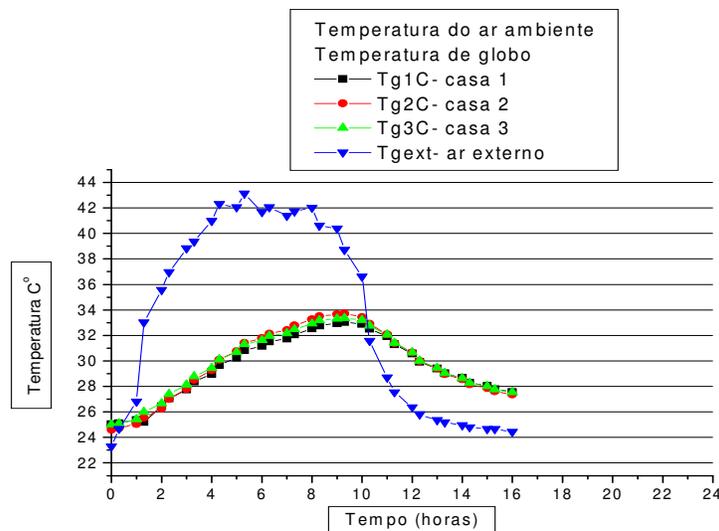


Fig. 7.6. Gráfico de comparação entre a amplitude térmica e atraso térmico entre a temperatura ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo).

VERÃO - telha pintada de branco - 15 a 29 de abril de 2003

Período 2 – p₂

Apesar deste período encontrar-se na estação de outono, as temperaturas ainda estão médias e altas, por isso considerou-se como se fosse a estação do verão.

Esse período não apresentou grandes variações nos valores das temperaturas do ar externo, apesar da presença de três dias com chuva.

De 8:30 às 10 horas, a temperatura do ar externo ultrapassou a do ar no interior das células-teste (figura 7.7). A partir das 11:30 horas, as temperaturas internas começam a elevar-se, permanecendo assim o resto do dia. Entre 9:30 e 11:00 horas, somente a casa 1, permanece com sua temperatura menor do que a externa.

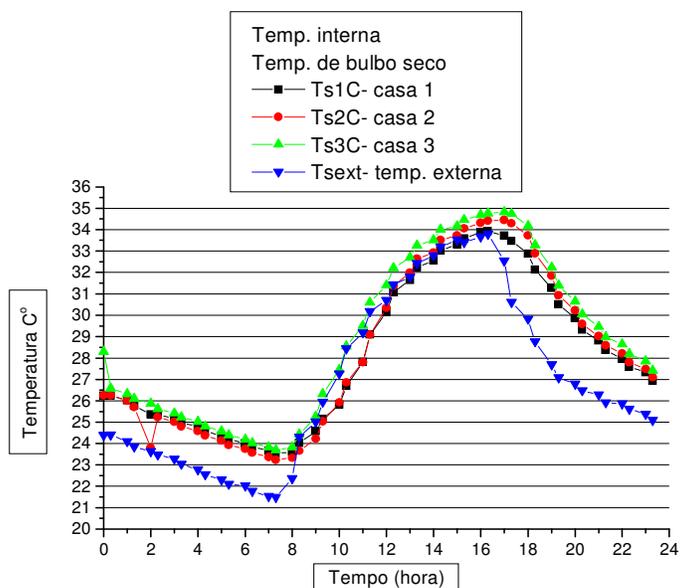


Fig. 7.7. Gráfico da variação das temperaturas internas e externas no período de 15 a 29 de abril de 2003. Telha de cor branca.

Neste período o atraso térmico mostrou-se pouco significativo entre a temperatura externa máxima e as internas das demais casas. Permaneceu em torno de 30 minutos. A casa 2

(referência) apresentou a temperatura máxima 34,44 C° às 17 horas e temperatura mínima 23,24 C° às 7:30 horas. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”), conservou mais calor interno neste período, o que fez o ambiente demonstrar-se mais abafado. Sua temperatura máxima foi 33,92 C° às 17 horas e a mínima 23,53 C° às 7:30 horas.

Analisando-se a amplitude térmica no período 2, em relação as três (3) casas, sofreu pouca variação. Devido ao baixo movimento do ar, dificultou a retirada do calor interno.

Tabela 7.1. Amplitude térmica C° entre as temperaturas das casas 1, 2, 3 e a externa.

Amplitude Térmica (AT C°) – período 2				
Temperatura de Bulbo Seco C°				
	Casa 1- hora	Casa 2 (referen.)	Casa 3 - hora	Externa - hora
Ts max	33,92 – 16:30 h	34,44 – 16:30 h	34,76 – 17 h	33,79 – 16:30 h
Ts min	23,53 – 7:30 h	23,24 – 7:30 h	23,70 – 7:30 h	21,48 – 7:30 h
AT	10,34 C°	11,20 C°	11,06 C°	12,31 C°
AText	0,13 C°	0,65 C°	0,97 C°	

Legenda:

Ts Max – temp. de bulbo seco máxima

Ts min – temp. de bulbo seco mínima

AT – amplitude térmica (Tmax-Tmin)

AText – amplitude térmica em relação à temperatura da célula-teste com a externa

(Ts₁-T_sext)

Comparando-se a casa 1 e a casa 3 com a casa 2 (referência), observou-se que tanto o atraso térmico, como a amplitude térmica são irrelevantes, evidenciando a pouca perda de calor do ambiente interno para o externo, mesmo no período noturno. Todos os picos de temperatura interna apresentaram-se maiores, do que a temperatura máxima externa.

No período vespertino, entre 12:00 e 19:00 horas, a célula-teste com melhor desempenho foi a casa 1. Para os demais horários, os menores valores de temperatura interna, ficaram com a casa 3 e a casa 2 (referência). Isto pode ser explicado através da inércia térmica, pois a subcobertura da casa 1 tem mais massa (inércia térmica) do que a casa 3.

Em relação a temperatura ambiente (temp. de globo - figura 7.8), responsável pela sensação térmica da pele, a casa 2 (referência), possui o atraso térmico em torno de 1,5 (uma) hora e meia, no período vespertino. No período matutino fica entre 30 minutos e 1,5 (uma) hora e meia. Neste período o comportamento térmico das células-teste se assemelha. Apesar desta semelhança, o comportamento da casa 1, mostra-se mais homogêneo, ao longo do dia (tabela 7.2). A diferença entre a melhor (casa 1) e a pior proteção (referência) é de 2,14 C°.

Tabela 7.2. Amplitude térmica C° entre as temperaturas ambientes das casas 1, 2, 3 e a externa.

Amplitude Térmica (AT C°) – período 2				
Temperatura de Globo C°				
	Casa 1- hora	Casa 2 (referen.)	Casa 3 - hora	Externa - hora
Tg max	33,27 – 16:30 h	35,41 – 17:30 h	33,76 – 17 h	42,34 – 16:30 h
Tg min	23,82 – 7:30 h	23,40 – 8 h	23,70 – 7:30 h	20,44 – 7 h
AT	9,93 C°	12,01 C°	10,06 C°	21,90 C°
AText	9,45 C°	6,93 C°	8,58 C°	

Legenda:

Tg Max – temp. de globo máxima

Tg min – temp. de globo mínima

AT – amplitude térmica (Tmax-Tmin)

AText – amplitude térmica em relação à temperatura da célula-teste com a externa (Tg₁-Tg_{ext})

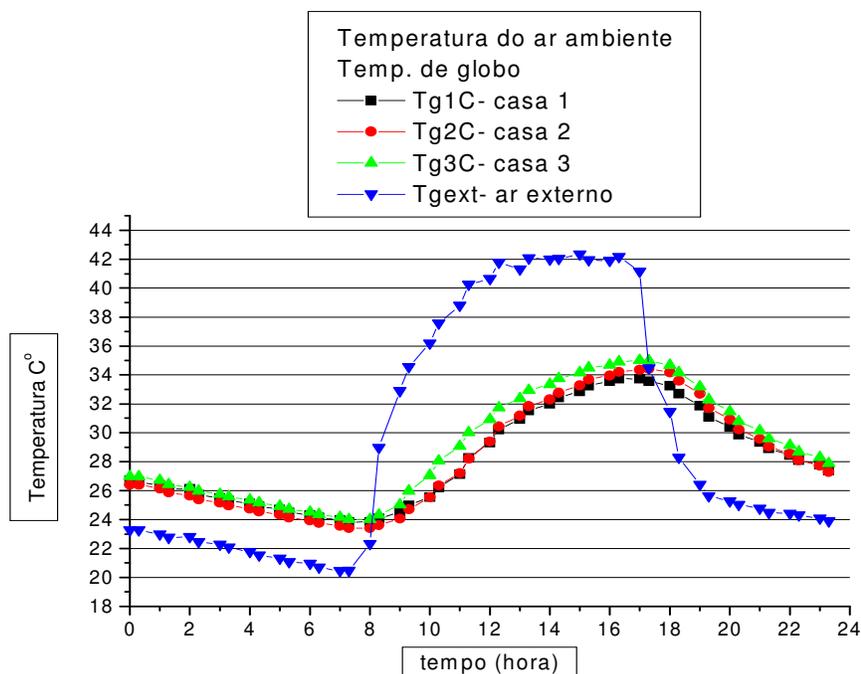


Fig. 7.8. Gráfico de comparação entre a amplitude térmica e atraso térmico entre a temperatura ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo).

INVERNO - telha pintada de branco – 16 a 30 de julho de 2003

Período p₃

Esse período apresentou variações nos valores das temperaturas do ar externo. Não houve presença de dias com chuva, neste período. A velocidade do ar externo apresenta maior velocidade e há a redução considerável de umidade relativa. O que facilita a retirada do calor da cobertura, através da perda térmica por convecção.

Entre 9 e 11 horas, a temperatura do ar externo ultrapassou a do ar no interior das células-teste (figura 7.9). A partir das 11:30 horas, as temperaturas internas começam a elevar-se, permanecendo assim o resto do dia. Entre 10 e 13:30 horas, somente a casa 1, permaneceu com sua temperatura menor do que a externa.

No inverno, apesar de pequenas variações, houve atraso térmico. Os picos de temperaturas, ocorreram com uma diferença de 30 minutos, em relação ao verão.

A casa 2 (referência) teve seu pico de temperatura em 34 C°. Temperatura superior aos das outras células-teste. Esta casa, apesar da maior temperatura, apresentou perda de calor mais rápido para o meio externo. Isto se deve ao atraso térmico do material da telha, sua pequena espessura e a ausência de isolamento térmico (tabela 7.3).

Tabela 7.3. Amplitude térmica C° entre as temperaturas das casas 1, 2, 3 e a externa.

Amplitude Térmica (AT C°) – período 3				
Temperatura de bulbo seco C°				
	Casa 1- hora	Casa 2 (refer.)	Casa 3 - hora	Externa - hora
Ts max	32,79 – 15 h	33,36 – 16 h	33,69 – 17 h	32,79 – 15 h
Ts min	18,34 – 8 h	20,03 – 8 h	20,40 – 8 h	18,34 – 7:30 h
AT	14,45 C°	13,33 C°	13,29 C°	14,45 C°
AText	0 C°	0,56 C°	1,11 C°	

Legenda:

Ts Max – temp. de bulbo seco máxima

Ts min – temp. de bulbo seco mínima

AT – amplitude térmica (Tmax-Tmin)

AText – amplitude térmica em relação à temperatura da célula-teste com a externa

(Ts₁-T_sext)

Somente a temperatura da casa 2 (referência) foi maior que a externa. A diferença entre a máxima externa e a casa 1 foi de 0,57 C°. O atraso térmico em relação a referência ficou em torno de 1 (uma) hora.

Considerando que para o inverno, o ganho de calor seja necessário, ainda assim, a célula-teste que oferece a menor temperatura diária, registra sua máxima próxima ao que admite melhor proteção. As células-teste com isolamento térmico na subcobertura apresentaram melhor desempenho do que a de referência. Porém, a partir das 18 horas o comportamento térmico de todas as casas são semelhantes e apresentaram menores valores na casa 1 e, o pior desempenho ficou com a casa 2 (referência).

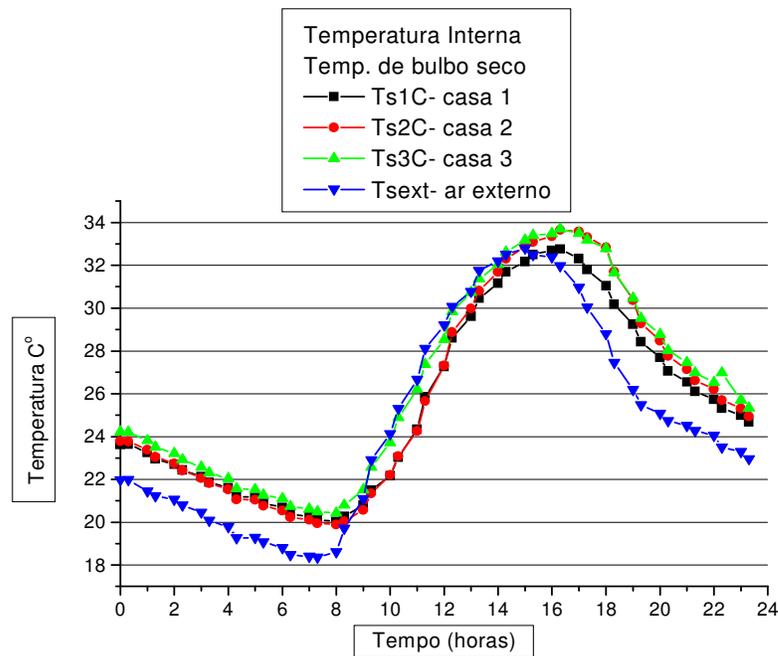


Fig. 7.9. Gráfico da variação das temperaturas internas e externas no período de 16 a 30 de julho de 2003. Telha de cor branca.

Em relação a temperatura ambiente (temp. de globo) (figura 7.10), responsável pela sensação térmica da pele, a casa 2 (referência), demonstrou o atraso térmico em torno de 1,5 (uma hora e meia), no período vespertino. No período matutino fica entre 30 minutos e 1 (uma) hora. Neste período o comportamento térmico das células-teste era similar ao anterior. Apesar da semelhança, o comportamento da casa 1, apresenta valores com poucas variações em sua temperatura, ao longo do dia (tabela 7.4.). A diferença entre a melhor (casa 1) e a pior proteção (referência) é de 2,14 C°. O atraso térmico na célula-teste de referência é de 1,5 horas (uma hora e meia).

Tabela 7.4. Amplitude térmica C° entre as temperaturas ambientes das casas 1, 2, 3 e a externa.

Amplitude Térmica (AT C°) – período 3				
Temperatura de Globo C°				
	Casa 1- hora	Casa 2 (referen.)	Casa 3 - hora	Externa - hora
Tg max	32,41 – 16:30 h	34,00 – 16:30 h	33,47 – 17 h	40,61 – 15 h
Tg min	20,32 – 8 h	23,40 – 8 h	20,72 – 8 h	17,12 – 7 h
AT	12,09 C°	10,06 C°	12,75 C°	23,41 C°
AText	8,20 C°	6,61 C°	7,16 C°	

Legenda:

Tg Max – temp. de globo máxima

Tg min – temp. de globo mínima

AT – amplitude térmica (Tmax-Tmin)

AText – amplitude térmica em relação à temperatura da célula-teste com a externa

(Tg₁-Tg_{ext})

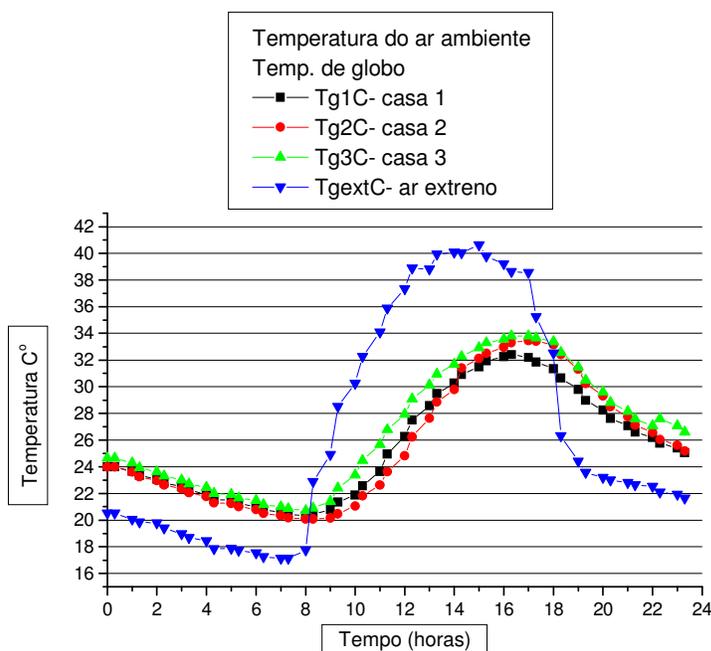


Fig. 7.10. Gráfico de comparação entre a amplitude térmica e atraso térmico entre a temperatura ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo).

INVERNO - telha de cor natural – 14 a 28 de agosto de 2003

Período 4 – P₄

Esse período apresentou consideráveis variações nos valores das temperaturas do ar externo. Não houve presença de dias com chuva, no período. A velocidade do ar externo apresentou mais elevada do que no período anterior ocasionando a redução de umidade relativa externa (máxima 68% às 7:30 horas e mínima 28% às 15:00 horas). O ar em movimento, facilitou a retirada do calor da cobertura, por convecção.

Entre 9:30 e 15:00 horas, a temperatura do ar externo ultrapassou a do ar no interno das células-teste (figura 7.11). A partir das 15:30 horas, as temperaturas internas começaram a elevar-se, permanecendo assim o resto do dia. Entre 15 e 16:30 horas, somente a casa 1, permaneceu com sua temperatura menor do que a do ar externo.

Nesse período houve atraso térmico. Os picos de temperaturas, ocorreram com uma diferença de 1 (uma) hora, em relação ao verão e, 30 minutos comparando-se com a temperatura externa.

A casa 3 teve seu pico de temperatura em 30,15 C° Temperatura superior aos das outras duas células-teste. Esta casa, apesar da maior temperatura, apresentou também maior dificuldade de perda de calor para o meio externo, em consequência ao atraso térmico do isolante térmico, colocado diretamente sobre a laje (tabela 7.5).

Tabela 7.5. Amplitude térmica C° entre as temperaturas das casas 1, 2, 3 e a externa.

Amplitude Térmica (AT C°) – período 4				
Temperatura de bulbo seco C°				
	Casa 1- hora	Casa 2 (refer.)	Casa 3 - hora	Externa - hora
Ts max	29,26 – 15:30 h	29,96 – 15:30 h	30,15 – 15:30 h	29,0 – 15 h
Ts min	17,54 – 8 h	17,0 – 7:30 h	20,40 – 8 h	15,26 – 7:30 h
AT	14,81 C°	12,96 C°	9,75 C°	13,74 C°
AText	0,26 C°	0,96 C°	1,15 C°	

Legenda:

Ts Max – temp. de bulbo seco máxima

Ts min – temp. de bulbo seco mínima

AT – amplitude térmica (Tmax-Tmin)

AText – amplitude térmica em relação à temperatura da célula-teste com a externa
(Ts₁-T_{sext})

As temperaturas de todas as casas foram ligeiramente maiores do que a externa. A diferença entre a máxima externa e a casa 1 foi de 0,26 C°. O atraso térmico em relação à referência ficou em torno de trinta minutos..

Considerando que para o inverno, o ganho de calor seja necessário, ainda assim, a célula-teste que oferece a menor temperatura diária (casa 1), registra sua máxima próxima a temperatura externa. A célula-teste com isolamento térmico, “tipo sandwich” na subcobertura (casa 1), apresentou melhor desempenho do que a de referência. Porém, a partir das 18 horas o comportamento térmico de todas as casas são semelhantes e apresentaram menores valores na casa 1 e, o pior desempenho ficou com a casa 3.

A partir das 18 horas, o atraso térmico entre a temperatura externa e a casa 3, está por volta de 2 (duas) horas. Encontra-se o mesmo valor para a casa 2 (referência). Porém em relação a casa 1, o atraso térmico é de 2,5 horas. A diferença de temperatura da referência e a pior proteção são de 0,25 C°.

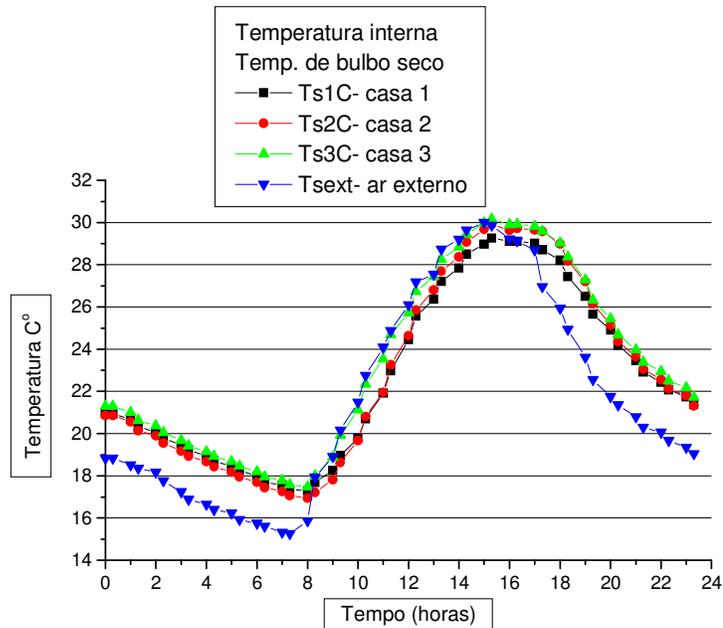


Fig. 7.11. Gráfico da variação das temperaturas internas e externas no período de 14 a 28 de agosto de 2003. Telha de cor natural.

Em relação a temperatura ambiente (temp. de globo - figura 7.12), responsável pela sensação térmica da pele, a casa 2 (referência), possui o atraso térmico em torno de 3,5 horas, no período vespertino. No período matutino fica entre 30 minutos. Neste período o comportamento térmico das células-teste se parece. Apesar desta semelhança, o comportamento da casa 1, apresenta valores com poucas variações em sua temperatura, ao longo do dia (tabela 7.6.). A diferença entre a melhor (casa 1) e a pior proteção (referência) é de $0,84\text{ C}^{\circ}$. O atraso térmico na célula-teste de referência é de 30 minutos. A amplitude térmica é maior do que no período de verão, permitindo melhores condições térmicas ao ambiente interno. Apresentando melhor índice de conforto neste período.

Tabela 7.6. Amplitude térmica C° entre as temperaturas ambientes das casas 1, 2, 3 e a externa.

Amplitude Térmica (AT C°) – período 4				
Temperatura de Globo C°				
	Casa 1- hora	Casa 2 (referen.)	Casa 3 - hora	Externa - hora
Tg max	29,05 – 16:30 h	29,89 – 17 h	30,22 – 17 h	40,61 – 15 h
Tg min	17,54 – 8 h	17 – 8 h	20,72 – 8 h	17,76 – 8 h
AT	11,51 C°	12,89 C°	9,50 C°	22,85 C°
A _{Text}	11,56 C°	10,72 C°	10,39 C°	

Legenda:

Tg Max – temp. de globo máxima

Tg min – temp. de globo mínima

AT – amplitude térmica (Tmax-Tmin)

A_{Text} – amplitude térmica em relação à temperatura da célula-teste com a externa

(Tg₁-Tg_{ext})

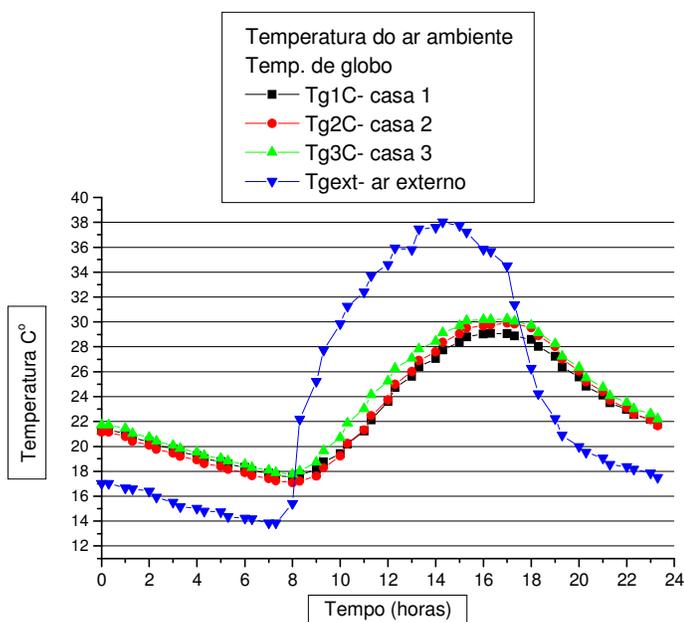


Fig. 7.12. Gráfico de comparação entre a amplitude térmica e atraso térmico entre a temperatura ambiente (sensação térmica) externa e interna (de globo).

7.2. Temperaturas Superficiais

Foram medidas as temperaturas superficiais da telha (Tt), em ambas as faces da laje – sobre a laje (TLs) e abaixo da laje (Tli). A incidência solar direta ocorre, além da telha, pela manhã nas faces norte/leste e durante a tarde nas faces oeste/sul. Sendo que no período de outono/inverno, só ocorrem em média entre 3 e 4 horas de sol na face sul.

VERÃO - - telha de cor natural - 10 a 24 de março de 2003

Período 1 – P₁

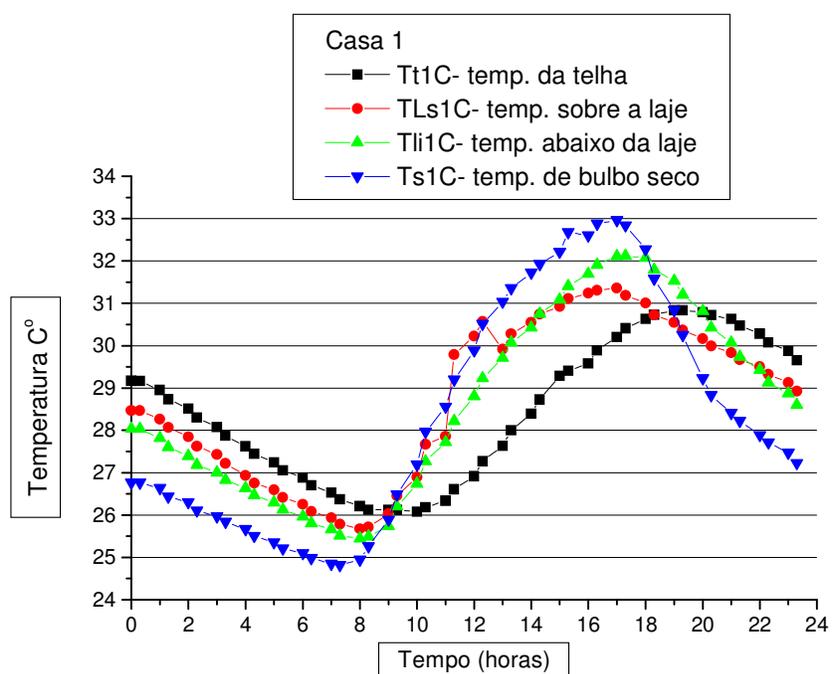


Fig. 7.13. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1, no período 1.

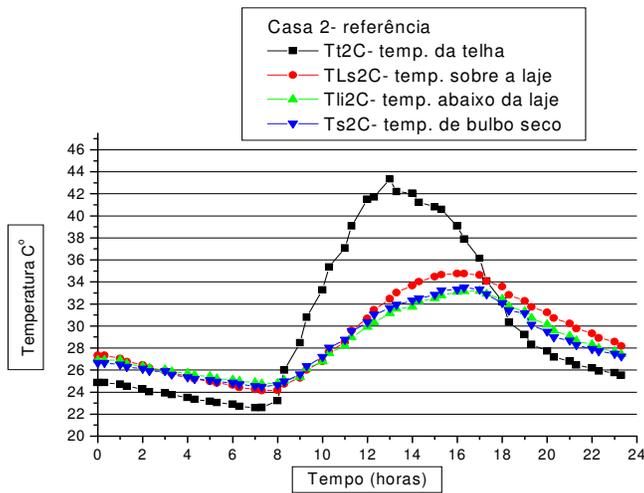


Fig. 7.14. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 1.

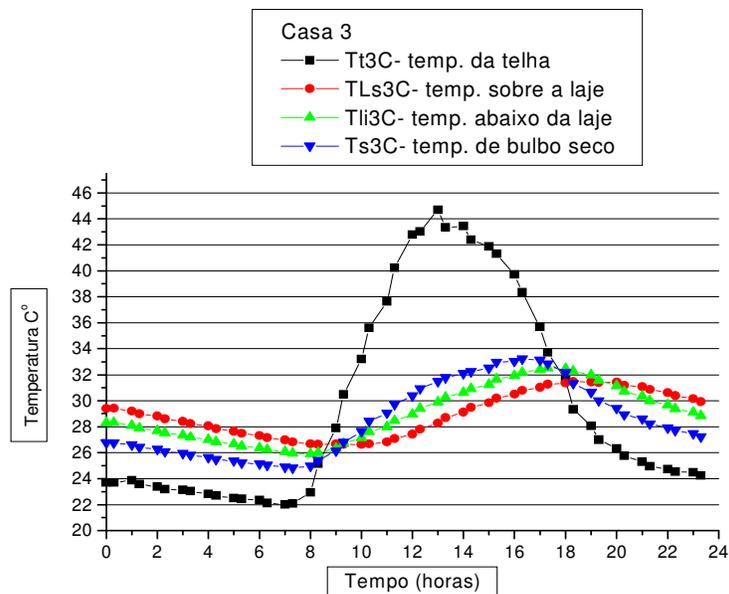


Fig. 7.15. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3, no período 1.

Analisando os gráficos das temperaturas superficiais das células-teste (casas), percebeu-se que ocorrem dois atrasos térmicos, um no período da manhã e outro no período da tarde.

No período matutino, a casa 1 apresentou o atraso térmico em torno de 2 horas. O valor mínimo da temperatura sobre a face superior da laje ($TL_{S1} = 25,67 \text{ C}^\circ$) ocorreu às 8 horas, enquanto que a temperatura superficial da telha ($Tt_1 = 26,07 \text{ C}^\circ$) observou-se às 10 horas. Isto se explica devido à retirada do calor através da ventilação externa, por convecção e o isolante estar posicionado entre as duas telhas (figura 7.13).

Na casa 2, a célula-teste de referência, o atraso térmico foi de 30 minutos, devido à pequena espessura da telha e por não possuir nenhum tipo de isolamento na subcobertura. A temperatura superficial da telha ($Tt_2 = 22,58 \text{ C}^\circ$) ocorreu às 7 horas, enquanto que a temperatura superficial da face inferior da laje ($Tli_2 = 24,14 \text{ C}^\circ$) deu-se às 7:30 horas (figura 7.14).

Na casa 3, o comportamento térmico foi semelhante ao da casa 2, porém os valores das temperaturas superficiais estavam mais baixos. A temperatura superficial da telha ($Tt_3 = 22,02 \text{ C}^\circ$) ocorreu às 7 horas e a temperatura superficial abaixo da laje ($Tli_3 = 24 \text{ C}^\circ$) às 8 horas (figura 7.15).

No período vespertino, o atraso variou entre 3 e 4 horas, dependendo da célula-teste analisada.

A casa 1 apresentou o valor máximo da temperatura superficial da telha ($Tt_1 = 30,83 \text{ C}^\circ$) às 19:30 horas, enquanto que o pico da temperatura superficial da face superior da laje ($TL_{S1} = 31,36 \text{ C}^\circ$) ocorreu às 17 horas, devido à natureza dos materiais componentes da cobertura (telha + ático + laje). A temperatura superficial máxima da face inferior da laje ($32,11 \text{ C}^\circ$) apresentou o atraso térmico de 30 minutos, enquanto o pico da temperatura de bulbo seco máxima interna a 1,10 metros de altura do piso ($Ts_1 = 32,96 \text{ C}^\circ$), ocorreu às 17 horas, tendo como ganho de carga térmica, não só o calor transmitido pela cobertura, como também o calor cedido pelas paredes (figura 7.13).

Constatou-se na casa 2 (referência), que a temperatura superficial máxima da telha ($Tt_2 = 43,34 \text{ C}^\circ$) foi às 13 horas, enquanto que o pico da temperatura superficial da face superior da laje ($TL_{S2} = 34,75 \text{ C}^\circ$) ocorreu às 15:30 horas e a temperatura superficial da face inferior da laje

($T_{li_2} = 33,20 \text{ C}^\circ$) às 17 horas, com um atraso térmico de 30 minutos entre as faces da laje. No entanto, a temperatura de bulbo seco máxima interna a 1,10 metros de altura do piso ($T_{s_2} = 33,48 \text{ C}^\circ$) ocorreu às 17 horas (figura 7.14).

A casa 3 apresentou a temperatura superficial máxima da telha ($T_{t_3} = 44,69 \text{ C}^\circ$) às 13 horas, enquanto que a temperatura superficial máxima da face superior da laje ($TL_{s_3} = 31,46 \text{ C}^\circ$) ocorreu 5 horas e trinta minutos mais tarde, às 18:30 horas. Porém, a temperatura superficial máxima da face inferior da laje ($T_{li_3} = 32,56 \text{ C}^\circ$) foi registrada às 17:30 horas. A temperatura de bulbo seco máxima interna a 1,10 metros de altura do piso ($T_{s_3} = 32,21 \text{ C}^\circ$), ocorreu às 16:30 horas, com a contribuição do calor cedido pelas paredes, que recebem radiação solar durante todo o dia, duas a duas (figura 7.15).

No período noturno, observa-se que somente a casa 1 possui as temperaturas superficiais menores do que a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 metros do piso. As demais apresentaram o processo inverso.

Para efeito de comparação dividiu-se o dia em três períodos:

- período matutino: de 6:30 às 11:30 horas;
- período vespertino: de 12 às 18:30 horas;
- período noturno, dividido em duas partes:
 1. de 19:00 às 23:30 horas ;
 2. 0:00 às 6:00 horas.

A seguir, as maiores amplitudes térmicas obtidas em cada período são as seguintes:

Período Matutino – de 6:30 às 11:30 horas

Casa 1

- a. entre a temperatura da telha (T_{t_1}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{s_1}): $2,82 \text{ C}^\circ$ às 10 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S1}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_1): $0,23\text{ C}^\circ$ às 8 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S1}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_1): $1,7\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas.

Casa 2

a. entre a temperatura da telha (Tt_2) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S2}): $1,45\text{ C}^\circ$ às 7 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S2}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_2): $0,61\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S2}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_2): $0,71\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas.

Casa 3

a. entre a temperatura da telha (Tt_3) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S3}): $4,95\text{ C}^\circ$ às 7 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S3}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_3): $1,67\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S3}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_3): $1,33\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas.

Período Vespertino – de 12 às 18:30 horas

Casa 1

a. entre a temperatura da telha (Tt_1) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S1}): $2,29\text{ C}^\circ$ às 18:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S1}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_1): $1,77\text{ C}^\circ$ às 17 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (Ts_1) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_1): $2,86\text{ C}^\circ$ às 17 horas.

Casa 2

a. entre a temperatura da telha (Tt_2) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S2}): $10,87\text{ C}^\circ$ às 13 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S2}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_2): $0,67\text{ C}^\circ$ às 16:30 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (Ts_2) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_2): $0,35\text{ C}^\circ$ às 17 horas.

Casa 3

a. entre a temperatura da telha (Tt_3) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S3}): $16,44\text{ C}^\circ$ às 13 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S3}) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_3): $0,87\text{ C}^\circ$ às 18:30 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (Ts_3) e a temperatura da face inferior da laje (Tli_3): $1,01\text{ C}^\circ$ às 18:30 horas.

Período Noturno – de 19 às 23:30 horas

Casa 1

a. entre a temperatura da telha (T_{t_1}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_1}): 1,62 C° às 20 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_1}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_1}): 2,23 C° às 21 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S_1}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_1}): 1,61 C° às 20:30 horas.

Casa 2

a. entre a temperatura da telha (T_{t_2}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}): 3,52 C° às 20 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): 1,11 C° às 20 horas

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): 0,20 C° às 19:30 horas.

Casa 3

a. entre a temperatura da telha (T_{t_3}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_3}): 5,42 C° às 20:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_3}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_3}): 1,86 C° às 21:30 horas

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S_3}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_3}): 0,20 C° às 20:30 horas.

Quanto as amplitudes térmicas, no período noturno a temperatura superficial da telha assumiu valores inferiores aos da temperatura superficial da face superior e inferior da laje e aos

da temperatura do ar interior na célula-teste. Porém, no período matutino e vespertino isto se inverte. A temperatura superficial da telha apresentou valores mais elevados do que a temperatura superficial da face superior e inferior da laje e os da temperatura interna do ar.

Analisando o comportamento térmico das temperaturas monitoradas nas 3 (três) células-teste, entre os dias 10 e 24 de março de 2003, com a telha cor natural (cinza claro), depreendeu-se que:

Os valores das amplitudes térmicas entre a temperatura superficial da telha (T_t) e a temperatura superficial da face superior da laje (T_Ls), apresentaram os resultados:

1. a casa 1 apresentou os valores de amplitude térmica, em média de 3 C° nos períodos matutino e vespertino e 2 C° no período noturno;
2. a casa 2 (referência) apresentou os valores de amplitude térmica, em média de 1 C° no período matutino, 5 C° no período vespertino e 2 C° no período noturno;
3. a casa 3 apresentou amplitude térmica em média 6 C° no período matutino, 8 C° no período vespertino e 3 C° no período noturno.

As amplitudes térmicas entre a temperatura superficial da face inferior da laje (T_{Li}) e a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 metros do piso (T_s), demonstraram que:

1. no período matutino, a amplitude térmica das temperaturas superficiais da casa 1 e da casa 3 assumiram valores semelhantes, em média 2 C° e, a casa 2, aproximadamente $0,8\text{ C}^\circ$;
2. no período vespertino a casa 1 apresentou maior amplitude, em média 3 C° . A casa 2 o valor aproximado de $0,35\text{ C}^\circ$ e a casa 3, 1 C° ;
3. no período noturno, a casa 2 (referência) apresentou menor amplitude térmica $0,35\text{ C}^\circ$. A casa 1 obteve 2 C° e a casa 3, 1 C° , em média.

VERÃO - telha pintada de branco - 15 a 29 de abril de 2003

Período 2 – P₂

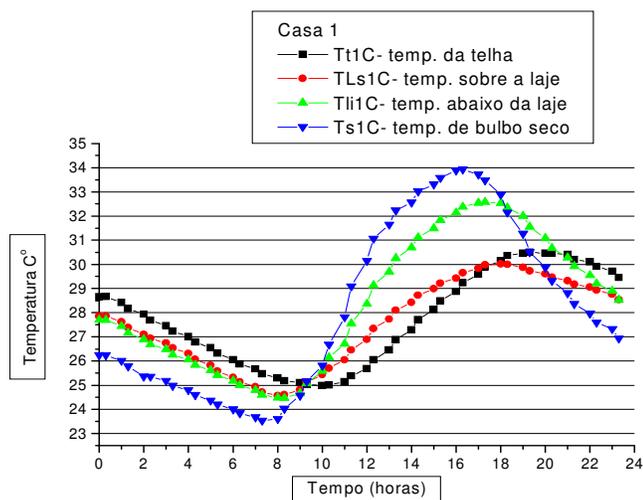


Fig. 7.16. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1, no período 2.

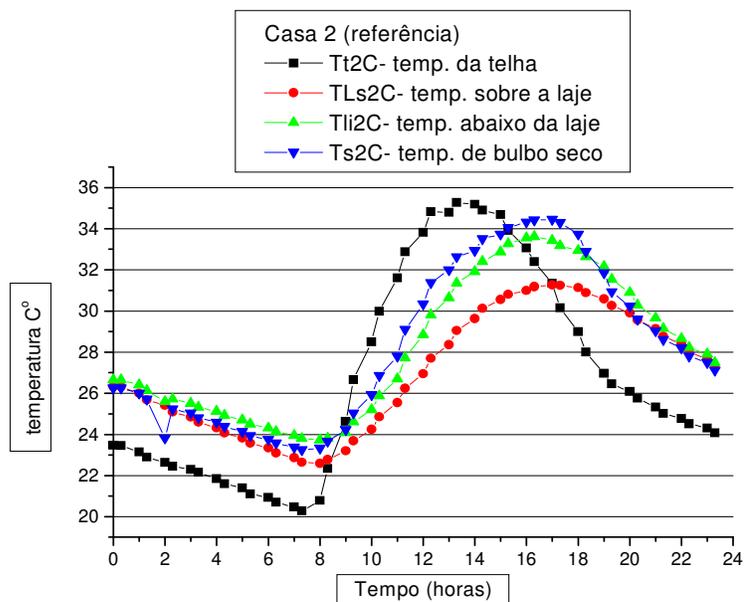


Fig. 7.17. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 2.

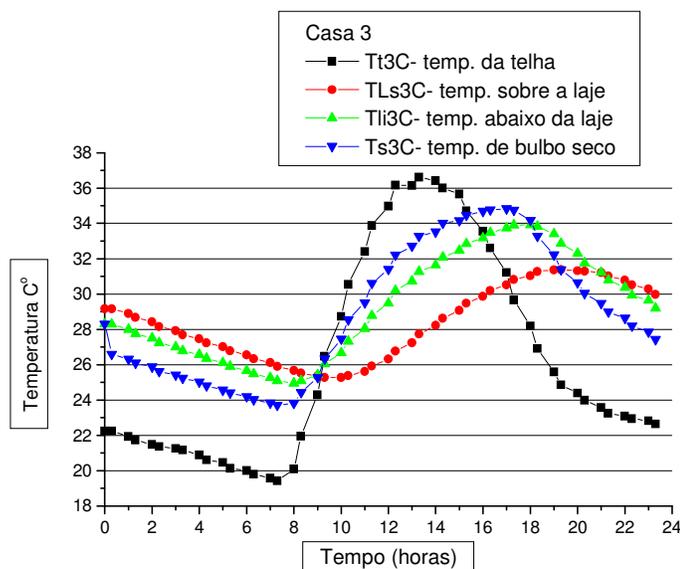


Fig. 7.18. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3, no período 2.

No período 2 (15 a 29 de abril de 2003), com a telha pintada de tinta branca, o desempenho térmico das células-teste foi semelhante ao período 1. Foram observados dois atrasos térmicos: um pela manhã e outro pela tarde (figuras 7.16, 7.17 e 7.18).

No período matutino:

A casa 1 apresentou o atraso térmico em torno de 2 horas e 30 minutos, aproximadamente. O valor mínimo da temperatura sobre a face superior da laje ($TLs_1 = 24,57\text{ C}^\circ$) ocorreu às 8 horas, enquanto que a temperatura superficial da telha ($Tt_1 = 25\text{ C}^\circ$) ocorreu às 10 horas. Também, a retirada do calor foi facilitada através da ventilação externa e, a posição em que se encontra o isolante (figura 7.16).

Na casa 2 (célula-teste de referência), o atraso térmico foi de 30 minutos, por não possuir nenhum tipo de isolamento na subcobertura. A temperatura superficial da telha ($Tt_2 = 22,58\text{ C}^\circ$) ocorreu às 7:30 horas, enquanto que a temperatura superficial da face inferior da laje ($Tli_2 = 24\text{ C}^\circ$) verificou-se às 8:00 horas (figura 7.17).

Na casa 3, os valores das temperaturas superficiais estavam em torno de 2 C° mais elevados do que a casa 2, com exceção da temperatura superficial da telha (Tt₃). A temperatura superficial da telha (Tt₃ = 19 C°) ocorreu às 7:30 horas e a temperatura superficial abaixo da laje (Tli₃ = 25,92 C°) às 9 horas (figura 7.18).

No período vespertino, o atraso variou entre 1 e 4 horas, dependendo da célula-teste analisada.

A casa 1 apresentou o valor máximo da temperatura superficial da telha (Tt₁ = 30,49C°) às 19:30 horas, enquanto que o pico da temperatura superficial da face superior da laje (TLs₁ = 30,36 C°) ocorreu às 18 horas, devido à natureza dos materiais componentes do conjunto da cobertura. A temperatura superficial máxima da face inferior da laje (Tli₁= 33,11 C°) apresentou o atraso térmico de 30 minutos, enquanto o pico da temperatura de bulbo seco máxima interna a 1,10 metros de altura do piso (Ts₁ = 33,96 C°), ocorreu às 16:30 horas, tendo como ganho de carga térmica, não só o calor transmitido pela cobertura, como também o calor cedido pelas paredes e piso.

A casa 2 (referência), apresentou a temperatura superficial máxima da telha (Tt₂ = 35,26 C°) às 13:30 horas, enquanto que o pico da temperatura superficial da face superior da laje (TLs₂ = 31,75 C°) ocorreu às 17 horas e a temperatura superficial da face inferior da laje (Tli₂ = 33,62 C°) às 16:30 horas, com um atraso térmico de 30 minutos entre as faces da laje. No entanto, a temperatura de bulbo seco máxima interna a 1,10 metros de altura do piso (Ts₂ = 34,48 C°) ocorreu às 17 horas.

A casa 3 apresentou a temperatura superficial máxima da telha (Tt₃ = 33,59 C°) às 16 horas, enquanto que a temperatura superficial máxima da face superior da laje (TLs₃ = 31,38 C°) ocorreu 3 horas e trinta minutos mais tarde, às 19:30 horas. Porém, a temperatura superficial máxima da face inferior da laje (Tli₃ = 34 C°) foi registrada às 18 horas. A temperatura de bulbo seco máxima interna a 1,10 metros de altura do piso Ts₃ = 34,82 C°, ocorreu às 17 horas, com a contribuição do calor cedido pelas paredes e piso externo, que recebem radiação solar durante todo o dia, dois a dois.

No período noturno, todas as casas possuem as temperaturas superficiais maiores do que a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 metros do piso.

As maiores amplitudes térmicas obtidas em cada período do dia são as seguintes:

Período Matutino – de 6:30 às 11:30 horas

Casa 1

a. entre a temperatura da telha (T_{t_1}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_1}): (-) 0,45 C° às 10 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_1}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_1}): 0,9 C° às 8 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{s_1}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_1}): (-) 1,41 C° às 8 horas.

* (-) o sinal negativo significa que a temperatura superficial do segundo elemento é maior, portanto cedendo mais calor para o ar interno.

Casa 2

a. entre a temperatura da telha (T_{t_2}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}): (-) 2,37 C° às 7:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): (-) 1,15 C° às 8 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{s_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): (-) 0,41 C° às 8 horas.

Casa 3

a. entre a temperatura da telha (T_{t_2}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}): (-) 6,49 C° às 7:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): (-) 1,40 C° às 10 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): (-) 1,25 C° às 8 horas.

Período Vespertino – de 12 às 18:30 horas

Casa 1

a. entre a temperatura da telha (T_{t_1}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_1}): 0,89 C° às 18:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_1}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_1}): (-) 2,52 C° às 18 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S_1}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_1}): 4,27 C° às 16:30 horas.

Casa 2

a. entre a temperatura da telha (T_{t_2}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}): 6,27 C° às 13:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): (-) 2,17 C° às 17 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{S_2}) e a temperatura da face inferior da laje (T_{li_2}): 1,35 C° às 17 horas.

Casa 3

a. entre a temperatura da telha (T_{t_3}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{s_3}): $3,78\text{ C}^\circ$ às 16 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{s_3}) e a temperatura da face inferior da laje (Tl_{i_3}): $(-)\ 1,48\text{ C}^\circ$ às 18:30 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{s_3}) e a temperatura da face inferior da laje (Tl_{i_3}): $1,10\text{ C}^\circ$ às 17 horas.

Período Noturno – de 19 às 23:30 horas

Casa 1

a. entre a temperatura da telha (T_{t_1}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{s_1}): $0,87\text{ C}^\circ$ às 19:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{s_1}) e a temperatura da face inferior da laje (Tl_{i_1}): $(-)\ 2,13\text{ C}^\circ$ às 19 horas;

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{s_1}) e a temperatura da face inferior da laje (Tl_{i_1}): $0,62\text{ C}^\circ$ às 20:30 horas.

Casa 2

a. entre a temperatura da telha (T_{t_2}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{s_2}): $(-)\ 3,75\text{ C}^\circ$ às 20:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{s_2}) e a temperatura da face inferior da laje (Tl_{i_2}): $(-)\ 1,63\text{ C}^\circ$ às 20 horas

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{s_2}) e a temperatura da face inferior da laje (Tl_{i_2}): $0,20\text{ C}^\circ$ às 19:30 horas.

Casa 3

a. entre a temperatura da telha (T_{t3}) e a temperatura da face superior da laje (TL_{s3}): (-) 5,57 C° às 20:30 horas;

b. entre a temperatura da face superior da laje (TL_{s3}) e a temperatura da face inferior da laje (TL_{i3}): (-) 1,48 C° às 20 horas

c. entre a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 do piso (T_{s3}) e a temperatura da face inferior da laje (TL_{i3}): (-) 1,11 C° às 20:30 horas.

Quanto às amplitudes térmicas, no período noturno a temperatura superficial da telha assumiu valores inferiores aos da temperatura superficial da face superior e inferior da laje e aos da temperatura do ar interior na célula-teste. No período matutino e vespertino esta situação continua.. A temperatura superficial da telha apresentou valores menores do que a temperatura superficial da face superior e inferior da laje e os da temperatura interna do ar.

Analisando o comportamento térmico das temperaturas monitoradas nas 3 (três) células-teste, entre os dias 15 a 29 de abril de 2003, telha pintada de branco, depreendeu-se que:

O valor das amplitudes térmicas entre a temperatura superficial da telha (T_t) e a temperatura superficial da face superior da laje (TL_s), apresentaram os resultados:

1. a casa 1 apresentou os valores de amplitude térmica, em média de 1 C° no período matutino, 2 C° no vespertino e 1 C° no período noturno;

2. a casa 2 (referência) apresentou os valores de amplitude térmica, em média de 2,5 C° no período matutino, 6 C° no período vespertino e 4 C° no período noturno. Porém, nos períodos matutino e noturno, os valores da temperatura da face superior da laje (TL_{s2}), sempre ultrapassaram aos da telha (T_{t2});

3. a casa 3 apresentou amplitude térmica em média $6,5\text{ C}^\circ$ no período matutino, 3 C° no período vespertino e $5,4\text{ C}^\circ$ no período noturno. No período noturno, a temperatura da face superior da laje (TLs_3) se verificou mais elevada do que a da telha (Tt_3).

As amplitudes térmicas entre a temperatura superficial da face inferior da laje (Tli) e a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 metros do piso (Ts), demonstraram que:

1. no período matutino, a amplitude térmica das temperaturas superficiais da casa 1 e da casa 3 assumiu valores semelhantes, em média $1,6\text{ C}^\circ$ e, a da casa 2, aproximadamente $0,5\text{ C}^\circ$. Porém nas temperaturas da face inferior da laje (Tli), foram verificados valores superiores do que as de bulbo seco interna (Ts);

2. no período vespertino a casa 1 apresentou maior amplitude, em média $4,4\text{ C}^\circ$. A casa 2 o valor aproximado foi de 1 C° e a casa 3, 1 C° ;

3. no período noturno, a casa 2 (referência) apresentou menor amplitude térmica $0,76\text{ C}^\circ$. A casa 1 obteve $0,7\text{ C}^\circ$ e a casa 3, 2 C° , em média. Sendo que em todas as casas, as temperaturas da face inferior da laje (Tli), apresentaram valores superiores do que as de bulbo seco interna (Ts);

INVERNO - telha pintada de branco – 16 a 30 de julho de 2003
 Período 3 – P₃

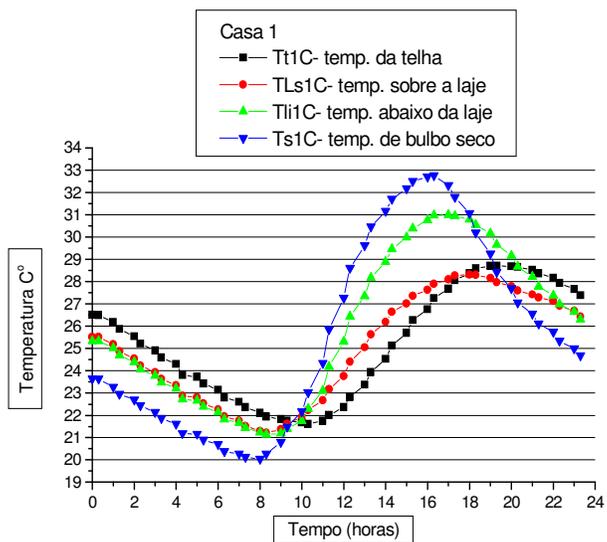


Fig. 7.19. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 1, no período 3.

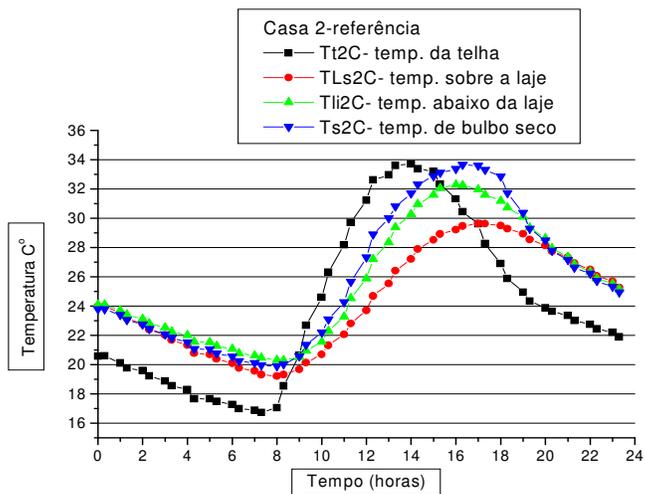


Fig. 7.20. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 2 (referência), no período 3.

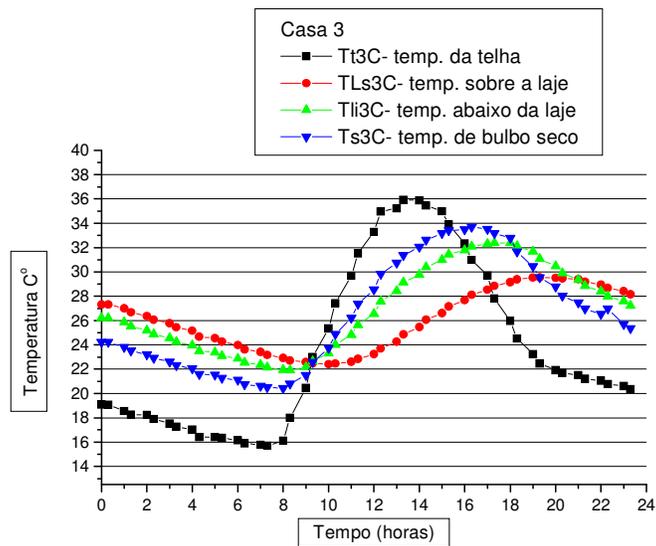


Fig. 7.21. Gráfico das temperaturas superficiais na subcobertura da casa 3, no período 3.

7.3. Estudo Comparativo das Células-teste

Para o entendimento desta pesquisa, a seguir estão comparados os resultados entre a temperatura de bulbo seco do ar interno (T_s) a 1,10 m do piso, obtidos em cada uma das três células-teste, com a temperatura do ar externa.

A adoção da temperatura de bulbo seco do ar interno a 1,10 m do piso no estudo comparativo entre as três células-teste estudadas, se deu por tratar da temperatura que retrata o comportamento térmico da zona habitada pelos moradores de uma edificação.

Para efeito de comparação dividiu-se o dia em três períodos, como nas análises utilizadas anteriormente:

- período matutino: de 6:30 às 11:30 horas;
- período vespertino: de 12 às 18:30 horas;
- período noturno, dividido em duas partes:
 - 1- de 19:00 às 23:30 horas ;
 - 2- 0: 00 às 6:00 horas.

Período 1 – 10 a 24 de março de 2003 – telha cor natural.

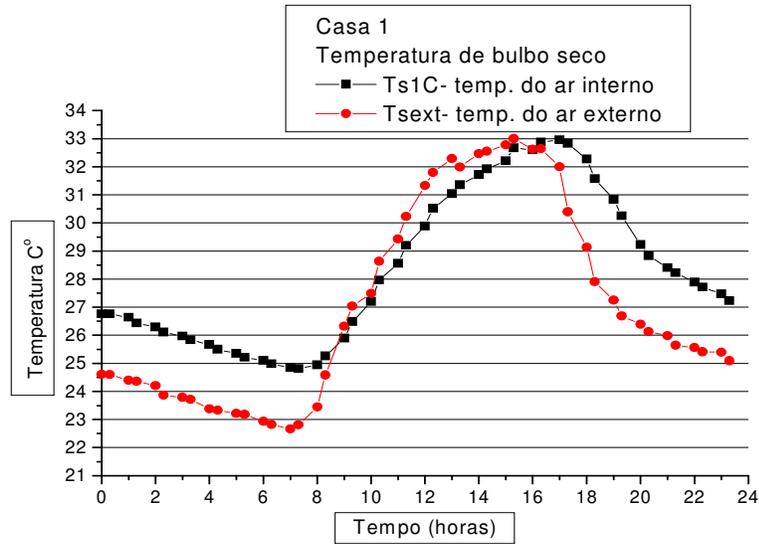


Fig. 7.22. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 1.

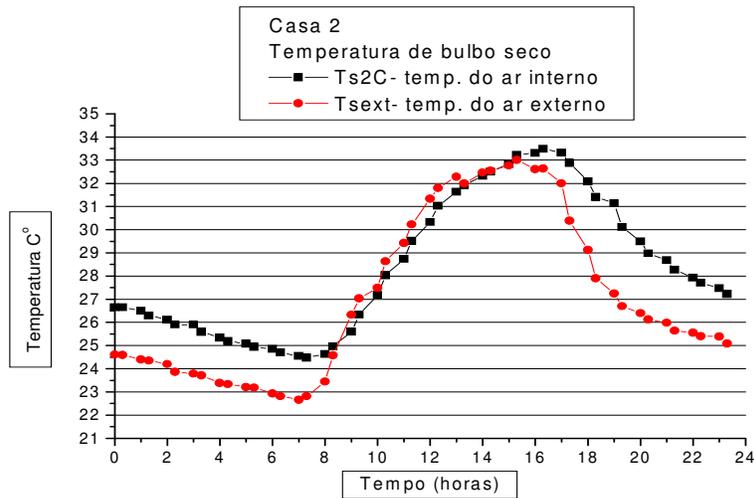


Fig.7.23. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 1.

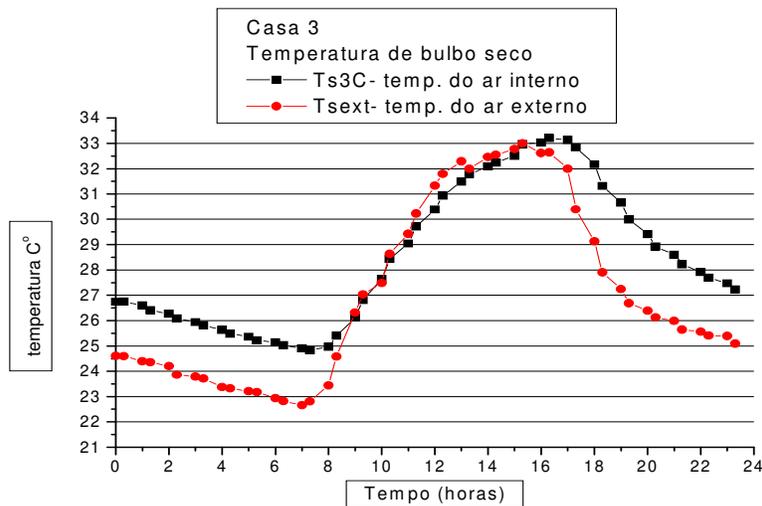


Fig 7.24. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 1.

Pode-se observar o comportamento das duas temperaturas monitoradas. Verificaram-se dois atrasos térmicos: um matutino e outro vespertino, em todas as três casas. As duas temperaturas decrescem no período noturno até o período matutino, quando os valores começam a se elevar. O maior pico de temperatura do dia ocorre no período vespertino.

Na casa 1 (isolante tipo “sandwich”) (figura 7.22), o primeiro atraso térmico ocorreu no período matutino, quando a temperatura interna da célula-teste atingiu seu menor valor às 7:30 horas (24,81 C°) e a temperatura do ar externo às 7 horas (22 C°), conferindo um atraso térmico de 30 minutos.

No período vespertino, quando a temperatura do ar externo atingiu o seu valor mais elevado às 15:30 horas (33 C°), a temperatura do ar interno ocorreu às 17 horas, com 32,96 C° e atraso térmico de uma hora e trinta minutos.

Na casa 2, célula-teste de referência (figura 7.23), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo (22 C° às 7 horas) e a temperatura do ar interno (24,47 C° às 7:30 horas) foi de 30 minutos. O atraso vespertino entre a temperatura do ar externo (33 C° às 15:30 horas) e a temperatura do ar interno (33,48 C° às 17 horas) foi de uma hora e trinta minutos.

Para a casa 3 (isolante tipo “sandwich”) (figura 7.24), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo (22 C° às 7 horas) e a temperatura do ar interno (24,82 C° às 7:30 horas) foi de 30 minutos. No período vespertino, a temperatura do ar externo ocorreu às 15:30 horas com 33 C° e a temperatura do ar interno foi às 16:30 horas com 33,20 C°, portanto com seu atraso térmico de uma hora.

Da análise do atraso térmico entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, nas três células-teste pesquisadas, depreendeu-se que:

1. No período matutino todas as células-teste apresentaram o atraso térmico de 30 minutos, entre o valor da temperatura do ar interno e do ar externo, porém a temperatura do ar externo atingiu o menor valor primeiro em relação à temperatura interna (22 C° às 7 horas);
2. No período vespertino, a casa 3 (isolante sobre a laje) foi a que apresentou menor atraso térmico, uma hora em relação a temperatura do ar externo;
3. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”) foi a que obteve menor valor de temperatura máxima do ar interno (32,96 C° às 17 horas). O segundo menor valor de temperatura ficou com a casa 3 (isolante sobre a laje), com 33,20 C° às 16:30 horas. A casa 2 (referência), apresentou maior temperatura do ar interno, 33,48 C° às 17 horas.

Quanto a diferença entre as temperaturas máximas (Δt_{\max}) interna e externa:

Para a diferença dos máximos (Δt_{\max}) matutina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), apresentou 2 C° às 7:30 horas. A casa 2 (referência) 1,33 C° às 7:30 horas e a casa 3 (isolante sobre a laje) 2,01 C°, também às 7:30 horas. Para a vespertina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou 0,97 C° às 17 horas. A casa 2 (referência), 1,49 C° às 17 horas e a casa 3 (isolante sobre a laje), 0,57 C° às 16:30 horas.

Para a noturna, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) ocorreu às 20 horas com $2,83\text{ C}^\circ$, a casa 2 (referência) às 19,30 com $3,44\text{ C}^\circ$ e a casa 3 (isolante sobre a laje) às 20:30 horas com 3 C° .

Em relação aos maiores valores das diferenças entre os máximos (Δt_{\max}) no período do dia, as células-teste demonstraram o comportamento térmico da seguinte maneira:

Período Matutino:

1. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou a maior diferença entre os máximos no valor de $\Delta t_{\max 1m} = 2,01\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas, em seguida a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) com $\Delta t_{\max 2 1m} = 2\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas, ambas com o comportamento térmico bem semelhante;
2. o pior comportamento térmico ocorreu na casa 2 (referência) com $\Delta t_{\max 3 1m} = 1,33\text{ C}^\circ$ às 7:30 horas.

Período Vespertino

1. o maior valor observou-se na casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 1 1v} = 1,49\text{ C}^\circ$ às 17 horas;
2. o segundo melhor comportamento esteve com a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 2 1v} = 0,97\text{ C}^\circ$ às 17 horas, seguido da casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 3 1v} = 0,57\text{ C}^\circ$ às 16:30 horas, comportamento semelhante a casa 1.

Período Noturno

1. o melhor comportamento térmico ocorreu na casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 1 1n} = 3,44\text{ C}^\circ$ às 19:30 horas;
2. em seguida está a casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 1 1n} = 3\text{ C}^\circ$ às 20:30 horas ;

3. o pior comportamento apresentou-se na casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 1 n} = 2,83$ às 20 horas.

Período 2 – 15 a 29 de abril de 2003 – telha pintada de branco.

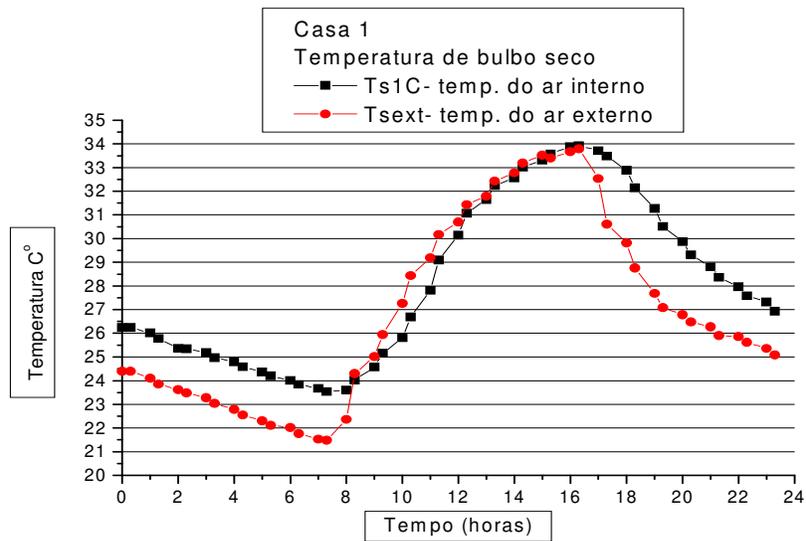


Fig. 7.25. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 2.

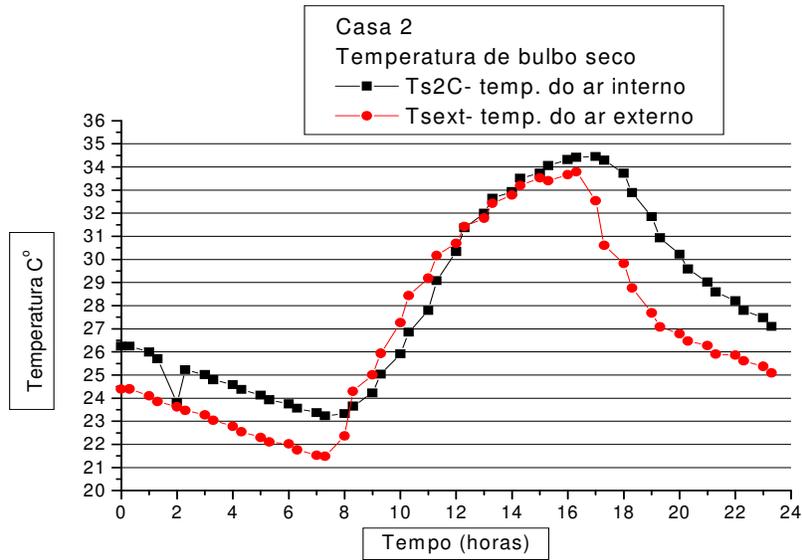


Fig.7.26. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 2.

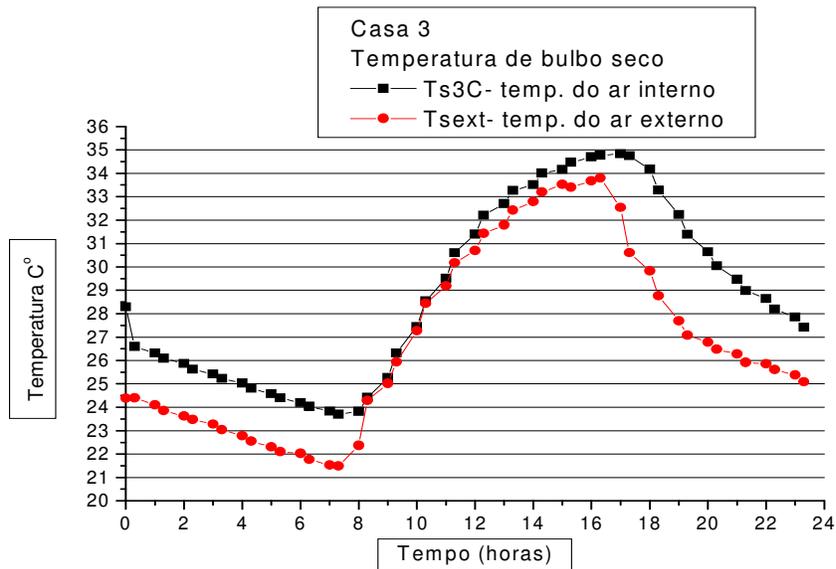


Fig 7.27. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 2.

Ao observar o comportamento das duas temperaturas, verificou-se dois atrasos térmicos: um matutino e outro vespertino, em todas as 3 (três) casas. As duas temperaturas decresceram no período noturno até o período matutino, quando os valores começaram a elevar-se. O maior pico de temperatura do dia ocorre no período vespertino, semelhante ao período anterior.

Na casa 1 (isolante tipo “sandwich” - figura 7.25), no período matutino não apresentou atraso térmico em relação as duas temperaturas. Quando a temperatura interna da célula-teste atingiu seu menor valor às 7:30 horas com 23,53 C°, a temperatura mínima do ar externo ocorreu às 7:30 horas, com 21,48 C°. No período vespertino, quando a temperatura do ar externo atingiu o valor máximo às 16 horas com 33,70 C°, a temperatura do ar interno ocorreu às 16:30 horas, com 34 C° e atraso térmico de trinta minutos.

Na casa 2, célula-teste de referência (figura 7.26), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo de 21,48 C° às 7:30 horas e a temperatura do ar interno de 23,32 C° às 8 horas foi de 30 minutos. O atraso vespertino entre a temperatura do ar externo (33,70 C° às 16 horas) e a temperatura do ar interno (34,44 C° às 17 horas) foi de uma hora.

Para a casa 3 (isolante sobre a laje - figura 7.27), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo (21,48 C° às 7:30 horas) e a temperatura do ar interno (23,70 C° às 8 horas) foi de 30 minutos. No período vespertino, a temperatura do ar externo ocorreu às 16 horas com 33,70 C° e a temperatura do ar interno foi às 17 horas com 34,82 C°, portanto com seu atraso térmico de uma hora.

Da análise do atraso térmico entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, nas três células-teste pesquisadas, concluiu-se que:

1. No período matutino, a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o atraso térmico de 30 minutos, entre o valor da temperatura do ar interno e do ar externo. Quanto a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) não houve atraso térmico. Em todas as 3 (três) células-teste a temperatura do ar externo atingiu o menor valor primeiro do que a temperatura do ar interno (21,48 C° às 7:30 horas);

2. No período vespertino, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) foi a que apresentou menor atraso térmico, trinta minutos em relação a temperatura do ar externo. O atraso térmico da casa 2 (referência) e da casa 3 (isolante sobre a laje) foi de uma hora.

3. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”) foi a que obteve menor valor de temperatura máxima do ar interno (34 C° às 16:30 horas). O segundo menor valor de temperatura ficou com a casa 2 (referência), com 34,44 C° às 17 horas. A casa 3 (isolante sobre a laje), apresentou a maior temperatura do ar interno, 34,82 C° às 17 horas.

Quanto a diferença entre as temperaturas máximas (Δt_{\max}) interna e externa:

Para a diferença dos máximos (Δt_{\max}) matutina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), apresentou 2,05 C° às 7:30 horas. A casa 2 (referência) 0,96 C° às 8 horas e a casa 3 0,11 C° às 8 horas.

Para a vespertina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou 0,13 C° às 16:30 horas. A casa 2 (referência), 1,91 C° às 17 horas e a casa 3 (isolante sobre a laje), 2,29 C° às 17 horas.

Para a noturna, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) ocorreu às 19:30 horas com 3,85 C°, a casa 2 (referência) às 20:30 horas, com 3,11 C° e a casa 3 (isolante sobre a laje) às 20:30 horas com 4,17 C°.

A maior diferença dos máximos (Δt_{\max}) durante a manhã apresentou-se na casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com 2,05 C° às 7:30 horas, no período vespertino a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou o valor de 2,29 C° às 17 horas e no período noturno, na casa 3 (isolante sobre a laje) ocorreu 4,17 C° às 20:30 horas.

Em relação aos maiores valores da diferença entre os máximos (Δt_{\max}) durante o dia, as células-teste:

Período Matutino:

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou a maior diferença no valor de $\Delta t_{\max 1 2m} = 2,05$ C° às 7:30 horas, em seguida a casa 2 (referência) com $\Delta t_{\max 2 2m} = 0,96$ C° às 7:30 horas;
2. o pior comportamento térmico ocorreu na casa 3 (isolante tipo “sandwich”) com $\Delta t_{\max 3 2m} = 0,11$ C° às 8 horas. A casa 2 (referência) e a casa 3 apresentaram o comportamento térmico bem semelhante.

Período Vespertino

1. o maior valor apresentou-se na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 1 2v} = 2,29$ C° às 17 horas;
2. o segundo melhor comportamento esteve com a casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 2 2v} = 1,91$ C° às 17 horas, seguido da casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 3 2v} = 0,13$ C° às 16:30 horas.

Período Noturno

1. o melhor comportamento térmico ocorreu na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 1 2n} = 4,17$ C° às 20:30 horas;
2. em seguida está a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 2 2n} = 3,85$ C° às 19:30 horas ;
3. o pior comportamento apresentou-se na casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 3 2n} = 3,11$ às 20:30 horas.

Período 3 – 16 a 30 de julho - telha pintada de branco.

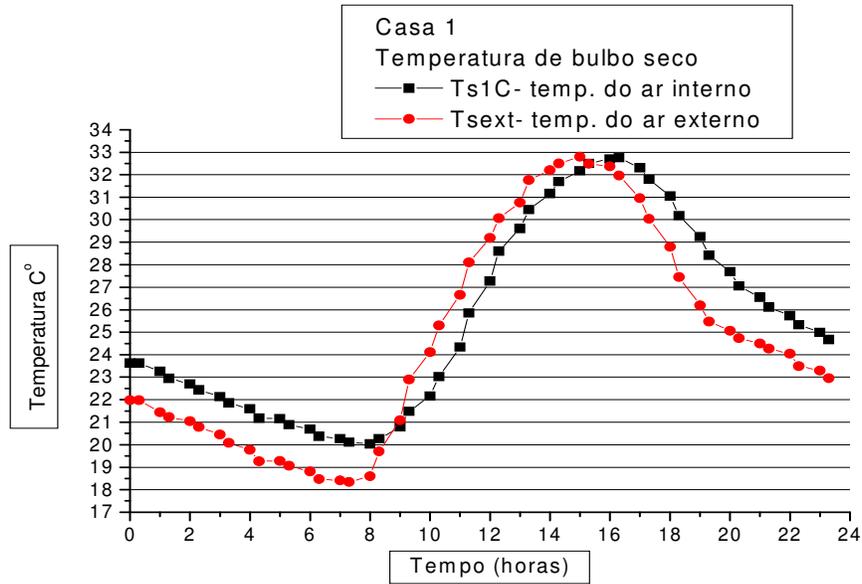


Fig. 7.28. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 3.

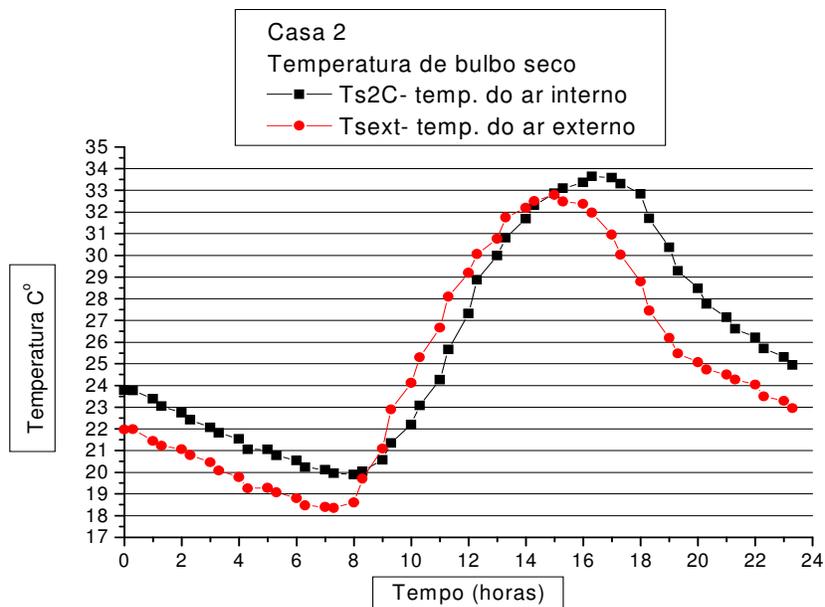


Fig.7.29. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 3.

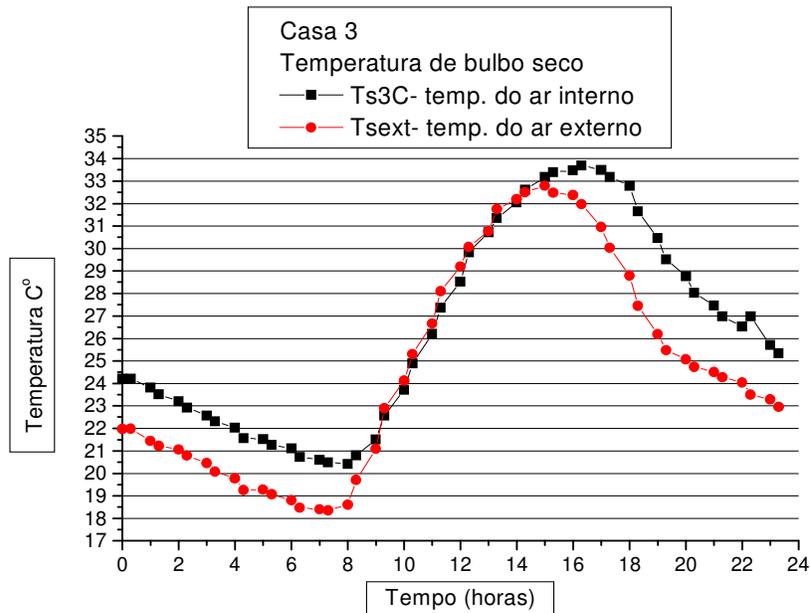


Fig 7.30. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 3.

Ao observar o comportamento das duas temperaturas, verificou-se dois atrasos térmicos bem marcados: um matutino e outro vespertino, em todas as três casas. As duas temperaturas decresceram no período noturno até o período matutino, quando os valores começam a elevar-se. O maior pico de temperatura do dia também ocorre no período vespertino, como nos períodos anteriores.

Na casa 1 (isolante tipo “sandwich” - figura 7.31) no período matutino, o atraso térmico entre a temperatura do ar interno da célula-teste que atingiu o valor mínimo às 8 horas com 20,03 C° e, a temperatura mínima do ar externo (18,34 C° às 7:30 horas) foi de 30 minutos.

No período vespertino, quando a temperatura do ar externo atingiu o valor máximo às 15 horas com 32,79 C°, a temperatura do ar interno ocorreu às 16:30 horas, com 32,75 C° e atraso térmico de uma hora e trinta minutos.

Na casa 2, célula-teste de referência (figura 7.32), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo de 18,34 C° às 7:30 horas e a temperatura do ar interno de 19,88 C° às

8 horas foi de 30 minutos. O atraso vespertino entre a temperatura do ar externo (32,79 C° às 15 horas) e a temperatura do ar interno (33,64 C° às 16:30 horas) foi de uma hora e trinta minutos.

Para a casa 3 (isolante sobre a laje - figura 7.33), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo (18,34 C° às 7:30 horas) e a temperatura do ar interno (20,42 C° às 8 horas) foi de 30 minutos. No período vespertino, a temperatura do ar externo ocorreu às 15 horas com 32,79 C° e a temperatura do ar interno foi às 16:30 horas com 33,69 C°, portanto com seu atraso térmico de uma hora e trinta minutos.

Verificando o atraso térmico entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, nas três células-teste pesquisadas, pode-se concluir que:

1. No período matutino, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o atraso térmico de 30 minutos. Em todas as três células-teste a temperatura do ar externo (18,34 C° às 8 horas) atingiu o menor valor primeiro do que a temperatura do ar interno;

2. No período vespertino, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o mesmo atraso térmico, uma hora e trinta minutos em relação a temperatura do ar externo.

3. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”) foi a que obteve o menor valor de temperatura máxima do ar interno (32,75 C° às 16:30 horas). O segundo menor valor de temperatura ficou com a casa 2 (referência), com 33,64 C° às 16:30 horas. A casa 3 (isolante sobre a laje), apresentou a maior temperatura do ar interno, 33,69 C° às 16:30 horas.

Quanto a diferença entre as temperaturas máximas (Δt_{\max}) interna e externa:

Para a diferença dos máximos (Δt_{\max}) matutina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), apresentou $\Delta t_{\max 1 3m} = 1,43$ C°. A casa 2 (referência) $\Delta t_{\max 2 3m} = 1,28$ C° e a casa 3 (isolante sobre a laje) $\Delta t_{\max 3 3m} = 1,82$ C° todas as células-teste no mesmo horário, às 8 horas.

Para a vespertina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou $\Delta t_{\max 1 3v} = 0,78 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas. A casa 2 (referência), $\Delta t_{\max 2 3m} = 1,67 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas e a casa 3 (isolante sobre a laje), $\Delta t_{\max 3 3m} = 1,72 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas.

Para a noturna, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) ocorreu às 19:30 horas com $\Delta t_{\max 1 3n} = 2,96 \text{ C}^\circ$, a casa 2 (referência) às 20 horas, com $\Delta t_{\max 2 3m} = 3,40 \text{ C}^\circ$ e a casa 3 (isolante sobre a laje) às 20:30 horas com $\Delta t_{\max 3 3m} = 4,03 \text{ C}^\circ$.

A maior diferença dos máximos (Δt_{\max}) durante a manhã apresentou-se na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 3 3m} = 1,82 \text{ C}^\circ$ às 8 horas, no período vespertino a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou o valor de $\Delta t_{\max 3 3v} = 1,72 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas e no período noturno, na casa 3 (isolante sobre a laje) ocorreu $\Delta t_{\max 3 3n} = 4,03 \text{ C}^\circ$ às 20:30 horas.

Em relação aos valores de diferença dos máximos (Δt_{\max}) nos três períodos do dia, as células-teste demonstraram o seguinte comportamento térmico:

Período Matutino:

1. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou a maior diferença entre os máximos no valor de $\Delta t_{\max 3 3m} = 1,82 \text{ C}^\circ$, em seguida a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) com $\Delta t_{\max 1 3m} = 1,43 \text{ C}^\circ$, ambas às 8 horas;

2. o pior comportamento térmico ocorreu na casa 2 (referência) com $\Delta t_{\max 2 3m} = 1,28 \text{ C}^\circ$ às 8 horas. As três casas apresentaram grande semelhança no comportamento térmico.

Período Vespertino

1. o maior valor apresentou-se na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 3 3v} = 1,72 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas;

2. o segundo melhor comportamento foi encontrado na casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 2 3v} = 1,67$ C° às 17:30 horas, seguido da casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 1 3v} = 0,78$ C° às 16:30 horas.

Período Noturno

1. o melhor comportamento térmico ocorreu na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 3 3n} = 4,03$ C° às 20:30 horas;

2. em seguida está a casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 2 3n} = 3,40$ C° às 20 horas ;

3. o pior comportamento foi demonstrado pela casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 1 3n} = 2,96$ às 19:30 horas.

Período 4 - 14 a 28 de agosto de 2003 – telha cor natural.

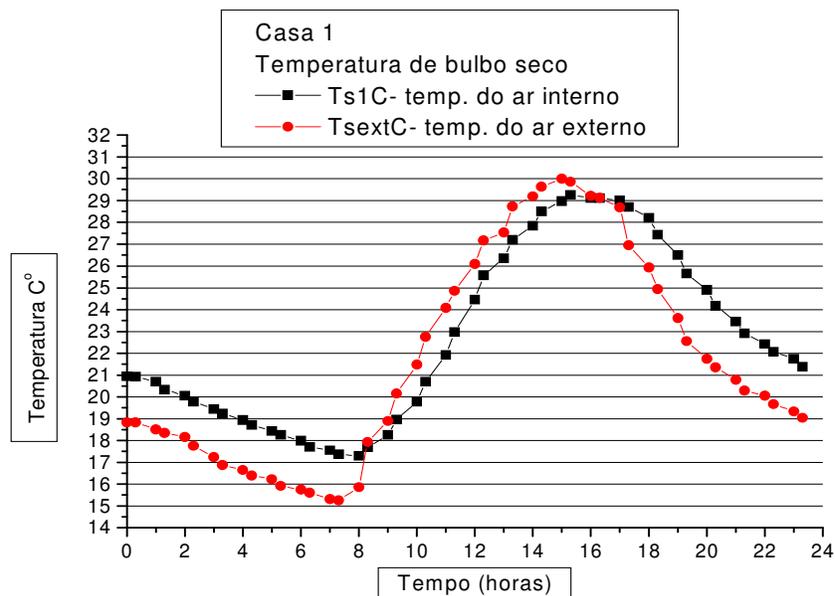


Fig. 7.31. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 1, no período 4.

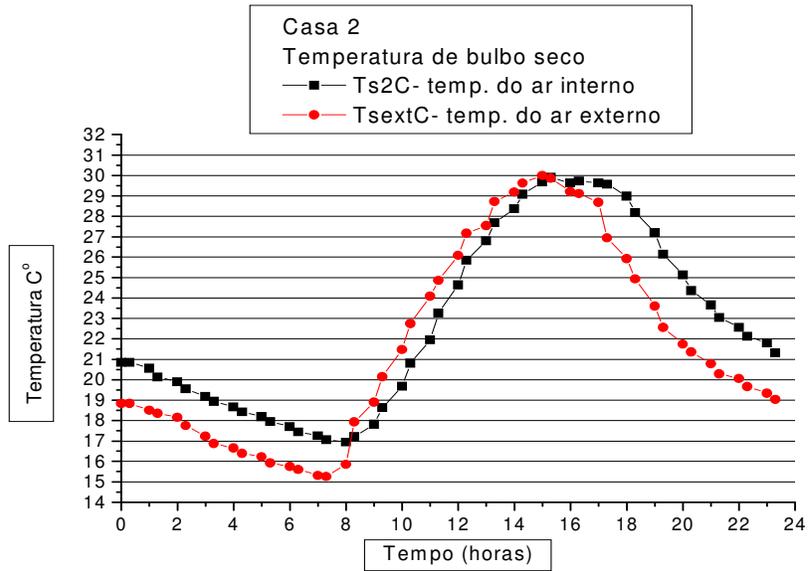


Fig.7.32. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 2, sem isolante térmico, no período 4.

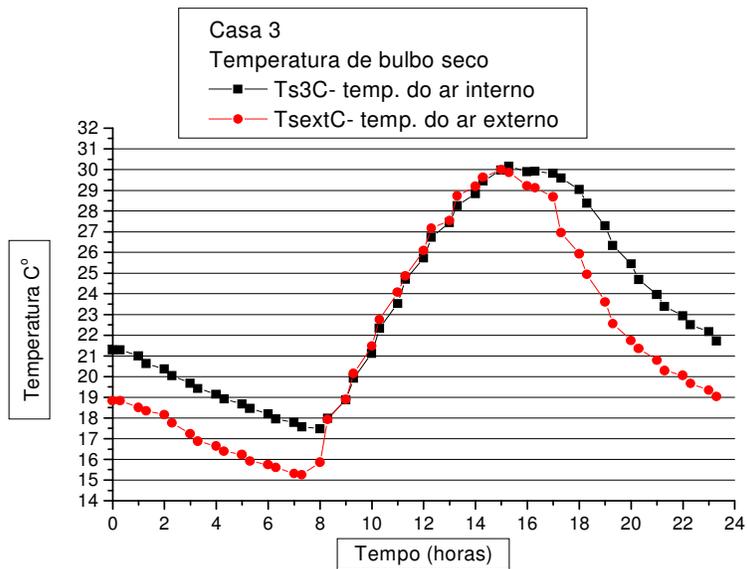


Fig 7.33. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura interna da casa 3, no período 4.

Analisando-se o comportamento das duas temperaturas, verifica-se dois atrasos térmicos, como nos períodos anteriores: um matutino e outro vespertino, em todas as três casas,

com as duas temperaturas decrescendo no período noturno até o período matutino, quando os valores começam a se elevar. O maior pico de temperatura do dia ocorre no período vespertino.

Na casa 1 (isolante tipo “sandwich” - figura 7.31) no período matutino, o atraso térmico entre a temperatura mínima do ar interno da célula-teste (17,3 C° às 8 horas) e, a temperatura mínima do ar externo (15,26 C° às 7:30 horas) foi de 30 minutos. No período vespertino, quando a temperatura do ar externo atingiu o valor máximo às 15 horas com 30 C°, a temperatura do ar interno ocorreu às 15:30 horas, com 29,26 C° e atraso térmico de trinta minutos.

Na casa 2, célula-teste de referência (figura 7.32), o atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo de 15,26 C° às 7:30 horas e a temperatura do ar interno de 16,95 C° às 8 horas foi de 30 minutos. O atraso vespertino entre a temperatura do ar externo (30 C° às 15 horas) e a temperatura do ar interno (30 C° às 15:30 horas) foi de trinta minutos.

Para a casa 3 (isolante sobre a laje - figura 7.33), não apresentou atraso térmico matutino entre a temperatura do ar externo (15,26 C° às 7:30 horas) e a temperatura do ar interno (17,27 C° às 7:30 horas). No período vespertino, a temperatura do ar externo ocorreu às 15 horas com 30 C° e a temperatura do ar interno foi às 15:30 horas com 30,15 C°, portanto com seu atraso térmico de trinta minutos

Analisando o atraso térmico entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, nas três células-teste pesquisadas, pode-se concluir que:

1. No período matutino, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), a casa 2 (referência) apresentaram o atraso térmico de 30 minutos, porém na casa 3 (isolante tipo “sandwich”) não ocorreu atraso térmico. Em todas as três células-teste a temperatura do ar externo atingiu o menor valor primeiro do que a temperatura do ar interno (15,26 C° às 7:30 horas);
2. No período vespertino, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o mesmo atraso térmico, trinta minutos em relação a temperatura do ar externo.
3. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”) foi a que obteve menor valor de temperatura máxima do ar interno (29,26 C° às 15:30 horas). O segundo menor valor de temperatura ficou com a casa 2 (referência), com 30 C° às 15:30 horas. A casa 3 (isolante sobre a laje), apresentou a maior temperatura do ar interno, 30,15 C° às 15:30 horas.

Analisando a diferença entre as temperaturas máximas (Δt_{\max}) interna e externa:

Para a diferença dos máximos (Δt_{\max}) matutina, a casa 1 (isolante “sandwich”), apresentou $\Delta t_{\max 14m} = 1,44 \text{ C}^\circ$ às 8 horas. A casa 2 (referência) $\Delta t_{\max 24m} = 1,09 \text{ C}^\circ$ às 8 horas e a casa 3 (isolante sobre a laje) $\Delta t_{\max 34m} = 2,01 \text{ C}^\circ$ às 7:30 horas.

Para a vespertina, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou $\Delta t_{\max 14v} = 0,60 \text{ C}^\circ$ às 15:30 horas. A casa 2 (referência), $\Delta t_{\max 24v} = 0,06 \text{ C}^\circ$ às 15:30 horas e a casa 3 (isolante sobre a laje), $\Delta t_{\max 34v} = 1,04 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas.

Para a noturna, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) ocorreu às 20 horas com $\Delta t_{\max 14n} = 3,15 \text{ C}^\circ$, a casa 2 (referência) às 20 horas, com $\Delta t_{\max 24n} = 3,41 \text{ C}^\circ$ e a casa 3 (isolante sobre a laje) às 19 horas com $\Delta t_{\max 34n} = 3,78 \text{ C}^\circ$.

A maior diferença entre os máximos (Δt_{\max}) durante a manhã apresentou-se na casa 3 (isolante térmico sobre a laje), com $\Delta t_{\max 34m} = 2,01 \text{ C}^\circ$ às 7:30 horas, no período vespertino a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou o valor de $\Delta t_{\max 34v} = 1,04 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas e no período noturno, o valor mais elevado da diferença dos máximos (Δt_{\max}) ocorreu na casa 3 (isolante sobre a laje) com o valor de $\Delta t_{\max 34n} = 3,78 \text{ C}^\circ$ às 19:30 horas.

Em relação aos valores das diferenças entre os máximos (Δt_{\max}) nos três períodos do dia, as três células-teste apresentaram o seguinte comportamento térmico:

Período Matutino:

1. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou a maior diferença dos máximos (Δt_{\max}) no valor de $\Delta t_{\max 34m} = 2,01 \text{ C}^\circ$ às 7:20 horas, em seguida a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) com $\Delta t_{\max 14m} = 1,44 \text{ C}^\circ$, às 8 hor;
2. o pior comportamento térmico ocorreu na casa 2 (referência) com $\Delta t_{\max 24m} = 1,09 \text{ C}^\circ$ às 8 horas.

Período Vespertino

1. o maior valor apresentou-se na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 3 4v} = 1,04 \text{ C}^\circ$ às 16:30 horas;
2. o segundo melhor comportamento esteve com a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 1 4v} = 0,60 \text{ C}^\circ$ às 15:30 horas, seguido da casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 2 4v} = 0,06 \text{ C}^\circ$ às 15:30 horas.

Período Noturno

1. o melhor comportamento térmico ocorreu na casa 3 (isolante sobre a laje), com $\Delta t_{\max 3 4n} = 3,78 \text{ C}^\circ$ às 19 horas;
2. em seguida está a casa 2 (referência), com $\Delta t_{\max 2 4n} = 3,41 \text{ C}^\circ$ às 20 horas ;
3. o pior comportamento apresentou-se na casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com $\Delta t_{\max 1 4n} = 3,15$ às 20 horas.

7.4. Estudo comparativo dos valores da temperatura do ar externo e a temperatura de bulbo seco interna a 1,10 m do piso entre a casa 1 (isolante “sandwich”), casa 2 (referência – sem isolante térmico) e a casa 3 (isolante sobre a laje).

Período 1 – 10 a 24 de março de 2003 – telha cor natura

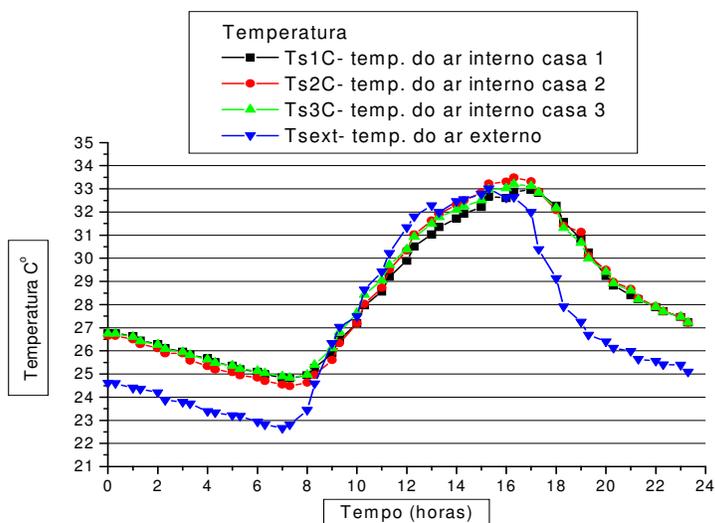


Fig 7.34. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 1.

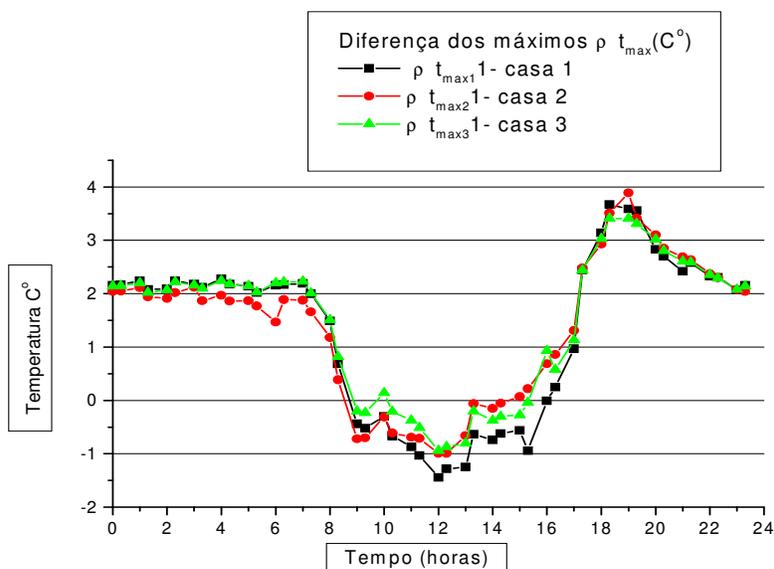


Fig. 7.35. Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{max}1$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 1.

Para desenvolver esta comparação entre as células-teste pesquisadas, a análise foi dividida em três etapas: a comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno a 1,10 m do piso no período matutino de 6:30 às 11:30 horas (m), no período vespertino de 12 às 18:30 horas (v) e por último o período noturno feito em duas etapas: de 19 às 23:30 horas (n_1) e de 0 às 6 horas (n_2).

No período noturno de 19 às 23:30 horas, as temperaturas externas do ar começam a diminuir, porém de acordo com o método de conforto térmico proposto por Givone (1992), cujo valor limitante superior é de 29 C°, as temperaturas ainda se apresentaram acima do valor limitante superior. O comportamento das células-teste apresentou-se do seguinte forma (figuras 7.34 e 7.35):

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) obteve o melhor comportamento térmico, ao atingir as menores temperaturas internas do ar, em relação as demais células-teste;
2. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) e a casa 3 (isolante sobre a laje) demonstraram comportamento térmico semelhante, pois suas temperaturas apresentaram valores aproximados;
3. a casa 2 (referência) apresentou o resultado menos satisfatório, comparando-se com a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) e a casa 3 (isolante sobre a laje). Na casa 2 (referência) ocorreram as menores diferenças entre os máximos ($\Delta t_{\max 21}$), na média 1 C° e quase 2,8 C° acima da temperatura do ar externo. Com exceção das 19 horas, a temperatura do ar interno estava próxima do valor limitante superior (29 C°), proposto por Givoni (1992).

Às 19 horas, dentro deste período noturno, onde as células-teste apresentaram o seguinte comportamento:

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou, entre as três células-teste, a maior diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 11n_1}$) entre a temperatura do ar interno e a temperatura do externo às 19 horas, com valor de 3,89 C°;

2. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou o segundo melhor comportamento às 19 horas, com a diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3 1 n_1}$) entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, no valor de 3,59 C°;

3. a casa 2 (referência) demonstrou o resultado menos satisfatório da diferença entre os máximos ($\Delta t_{\max 2 1 n_1}$) entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo 3,2 C°.

No período noturno entre 0 e às 6 horas, período onde figuravam os menores valores das temperaturas do ar externo, todos abaixo dos 26 C°, recomendou-se que haja um bom fluxo de ventilação interna, para que as temperaturas internas pudessem se aproximar do limitante de conforto inferior (18° C°), de acordo com Givoni (1992). Assim, o comportamento térmico das células-teste foi o seguinte:

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”), entre as três células-teste, obteve as maiores diferenças dos máximos ($\Delta t_{\max 1 1 n_2}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, apresentando o melhor comportamento térmico entre as células-teste (2,30 C° às 4 horas);

2. o segundo melhor comportamento foi da casa 3 (isolante sobre a laje), apresentando o maior valor da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3 1 n_2}$) 2, 24 C°, às 4 horas;

3. o terceiro melhor desempenho térmico foi da casa 2 (referência), com o maior valor de diferença entre os máximos ($\Delta t_{\max 2 1 n_2}$) 1,96 C°, às 4 horas;

O valor da diferença dos máximos (Δt_{\max}) entre a casa 1 e a casa 3 é de 0,06 C°, o que demonstrou que o desempenho térmico de ambas, são bem semelhantes.

No período matutino, entre 6:30 e 11:30 horas, as temperaturas atingiram valores dentro dos limitantes de conforto (18 C° e 29 C°), propostos por Givoni (1992), verificou-se o seguinte comportamento térmico (figura 7.34):

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o comportamento térmico muito semelhante, com a diferença dos máximos em relação à temperatura do ar externo ($\Delta t_{\max 1m}$) 2,20 C° às 7 horas e ($\Delta t_{\max 3m}$) 2,23 C° também às 7 horas, respectivamente;

2. o desempenho térmico menos satisfatório observou-se na casa 2 (referência), com diferença entre os máximos ($\Delta t_{\max 2m}$) 1,7 C° às 7 horas;

3. a partir das 9 horas, os valores da temperatura do ar externo ultrapassaram os valores da temperatura do ar interno, portanto a diferença dos máximos apresentou valores negativos até às 11:30 horas, demonstrando estar mais confortável dentro da casa, do que no ambiente externo.

No período vespertino, a temperatura do ar externo estava mais elevada, com valores maiores do que o limitante superior de conforto (29 C°) determinado por Givoni (1992). O comportamento térmico das células-teste apresentou-se da seguinte forma (figura 7.38):

1. a casa 1, que possui o isolante térmico tipo “sandwich” na subcobertura, foi a que demonstrou as maiores diferenças entre os máximos ($\Delta t_{\max 1v}$) com as temperaturas do ar interno, apresentando portanto, os menores valores. Essa diferença chega a ser – 1,44 C° às 12 horas, que manteve negativa até às 16 horas. Neste intervalo de tempo, o valor da temperatura do ar externo esteve sempre superior à temperatura do ar interno. Entre 17 e 18 horas, a diferença permaneceu em torno de 4,3 C°.

2. a casa 3, que recebeu a instalação da espuma diretamente sobre a laje, foi a que apresentou o segundo melhor resultado, quanto à diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3v}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. Entre 12 e 15 horas a temperatura do ar externo se manteve superior à temperatura do ar interno. Esta diferença entre os máximos variou em torno de 1 C° neste horário. Observou-se uma maior variação entre 17:30 e 18:30 horas, quando a diferença dos máximos chegou a atingir aproximadamente 4 C°. Vale ressaltar, que o desempenho térmico da casa 1 e da casa 3 foram bem semelhantes. A variação da diferença entre os máximos não ultrapassou 0,5 C°.

3. a casa 2, que não possui isolante térmico na subcobertura, obteve o terceiro lugar, quanto aos valores da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 21v}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. No intervalo entre 12 e 13 horas a diferença dos máximos atingiu valores negativos, porém a partir das 13:30 horas, não ultrapassa 1 C° até às 18 horas.

Da análise dos resultados obtidos através do monitoramento experimental, das três células-teste neste período 1 descrito, o comportamento térmico do isolante entre as telhas na subcobertura (casa 1), mostrou-se mais satisfatório do que as demais células-teste. Porém, ressaltou-se que o isolante diretamente sobre a laje (casa 3), em determinados horários (de 9 à 14 horas), apresentou o comportamento térmico semelhante à casa 1.

Período 2 – 15 a 29 de abril de 2003 – telha pintada de branco.

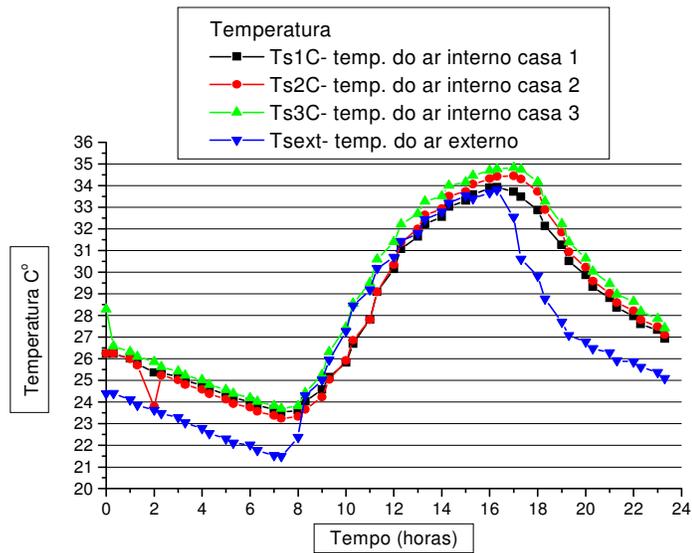


Fig 7.36. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 2.

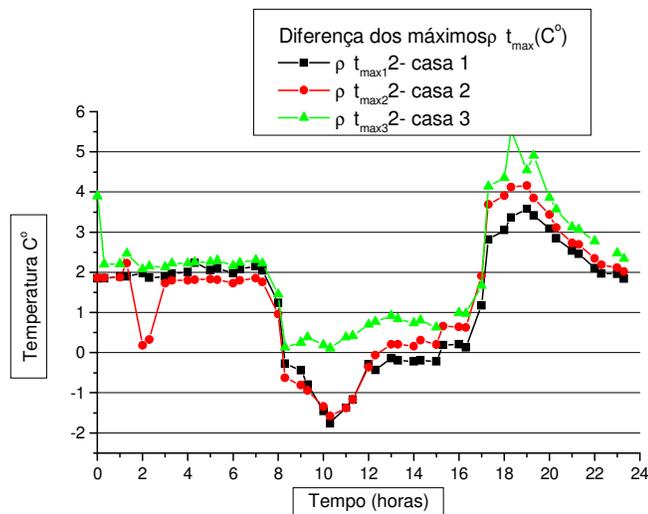


Fig. 7.37. Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 2}$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 2.

Analisando os dias de 15 a 29 de abril de 2003, com a telha pintada com tinta branca, no período noturno de 19 às 23:30 horas, as temperaturas externas do ar iniciaram a diminuir, como no período anterior. De acordo com o valor limitante superior de 29 C° proposto por Givoni (1992), a temperatura do ar externo apresentava-se dentro da faixa de conforto térmico (figuras 7.39 e 7.40).

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) obteve o melhor comportamento térmico, ao atingir as menores temperaturas internas do ar, em relação a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje);
2. a casa 3 (isolante sobre a laje) e a casa 2 (referência) demonstraram os valores de temperaturas bem aproximados;
3. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou o resultado menos satisfatório, comparando-se com a casa 1 (isolante tipo “sandwich”). Na casa 3 (isolante sobre a laje) ocorreram as maiores diferenças entre os máximos, na média 4 C° e quase 2,7 C° acima da temperatura do ar externo.

Às 19 horas, dentro deste período noturno, onde as células-teste apresentaram o seguinte comportamento (figura 7.40):

1. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou entre as três células-teste, a maior diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3 2 n_1}$) entre a temperatura do ar interno e a temperatura do externo às 19 horas, com valor de 4,54 C°;
2. a casa 2 (referência) apresentou o segundo melhor comportamento às 19 horas, com diferença dos máximos entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, no valor de 4,16 C°;
3. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou o resultado menos satisfatório de diferença dos máximos entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo 3,09 C°.

No período noturno entre 0 e às 6 horas, período onde os valores das temperaturas do ar externo apresentaram os menores valores, todos abaixo dos 26,5 C°, recomendou-se que haja um bom fluxo de ar, tanto no ático (espaço entre a telha e o forro), como no interior do ambiente, para que as temperaturas internas possam se aproximar ao limitante de conforto inferior (18° C°), de acordo com o estudo de Givoni (1992). Assim, o comportamento térmico das células-teste foi o seguinte:

1. a casa 3, com o isolante colocado diretamente sobre a laje, entre as três células-teste, obteve as maiores diferenças dos máximos ($\Delta t_{\max 3 2 n_2}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, apresentando o melhor comportamento térmico entre as células-teste (3,90 C° às 00 horas);
2. o segundo melhor comportamento foi da casa 1 (isolante tipo “sandwich”), com o valor da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 1 n_2}$) 2,60 C°, às 5 horas;
3. o terceiro melhor desempenho térmico foi da casa 2 (referência), com o maior valor da diferença dos máximos 1,88 C°, às 00 horas;

A diferença entre o valor dos máximos entre a casa 1 e a casa 3, nestes horários foi de 0,3 C°, o que demonstrou que o desempenho térmico de ambas possuía algumas semelhanças.

No período matutino, entre 6:30 e 11:30 horas, as temperaturas atingiram valores dentro dos limitantes de conforto (18 C° e 29 C°), propostos por Givoni (1992). Ao analisar o comportamento térmico, verificou-se (figura 7.40):

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o comportamento térmico similar, com a diferença dos máximos em relação à temperatura do ar externo ($\Delta t_{\max 1 2 m}$) 2,15 C° às 7 horas e ($t_{\max 3 2 m}$) 2,31 C° também às 7 horas, respectivamente;
2. o desempenho térmico menos satisfatório verificou-se na casa 2 (referência), com a diferença dos máximos 0,96 C° às 8 horas;

3. a partir das 9 horas, os valores da temperatura do ar externo ultrapassaram os valores da temperatura do ar interno. A diferença dos máximos apresentou valores negativos até às 11:30 horas, demonstrando estar mais confortável dentro da casa, do que no meio externo.

No período vespertino, quando os valores da temperatura do ar externo estavam mais elevados durante à tarde, com valores superiores ao limitante superior de conforto (29 C° - Givoni, 1992), observou-se o comportamento térmico das células-teste como da seguinte forma: (figura 7.40):

1. a casa 1, que estava com o isolante térmico tipo “sandwich” na subcobertura, foi a que evidenciou as maiores diferenças dos máximos ($\Delta t_{\max 12v}$) entre as temperaturas do ar interno e as temperaturas do ar externo. Isto significa dizer que a casa 1 apresentou as menores temperaturas internas. Essa diferença chega a ser de $-1,37\text{ C}^\circ$ às 11 horas e se manteve negativa até às 15 horas. Neste intervalo de tempo, o valor da temperatura do ar externo esteve sempre superior à temperatura do ar do ambiente interno. Entre 17 e 18 horas, a diferença dos máximos permaneceu em torno de $3,3\text{ C}^\circ$.

2. a casa 3, que recebeu a instalação da espuma diretamente sobre a laje em sua subcobertura, foi a que apresentou o segundo melhor resultado, quanto à diferença dos máximos entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. Entre 12 e 16 horas a temperatura do ar externo permaneceu bem próxima à temperatura do ar interno. Esta diferença dos máximos variou em torno de 1 C° nestes horários. Entre 17:30 e 18:30 horas, a diferença dos máximos atingiu aproximadamente $4,4\text{ C}^\circ$, demonstrando o comportamento térmico distinto durante a tarde. Vale ressaltar, que o desempenho térmico da casa 1 e da casa 3 foi similar, a diferença entre os máximos não ultrapassou $0,6\text{ C}^\circ$.

3. a casa 2, que não possuía isolante térmico na subcobertura, obteve o terceiro lugar, quanto aos valores das diferenças dos máximos entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. No intervalo entre 12 e 13 horas a diferença atingiu valores negativos, porém a partir das 13:30 horas, não ultrapassou 1 C° até às 16:30 horas. No intervalo entre 17:30 e 18 horas a diferença passou a ser de 3 C° .

Da análise dos resultados obtidos através do monitoramento experimental, das três células-teste no período 2, o comportamento térmico do isolante entre as telhas na subcobertura (casa 1), demonstrou ser o melhor entre as demais células-teste. Porém, ressaltou-se que o isolante diretamente sobre a laje (casa 3), em determinados horários, apresentou o comportamento térmico semelhante à casa 1. Verificou-se que no verão, a casa 1, com isolante tipo “sandwich”na subcobertura, apresentou excelente desempenho térmico, principalmente no período noturno.

Período 3 – 16 a 30 de julho de 2003 – telha pintada de branco

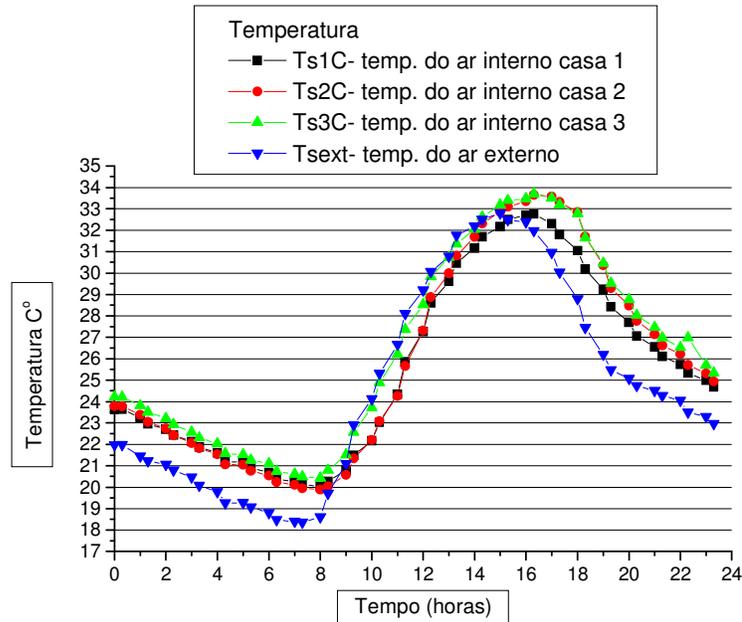


Fig 7.38. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 3.

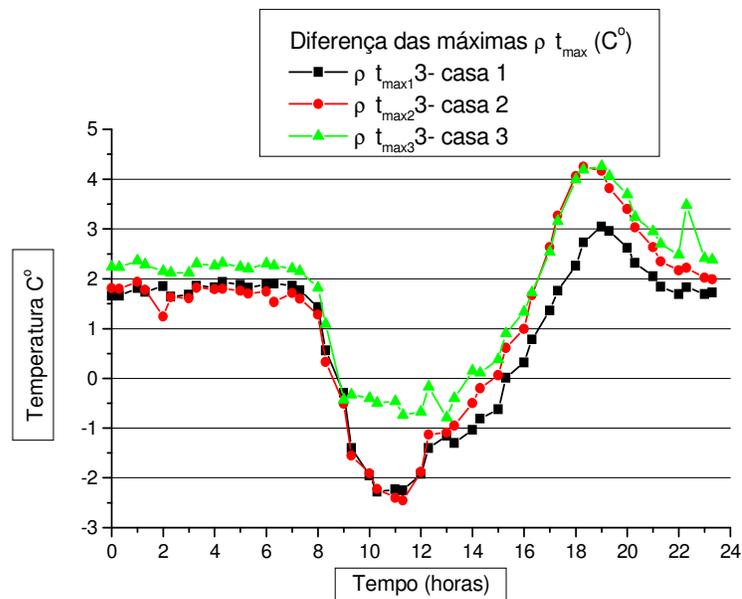


Fig. 7.39. Comportamento da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3}$) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 3.

No período noturno de 19 às 23:30 horas, as temperaturas externas do ar, como nos períodos anteriores, começaram a diminuir. Porém de acordo com o método de conforto térmico proposto por Givone (1992), cujo valor limitante superior é de 29 C°, até às 20:30 horas, as temperaturas ainda se apresentaram acima do valor limitante superior. O comportamento das células-teste apresentou-se do seguinte maneira (figuras 7.38 e 7.39):

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) obteve o melhor comportamento térmico, ao atingir as menores temperaturas internas do ar, em relação as demais células-teste, após às 20:30 horas;
2. a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje) demonstraram comportamento térmico semelhante, pois suas temperaturas apresentaram valores aproximados, entre 19 e 20:30 horas;
3. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou ligeiramente, o resultado menos satisfatório, comparando-o com a casa 2 (referência).
4. com relação a diferença entre os máximos, na casa 1 (isolante tipo “sandwich”) ocorreram as menores diferenças entre os máximos ($\Delta t_{\max 1 3}$), na média 2 C° e quase 3 C° acima da temperatura do ar externo. Com exceção dos horários entre 19 e 20:30 horas, as temperaturas do ar interno estavam próximas do valor limitante superior (29 C°), proposto por Givoni (1992).

No período noturno entre 0 e às 6 horas, período onde os valores das temperaturas do ar externo apresentaram os menores valores, todos abaixo dos 26 C°, recomendou-se que haja um bom fluxo de ventilação interna, para que as temperaturas internas aproximem-se ao limitante de conforto inferior (18° C°), de acordo com Givoni (1992). Assim, o comportamento térmico das células-teste foi como a seguir:

1. a casa 3 (isolante sobre a laje), entre as três células-teste, obteve as maiores diferenças dos máximos ($\Delta t_{\max 3 3n_2}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, apresentando maior diferença térmica entre as células-teste (2,30 C° às 4 horas);

2. o segundo melhor comportamento foi da casa 1 (isolante tipo “sandwich”), apresentando o maior valor da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 1 3n_2}$) 1,83 C°, às 4 horas;

3. o terceiro melhor desempenho térmico foi da casa 2 (referência), com o maior valor de diferença entre os máximos ($\Delta t_{\max 2 3n_2}$) 1,70 C°, às 4 horas;

No período matutino, entre 6:30 e 11:30 horas, as temperaturas atingiram seus valores dentro dos limitantes de conforto (18 C° e 29 C°), propostos por Givoni (1992), verificou-se o seguinte comportamento térmico (figura 7.38):

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o comportamento térmico muito semelhante, com a diferença dos máximos em relação à temperatura do ar externo ($\Delta t_{\max 1 3m}$) 1,86 C° às 7 horas e ($\Delta t_{\max 3 1m}$) 2,20 C° também às 7 horas, respectivamente;

2. o desempenho térmico menos satisfatório observou-se na casa 2 (referência), com diferença entre os máximos ($\Delta t_{\max 2 3m}$) 1,7 C° às 7 horas;

3. nas três células-teste, a partir das 9 horas, os valores da temperatura do ar externo ultrapassaram os valores da temperatura do ar interno, portanto a diferença dos máximos apresentou valores negativos até às 15 horas, demonstrando estar mais confortável dentro da casa, do que fora dela.

No período vespertino, a temperatura do ar externo estava mais elevada, com valores maiores do que o limitante superior de conforto (29 C°) determinado por Givoni (1992). O comportamento térmico das células-teste apresentou-se assim (figura 7.38):

1. a casa 1, que possuía o isolante térmico tipo “sandwich” na subcobertura, foi a que demonstrou as maiores diferenças entre os máximos ($\Delta t_{\max 1 3v}$) com as temperaturas do ar interno, apresentando portanto, as menores temperaturas internas. Essa diferença chega a ser de 2 C° às 12 horas, que se manteve negativa até às 15 horas. Neste intervalo de tempo, o valor da

temperatura do ar externo esteve sempre superior à temperatura do ar interno. Entre 17 e 18 horas, a diferença permanece em torno de $2,3\text{ C}^\circ$.

2. a casa 3, que recebeu a instalação da espuma diretamente sobre a laje, foi a que apresentou o segundo melhor resultado, quanto à diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 3v}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. Entre 12 e 15 horas a temperatura do ar externo se manteve superior à temperatura do ar interno. Esta diferença entre os máximos variou em torno de 1 C° neste horário. Observou-se uma maior variação entre 17:30 e 18:30 horas, quando a diferença entre os máximos chegando a atingir aproximadamente $3,9\text{ C}^\circ$. Vale ressaltar, que o desempenho térmico da casa 1 e da casa 3 foram semelhantes. A variação entre diferença entre os máximos não ultrapassou $0,6\text{ C}^\circ$.

3. a casa 2, que não possuía isolante térmico na subcobertura, obteve o terceiro lugar, quanto aos valores da diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 23v}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. No intervalo entre 12 e 14 horas a diferença dos máximos atingiu valores negativos, porém às 18 horas, esta diferença apresentou-se em torno de 4 C° .

Da análise dos resultados obtidos através do monitoramento experimental das três células-teste neste período 3 descritas, o comportamento térmico do isolante entre as telhas na subcobertura (casa 1), mostrou-se mais satisfatório do que as demais células-teste. Porém, ressaltou-se que o isolante diretamente sobre a laje (casa 3), em determinados horários (de 9 à 15 horas), apresentou o comportamento térmico semelhante à casa 1. Entre 0 e 6 horas, observou-se o melhor comportamento térmico na casa 3 (isolante sobre a laje).

Período 4 - 14 a 28 de agosto de 2003 – telha cor natural.

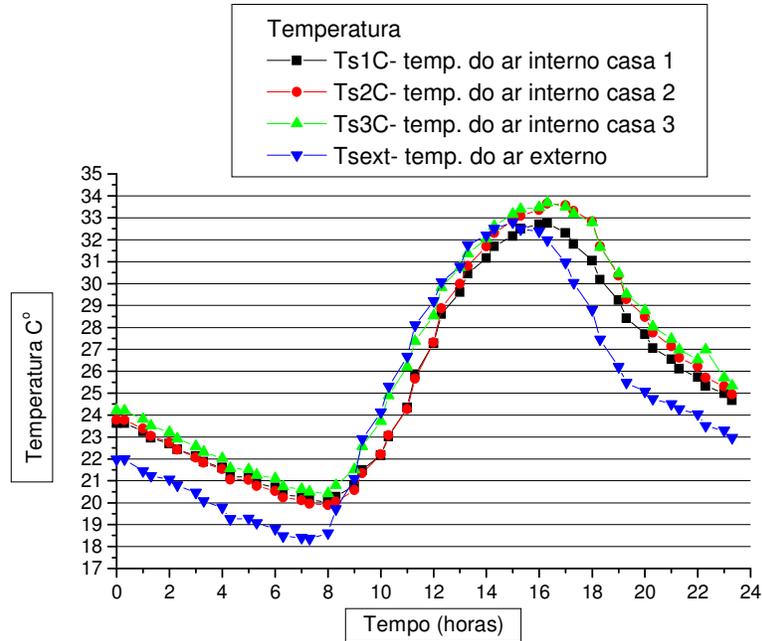


Fig 7.40. Comparação entre a temperatura do ar externo e a temperatura ar interno a 1,10 m do piso das três células-teste monitoradas, no período 4.

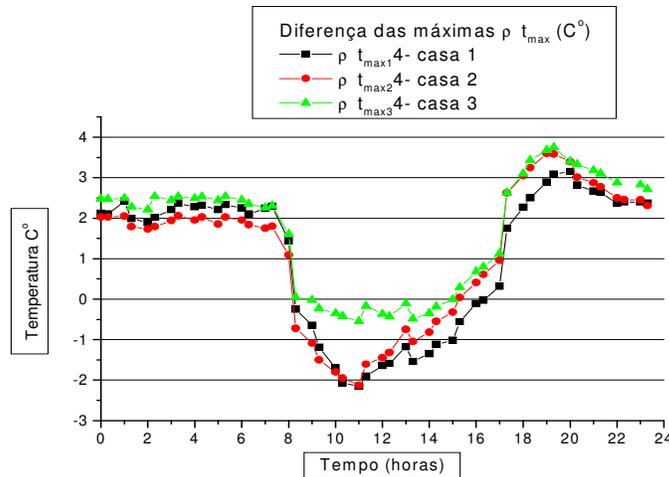


Fig. 7.41. Comportamento da diferença dos máximos (Δt_{max4}) das três células-teste, relacionando a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, ao longo do período 4.

Analisando os dias de 14 a 28 de agosto de 2003, com a telha cor natural (cinza claro), no período noturno de 19 às 23:30 horas, as temperaturas externas do ar iniciaram a diminuir, da mesma maneira como nos outros períodos estudados. De acordo com o valor limitante superior de 29 C° proposto por Givoni (1992), a temperatura do ar externo apresentava-se dentro da faixa de conforto térmico (figuras 7.40 e 7.41).

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) obteve o melhor as menores temperaturas internas do ar, em relação a casa 2 (referência) e a casa 3 (isolante sobre a laje);
2. nestes horários a casa 2 (referência) apresentou menores temperaturas internas comparando-se com a casa 3 (isolante sobre a laje), porém a maior diferença entre a temperatura interna e externa neste período verificou-se na casa 3 (isolante sobre a laje);
3. na casa 3 (isolante sobre a laje) ocorreram as maiores diferenças térmicas, na média 3,1 C° nestes horários e quase 3,9 C° acima da temperatura do ar externo.

Às 19 horas, dentro deste período noturno, onde as células-teste apresentaram o seguinte comportamento (figura 7.40):

1. a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentou entre as três células-teste, a maior diferença dos máximos entre a temperatura do ar interno e a temperatura do externo às 19 horas, com valor de 3,98 C°;
2. a casa 2 (referência) apresentou o segundo melhor comportamento às 19 horas, com a diferença entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo, no valor de 3,60 C°;
3. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) demonstrou o resultado menos satisfatório apresentando a diferença entre a temperatura do ar interno e a temperatura do ar externo 2,89 C°.

No período noturno entre 0 e às 6 horas, período onde os valores das temperaturas do ar externo demonstraram os menores valores, todos abaixo dos 26,5 C°, recomendou-se que haja

um bom fluxo de ar, tanto no ático (espaço entre a telha e o forro), como no interior do ambiente, para que as temperaturas internas possam se aproximar do valor limitante de conforto inferior (18 C°), de acordo com o estudo de Givoni (1992). Assim, o comportamento térmico das células-teste foi como a seguir:

1. a casa 3, com o isolante colocado diretamente sobre a laje, entre as três células-teste, obteve as maiores diferenças entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno, apresentando o melhor comportamento térmico entre as células-teste (2,47 C° às 00 horas);
2. o segundo melhor comportamento foi da casa 1 (isolante tipo “sandwich”), apresentando o valor da maior diferença dos máximos entre as temperaturas interna e externa 2,42 C°, a 1 hora;
3. o terceiro melhor desempenho térmico foi da casa 2 (referência), com o maior valor da diferença 2 C°, às 00 horas;

No período matutino, entre 6:30 e 11:30 horas, as temperaturas atingiram valores dentro dos limitantes de conforto (18 C° e 29 C°), propostos por Givoni (1992). Ao analisar o comportamento térmico, verificou-se (figura 7.40):

1. a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) e a casa 3 (isolante sobre a laje) apresentaram o comportamento térmico com a diferença em relação à temperatura do ar externo e interno 2,24 C° às 7 horas e 2,26 C° também às 7 horas, respectivamente;
2. o desempenho térmico menos satisfatório observou-se na casa 2 (referência), com amplitude térmica 1 C° às 8 horas;
3. a partir das 9 horas, os valores da temperatura do ar externo ultrapassam os valores da temperatura do ar interno, portanto a diferença entre as temperaturas apresentou valores negativos até às 16 horas, demonstrando estar mais confortável dentro da casa, do que no ambiente externo.

No período vespertino, quando os valores da temperatura do ar externo estavam mais elevados durante a tarde, com valores superiores ao limitante superior de conforto (29 C°), segundo Givoni (1992), observa-se o comportamento térmico das células-teste como a seguir (figura 7.40):

1. a casa 1, que possui o isolante térmico tipo “sandwich” na subcobertura, foi a que evidenciou as maiores diferenças entre as temperaturas do ar interno e as temperaturas do ar externo. Isto significou dizer que a casa 1 apresentou as menores temperaturas internas. Essa diferença chega a ser por volta de 1,64 às 12 horas, que se manteve negativa até às 15 horas. Neste intervalo de tempo, o valor da temperatura do ar externo esteve sempre superior à temperatura do ar do ambiente interno. Entre 17 e 18 horas, a diferença se manteve em torno de 2 C°.

2. a casa 3, que recebeu a instalação da espuma diretamente sobre a laje em sua subcobertura, foi a que apresentou o segundo melhor resultado, quanto à diferença dos máximos entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. Entre 12 e 16 horas a temperatura do ar externo apresentou seu valor quase semelhante à temperatura do ar interno. A diferença dos máximos variou em torno de - 1 C° nestes horários. A maior diferença observou-se entre 17:30 e 18:30 horas, chegando a atingir aproximadamente 3,1 C°.

3. a casa 2, que não possuía isolante térmico na subcobertura, obteve o terceiro lugar, quanto aos valores das diferenças dos máximos ($\Delta t_{\max 24v}$) entre a temperatura do ar externo e a temperatura do ar interno. No intervalo entre 12 e 15 horas a diferença dos máximos ($\Delta t_{\max 24v}$) atingiu valores negativos. A partir das 13:30 horas, essa diferença não ultrapassou - 0,32 C° até às 15 horas. No intervalo entre 17:30 a 18 horas a amplitude passou a ser de 2,6 C°.

Da análise dos resultados obtidos através do monitoramento experimental, das três células-teste no período 4, o comportamento térmico do isolante entre as telhas na subcobertura (casa 1), mostrou-se mais satisfatório do que as demais células-teste. Porém, ressaltou-se que o isolante diretamente sobre a laje (casa 3), em determinados horários, apresentou o comportamento térmico semelhante à casa 1. Observou-se que no verão, a casa 1, com isolante

tipo “sandwich”na subcobertura, apresentou excelente desempenho térmico, principalmente no período noturno.

7.5. Síntese do capítulo

Analisando-se no contexto geral as interações entre os parâmetros: orientação e materiais construtivos das células-teste, relacionado-os com os dados monitorados das temperaturas internas, externas e superficiais , o comportamento térmico das 3 (três) células-teste observou-se o seguinte:

Período 1 – 10 a 24 de março de 2003 (final de verão)

Neste período a casa 3, com o isolante térmico diretamente sobre a laje apresentou o melhor térmico de 9 às 15 horas, horário de maior quantidade de carga térmica que atingiu a célula-teste.

Interessante ressaltar, que devido ao atraso e amortecimento térmico nestas mesmas horas, as três células-teste apresentaram as temperaturas internas mais baixas do que as externas. Observaram-se também, as maiores diferenças entre as temperaturas internas e externas, na casa 3.

Devido à perda de calor para o ambiente externo , de 18 às 23:30 horas, na casa 3 monitoraram-se as menores temperaturas internas, resultantes do atraso térmico causado pelo conjunto espuma+laje.

A casa 3 (isolante sobre a laje), em termos gerais, demonstrou estar em melhores condições. de conforto térmico. A partir de 0 às 7 horas, a casa 1 com seu isolante tipo “sandwich”, foi a que apresentou o melhor desempenho. Comparando-se o comportamento térmico das três células-teste durante este período de pesquisa o ambiente apresentou-se abafado, em algumas horas. Recomendou-se porém, um incremento na velocidade do ar interno, para diminuir a umidade do ambiente.

Período 2 – 15 a 24 de abril de 2003 (outono)

Analisando-se as temperaturas internas e superficiais, de 9 às 14 horas, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) demonstrou melhor comportamento térmico. Das 15 às 23:30 horas o melhor foi a casa 3 (isolante sobre a laje) e de 0 às 8 horas continuou-se com a casa 3. Entretanto, para implementar o desempenho, seria necessário um incentivo para aumentar a ventilação interna, ajudando não só no resfriamento do ar quente, como também para diminuir a umidade relativa interna..

No período 2, devido ao atraso e amortecimento térmico dos materiais construtivos, de 9 às 14 horas, as temperaturas internas manifestaram nas três células-teste, valores inferiores aos das temperaturas externas. Esta diferença apresentou-se com maior intensidade na casa 3 (isolante sobre a laje).

Período 3 – 16 a 30 de julho de 2003 (inverno)

Apesar deste período encontrar-se no inverno, as temperaturas internas, externas e superficiais apresentaram valores elevados (incomum para esta época do ano) e baixa umidade relativa. Ao observar os dados climáticos de 2003, relativos à cidade de Ilha Solteira-SP (v. anexo I), este ano de características climáticas atípicas, apresentou temperaturas externas máximas acima de 30°C.

Após o estudo das temperaturas internas, externas e superficiais, de 9 às 14 horas, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) demonstrou melhor comportamento térmico, justificando-se através do atraso e amortecimento térmico dos materiais construtivos. Neste horário as temperaturas internas das três células-teste estavam mais elevadas do que as temperaturas externas. A casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou as maiores diferenças entre as temperaturas internas e externas.

Entre 15 e 18 horas, o melhor desempenho observou-se na casa 3 (isolante sobre a laje). Das 17 às 23:30 horas, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) demonstrou o comportamento térmico satisfatório. E entre 0 às 8 horas a casa 1 (isolante tipo sandwich”) permaneceu com o melhor desempenho.

No contexto geral, no período 3, na casa 1 (isolante tipo “sandwich”) observou-se o melhor comportamento térmico.

Período 4 – 14 a 28 de agosto de 2003 (final de inverno)

O comportamento das células-teste neste período foi similar ao do período anterior. Ao analisar as temperaturas internas, externas e superficiais, de 9 às 16:30 horas, o desempenho satisfatório observou-se na casa 1 (isolante tipo “sandwich”). Como nos períodos anteriores, este fenômeno explicou-se através do atraso e amortecimento térmico dos materiais construtivos, pois as temperaturas internas encontravam-se mais baixas do que as externas. Esta diferença apresentou-se com maior intensidade na casa 1 (isolante tipo “sandwich”).

De 17 às 20 horas, o melhor comportamento permaneceu na casa 1 (isolante tipo “sandwich”). De 21 às 23:30 horas observou-se na casa 3 (isolante sobre a laje) e, de 0 às 8:30 horas, o melhor comportamento térmico retornou a casa 1 (isolante tipo “sandwich”).

7.5. Considerações finais

No decorrer deste trabalho, ao se comparar as informações contidas na revisão bibliográfica com os resultados obtidos na investigação experimental, tentou-se fazer uma pequena contribuição para a análise de desempenho térmico com o isolante estudado.

Algumas recomendações encontradas em trabalhos científicos, demonstraram ser um pouco genéricas, tratando-se de pesquisa experimental. Além da influência da latitude, deveria-se observar a estação climática do ano em curso, a mobilidade de orientação da cobertura nos

diferentes meses do ano (caso seja possível), pois estes dados, apresentaram divergências no comportamento térmico da edificação durante todo o ano.

Um fator relevante a ser comentado é o caimento da cobertura para a oeste, 12 m² de área. A incidência da radiação solar direta poderia ter menor impacto, caso a inclinação da telha fosse para leste ou norte. Apesar da pesquisa ter sido monitorada na subcobertura, também as fachadas recebem considerável quantidade de radiação solar pela manhã e durante a tarde. As fachadas norte-sul possuem área útil de 7,5 m² e, as de leste-oeste, 5 m², cada uma. Na prática, o estudo do desempenho térmico da subcobertura e das fachadas deveria ser combinado, com a finalidade de determinar o total de fluxo de calor interno, e caso seja necessário, calcular a energia gasta para remoção do ar quente do ambiente interno.

Para realização deste trabalho experimental, além de material técnico, foi necessário estar munido de paciência e persistência, principalmente por ser uma pesquisa desenvolvida em ambiente real, onde não há controle climático, como em um ambiente fechado. Ocorreram várias dificuldades e imprevistos, inclusive a falta de disponibilidade de um número maior de células-teste, entre outras coisas. Entretanto, espera-se que os resultados apresentados possam incentivar mais pesquisadores a tentarem estudar novos tipos de materiais isolantes, para diferentes regiões climáticas. Buscando enriquecer a arquitetura bioclimática e propiciar aos projetistas ferramentas que possibilitem a atenuação das hostilidades climáticas em edificações.

CAPÍTULO 8 - Conclusão

8.1. Conclusão

Nesta pesquisa experimental foi estudado o comportamento térmico de subcoberturas utilizando a espuma poliuretana de mamona, no contexto climático da cidade de Ilha Solteira-SP.

Utilizou-se quatro células-teste com coberturas de fibrocimento e espuma poliuretana de mamona na subcobertura, em diferentes posições sob a telha. Elegeram-se a casa 2 (sem isolante térmico) como referência, para compará-la com o comportamento térmico da casa 1 e casa 3.

Monitoraram-se as temperaturas internas, externas, as temperaturas superficiais dos elementos construtivos e as umidades relativas, durante quatro períodos distintos:

Período 1 – 10 a 24 de março de 2003;

Período 2 – 15 a 29 de abril de 2003;

Período 3 – 16 a 30 de julho de 2003;

Período 4 – 14 a 28 de agosto de 2003.

Analisando-se no contexto geral as interações entre os parâmetros: orientação e materiais construtivos das células-teste, relacionado-os com os dados monitorados das temperaturas internas e superficiais, a casa 1 (isolante tipo “sandwich”) apresentou o melhor desempenho térmico durante os quatro períodos estudados.

Analisando-se detalhadamente aos dados de temperaturas interna e externa de acordo com o período climático do ano, para melhor entendimento, observou-se o melhor comportamento térmico das células-teste da seguinte maneira:

- Período 1 – casa 3 (isolante sobre a laje);
- Período 2 – casa 3 (isolante sobre a laje);
- Período 3 – casa 1 (isolante tipo “sandwich”);
- Período 4 – casa 1 (isolante tipo “sandwich”).

Observou-se algumas variações nos valores das temperaturas, apesar destas interferências não pertencerem aos objetivos desta pesquisa, algumas reflexões foram elaboradas:

a) com relação à temperatura interna e superficial o acabamento das superfícies externa e interna das células-teste (paredes e cobertura) e suas características termofísicas (inerentes ao material), influenciam o desempenho térmico da edificação;

b) novamente, quanto ao comportamento das temperaturas interna e superficial deve-se monitorar a interação entre a estação do ano e a colocação do isolante térmico na subcobertura. Dependendo da estação em curso, observou-se alteração nos valores registrados.

Em relação ao uso da cor na telha, as células-teste com a telha pintada na cor branca apresentaram menores temperaturas máximas e mínimas no período de verão. No período de inverno não apresentaram grandes variações nas temperaturas internas e superficiais, ao longo das 24 horas do dia.

8.2. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros que complementem e proporcionem melhor entendimento no desempenho térmico das edificações, sugere-se alguns tópicos:

1. avaliar a aplicação da espuma poliuretana de mamona nas subcoberturas, utilizando telhas de diferentes materiais;
2. monitorar as temperaturas interna e superficial utilizando ventilação mecânica e, quantificar a energia gasta em refrigeração. Posteriormente, calcular o custo desta energia consumida;

3. comparar os valores das temperaturas do item anterior com os valores desta pesquisa atual e, desenvolver um estudo sobre economia de energia, estabelecendo os meses em que o uso da refrigeração torna-se imprescindível para a manutenção da saúde do corpo como um todo;
4. monitoramento de subcoberturas utilizando a manta de alumínio sob e sobre a espuma poliuretana à base de óleo de mamona;
5. monitoramento das mesmas células-teste desta pesquisa, utilizando telhas de fibrocimento já escurecidas pelo envelhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Norma 15220-3. *Desempenho Térmico de Edificações*. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, 2005.
- ABREU, A. L. *Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso*. (Tese de Doutorado). Pós-graduação em Engenharia Civil/Universidade de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2004.
- AKUTSU, M. *Recursos para previsão do desempenho térmico de uma edificação*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NAS EDIFICAÇÕES. São Paulo, junho 1988. p. 109-126.
- AKUTSU, M. & SATO, N. *Análise comparativa do comportamento térmico de alguns tipos de edificações convencionais*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL. São Paulo, SP, outubro, 1988. p. 633-646.
- AKUTSU, M. & SATO, N. *Propriedades termofísicas de materiais e componentes de construção*. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES/ PROJETO LIX DA CUNHA, São Paulo, Pini, 1988. p. 519-522.
- AKUTSU, M. & VITTORINO, F. *Cargas térmicas em edificações: métodos de cálculo e a influência do projeto arquitetônico*. Construção. São Paulo, 1989.
- AKUTSU, M. & VITTORINO, F. *A importância do projeto arquitetônico no desempenho térmico das edificações*. Construção, São Paulo, nº 2284, 1991.
- AKUTSU, M. & VITTORINO, F. *Aplicação de isolantes térmicos em edificações: efeito no conforto térmico e nas cargas térmicas de condicionamento de ambientes*. In: Anais do ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1990. Gramado – RS, 1990. p. 69 – 78.
- AKUTSU, M. & VITTORINO, F. *Critérios para a avaliação do desempenho térmico de edificações não condicionadas*. Construção, São Paulo, nº 2326, 1992.

- AKUTSU, M. & VITORINO, F. *Processo para avaliação do desempenho térmico de edificações*. In: SIMPÓSIO ÍBERO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA – HABITAÇÃO. São Paulo, 1993. p. 32.
- AKUTSU, M. & VITTORINO, F. *Desempenho térmico de telhas de alumínio*. In: Anais do V ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO – AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Fortaleza – CE, 1999.
- ALFREY, T. & GURNEE, E. *Polímeros orgânicos*. Ed. Edgar Blücher Ltda./EDUSP. São Paulo, 1971.
- ALUCCI, M. *Critérios para implantação de conjuntos habitacionais em clima quente e úmido*. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES/PROJETO LIX DA CUNHA. São Paulo, Pini, 1987. p. 523-526.
- AMERICAN SOCIETY HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING-ASHRAE. Handbook of fundamentals. *Thermal environment conditions for human occupancy*. Standard 55 – 1992, Atlanta, USA, 1992
- ARAÚJO, L. *Caracterização química, térmica e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos*. (Dissertação de Mestrado). EESC/USP. São Carlos/SP, 1992.
- ARAÚJO, V. *Aplicação de método de simulação do desempenho térmico de edificações*. EESC/USP, São Carlos. São Paulo, 1987. (Dissertação de Mestrado).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 11506. *Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – determinação da massa específica aparente*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 12094. *Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – determinação da condutibilidade térmica*.
- ASSOCIATION SPECIAL TECHNICAL PUBLICATION – ASTM. *Manual on the use of thermocouples in temperature measurement*, 3 ed., july, 1979. 252p.
- AYOADE, J. *Introdução a climatologia para os trópicos*. São Paulo. Difel, 1991.
- BADRAN, A. *Performance of cool towers under various climates in Jordan*. Energy and Building, n° 5, p. 1031 – 1035, 2003.
- BASSO, A. e CORREA, M. *Ação da temperatura sobre a laje de cobertura de edifícios*. In: Anais do ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, Florianópolis, 1993. ANTAC, ABERGO, SOBRAC, Florianópolis – SC, 1993.
- BRASILIT – www.brasilit.com.br/produtos (maio 2007).

- BUFFINGTON, E.; AROCHO, A.; CATON, G.; PITY, D. TACHER, E. & COLIDER, R. *Black globe-humidity confort index for dairy caws*. St. Joseph, Michigan. American Society of Agricultural Engineeres, 1977. 19p. (paper 77 – 4517).
- CARLETTO, C. *Subcoberturas: aplicação de isolantes térmicos em sistemas de cobertura*. (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos - SP, 2005.
- CASTRO, A. *Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células – teste*. (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Campinas – SP, 2006.
- CAVALCANTE, E. *Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes condições de uso e manejo em Selvíria – MS*. UNESP – Campus de Ilha Solteira – SP, 1999. (Dissertação de Mestrado).
- CAVALCANTI, J. *Estudo experimental comparativo entre resfriamento evaporativo e radiativo em ambientes cobertos com telhas de fibrocimento em região de clima quente e úmido*. 2001. 148p. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP. São Paulo, 2001
- CHVATAL, K. M. S. *A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima*. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas/SP, 1998.
- DOMÍNGUEZ et al. *Control climático en espacios abiertos – el proyecto Expo’92*. Grupo de Termotecnia. Depto. de Ingeniería y Mecánica de Fluidos. Universidad de Sevilla. Sevilla – España, 1992.
- DORNELLES, K. *Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA*. (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP. Campinas – SP, 2008.
- ESMAY, M. L. *principles of animal environment*. Wesport: C. T. AVI Publisching, 1979. 325p.
- FEIS/UNESP. *Dados climáticos*. Campus de Ilha Solteira.
<http://www.agr.feis.unesp.br/clima.html> (novembro 2007).
- FERREIRA, O. & ALMEIDA, A. *Revestimentos poliméricos para proteção à corrosão bacteriológica do concreto*. In: ANAIS DO 41^o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – IBRACON 99. Salvador – Ba, setembro, 1999.
- FLAUZINO, W. D. *Durabilidade de materiais e componentes das edificações – metodologias e suas aplicações no caso de pinturas externas e chapas onduladas de plásticos*. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/USP. São Paulo/SP, 1983.

- FORSDYKE, A. *Previsão do tempo e clima*. Tradução Ferro, F. Série Prisma. Ed. Melhoramentos. São Paulo, 1981.
- GIVONE, B. *Experimental performance of cooling shower tower in Japan*. Energy and Buildings, n° 28, p. 25-32, 1998.
- GIVONE, B. *Performance of the shower cooling tower in different climates*. Renewable Energy, v. 10, n° 2/3, p. 173 – 178, 1997.
- GIVONE, B. *Passive and low energy cooling of buildings*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1994.
- GUTIERREZ, G. *Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo*. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP. Campinas – SP, 2004.
- IBGE – Sistema de informações estatísticas e geográficas (SIEG), CD-Rom. São Paulo, 2000
- ILHA SOLTEIRA. Informações históricas, culturais e turismo de Ilha Solteira – inventário de Ilha Solteira. Assessoria de Turismo – Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, 1999.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. Elaboração de critérios para classificação de edificações segundo seu desempenho térmico. Relatório n° 30.923. São Paulo, 1992.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – *Moderate thermal environments. Determination of the ppd indices and specification of the conditions for thermal comfort*. (ISO 7730 – 1998).
- KOENISBERGER, O.; INGERSOL, T.; MAYHEN, A. & SZOKOLAY, S. *Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Trad. Emílio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977. 329p.
- KOEPPEN, W. *Climatologia com um estudio de los climas de la tierra*. Trad. Pedro R. Henrichs. México. Fondo de Cultura Econômica, 1984. 478p.
- KUSUDA, T. & ISHII, K. *Solar radiation for vertical and horizontal surfaces for average day in the United States and Canadá*. 1977 (Building Science Series 96).
- LAMBERTS, R. *Influência do desempenho térmico de coberturas leves com ático no conforto térmico de casas populares*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1990. Gramado-RS. **Anais...** Gramado: ENTAC, 1991. p. 41-44.
- MANO, E. *Introdução aos polímeros*. Ed. Edgard Blücher Ltda. 1985.
- MARCHESONI, F. *Argamassas poliméricas celulares de poliuretana de origem vegetal*. (Dissertação de Mestrado), 130p. EESC/USP. São Carlos/SP, 2000.

- MELO, C. *Influência dos parâmetros físicos e geométricos das edificações na carga térmica*. ((Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 1990.
- MIANA, A. *Avaliação do desempenho térmico de brises transparentes: ensaio em células – teste*. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP. Campinas – SP, 2005.
- MOURA, D; GUELFILHO, H.; SILVA, I. & CONSIGLIERO, F. *Materiais de construção: desempenho das telhas térmicas nos índices de conforto*. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Londrina, PR, julho, 1991. p. 114-131.
- NAHAR, N. ; SHARMA, P. & PUROHIT, M. *Studies on solar passive cooling techniques for arid areas*. Energy and Conversion and Management, n° 40, p.89 – 95, 1999.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro. IBGE, 1979.
- OGURA, M.; AKUTSU, M. & LOPES, D. *Análise da influência das janelas no desempenho térmico da edificação*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL. São Paulo, outubro, 1989. p.543-552.
- OLGYAY, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4 ed. Princeton: Princeton University, 1973. 190p.
- OMETTO, J. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- PERALTA, G. *Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica*. (Dissertação de Mestrado). EESC – Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2006.
- PEREIRA, C.; LAMBERTS, R. e ROMAN, H. *Avaliação do desempenho térmico de coberturas e análise das tensões de cisalhamento aplicadas à alvenaria*. In: Anais do ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Rio de Janeiro, 1995. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Rio de Janeiro – RJ, 1995. v. 2, p. 581 – 586.
- PEREIRA, A.; SILVA, S.; SAKAMOTO, W. & CHIERICE, G. *Estudo da dosagem de solo-polímero para construção de habitações de interesse social*. In: ANAIS DO 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS – ABPol. São Paulo. Outubro de 1993. pp 55-59.
- PICCI, F. *Impermeabilização para coberturas*. São Paulo, PINI/IBI, 1986.
- RIVERO, R. *Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural*. D.C. Luzzato. Porto Alegre 1986.

- ROCHA, A. C. *Materiais plásticos para construção civil*. Laboratório Nacional de Engenharia, ICT. Lisboa, 1990.
- RORIZ, V. e RORIZ, M. *Sistemas evaporativos de resfriamento de cobertura: estudo de caso em São Carlos, SP, Brasil*. In: Anais em cd-rom do VIII ENCAC E IV ELACAC 2005 – ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. ANTAC 2005. Maceió – Alagoas, 2005.
- SANTOS, J. *O uso de polímeros na construção civil, aplicações, experimentos e perspectivas de uso futuro*. (Dissertação de Mestrado). Depto. Construção Civil. USP/São Carlos, São Carlos, 1996.
- SARDEIRO, P. *Parâmetros definidores na escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação*. (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP. Campinas – SP, 2007.
- SATO, N. *Modelo para cálculo de temperaturas e fluxos de calor em coberturas*. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES/ PROJETO DE DIVULGAÇÃO TECNOLÓGICA LIX DA CUNHA. São Paulo. Pini, 1988. p.447-480.
- SHARMA, V. & SHARMA, A. *Solar properties of some building elements*. Energy Oxford, v. 14, nº 12, p. 805-810. Oxford/UK, december, 1989.
- SILVA, A. *Estudos climáticos e ambiente construído no município de Descalvado – SP*. (Dissertação de Mestrado). CRHEA/EESC/USP, São Carlos – SP. 2001.
- SILVA, I.; GHELFI FILHO, H. & CONSIGLIERO, F. *Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos*. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Piracicaba, SP, julho, 1990. p.92-106.
- SILVA, I. *Contribuição ao estudo da utilização da resina poliuretana a base de óleo de mamona na construção civil*. (Dissertação de Mestrado), 163p. EESC/USP. São Carlos/SP, 1996.
- SOLY, A. *Botânica – introdução a taxionomia vegetal*. Ed. USP, 2ª edição. São Paulo, 1975.
- SOUZA, H.; PINTO, M.; H. NETO, A.; TRIBESS, A. *Avaliação do desempenho térmico de coberturas em habitações populares feitas em estrutura metálica*. In: Anais do ENCAC 2001 – VI ENCONTRO NACIONAL E III LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. CD-Rom. São Pedro – SP, 2001.
- SOUZA, L. *Desempenho térmico de coberturas: aplicação do programa NBSLD*. São Carlos/SP, (Dissertação de Mestrado). EESC/USP, 1990.
- SZOKOLAY, S. *Energia solar y edificación*. Ed. Blume. Barcelona, 1986.

- TEIXEIRA, C. *Comportamento térmico de coberturas de fibrocimento em Campinas – SP: aplicação de técnicas passivas*. (Dissertação de Mestrado), 2006. Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP. Campinas – SP, 2006. 131p.
- TIWARI, R.; KUMAR, A. & SODHA, M. *A review – cooling by water evaporation over roof*. Energy Conversion and Management, vol. 22, p. 143 – 153, 1992.
- VALENTIM, J. *Desempenho térmico: coberturas de fibrocimento*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo, SP, outubro, 1989, p.615-632.
- VECCHIA, F. *Clima e ambiente construído – a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. (Tese de Doutorado). 316p.
- VECCHIA, F. *Conceitos de arquitetura sustentável. “Desenvolvimento sustentável no ambiente construído”*. Notas de aula, 1999.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AGNELLI, J. ; GALLO, J. *Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio*. Polímeros, Ciência e Tecnologia – ABPol, v.8, n.1,1998, p.23 a 37.
- AKUTSU, M. *Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil*. 1998. 156 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- AKUTSU, M. VITTORINO, F. e KANACIRO, C. *Tratamento estatístico de dados climáticos para a definição dos períodos de verão e de inverno*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1993. p.185 – 191.
- ALUCCI, M. *Recomendações para adequação de uma edificação ao clima no Estado de São Paulo*, 1981. 2v. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.
- AMERICAN SOCIETY HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING-ASHRAE. *Handbook of fundamentals*. Atlanta/Georgia, USA. 1981.
- ARozTEGUI, J. *Método de projeto e avaliação de para-sóis externos visando a otimização do seu desempenho térmico para um clima dado*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, 1989, São Paulo. **Anais...** São Paulo:s.n., 1989. p. 583-589.
- BLAIR, T. *Meteorologia*. Rio de Janeiro: Ao livro Técnico, 1964.
- CASTRO, A. *Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica*. 2002. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002.
- CHICHERCHIO, L. *Desempenho térmico das construções*. 1981. (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

- CORBELLA, O. e CASTANHEIRA, R. *Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas Sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°*. In: ENCONTRO NACIONAL, 4, ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,3, São Pedro. Anais do ENCAC 2001. Campinas: ANTAC, 2001. CD-Rom.
- COSTA, E. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2000.
- FATHY, H. *Natural energy and vernacular architecture*. Chicago: University of Chicago, 1986.
- FERREIRA, O. *Cobertura em argamassa armada – uma alternativa para habitações de interesse social*. 1992. (Tese de Doutorado) – EDUSP, São Paulo, 1992.
- FERREIRA, F. et al. *Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil*. São Paulo:USP/Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2003. (Boletim técnico da Escola Politécnica/ USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil).
- FICHER, S. e ACAYABA, M. *Arquitetura moderna brasileira*. São Paulo: Projeto, 1982.
- FONSECA, M. *Desenho solar*. Salvador: Projeto, 1982.
- GERBI, A. *O novo mundo: história de uma polêmica (1750-1900)*. São Paulo: Cia das Letras, 1996.
- GIVONE, B. *Climate considerations in urban and building design*. New York: Jonh Wiley Sons, 1998.
- GRANJA, D. *Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- GRZESZCZYK, W. *Solar radiation and thermal environmental radiation in the function of corrected air-temperature in the heat-balance of buildings envelopes*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE IN HOUSING, 1996, Pecs, Hungary. **Conference...** Pecs: s.n., 1986. p F19 – F28.
- HOLDER, L. *Passive solar homes in hot-humid climates*. In: ANNUAL PASSIVE SOLAR CONFERENCE, 12, 1987, Portland. **Conference...** Portland: S.n., 1987.p. 11 -16.
- IZARD, J. ; GUYOT, A. *Arquitetura bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili, 1983. 192p.

- KOENIGSBERGER, O.; MAHONEY, C. *El clima y el diseño de casas*. New York: ONU, 1973.
- KREITH, F. *Princípios de transmissão de calor*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- KRÜGER, E. et al. *O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedação, quanto ao seu desempenho térmico*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.
- KRÜGER, E. et al. *Avaliação do desempenho térmico de coberturas constituídas de embalagens Tetra Pak*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC 8, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, ELACAC, 4, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ELACAC, 2005. p. 958 – 966.
- LABAKI, L. et al. *A reutilização de embalagens tipo “longa vida” como isolante térmico para coberturas de fibrocimento sem forro*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3, 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2003. 11p.
- LABAKI, L.; CARAM, R. ; FERREIRA, O. *Sustentabilidade e eficiência energética: avaliação do desempenho térmico de coberturas e do comportamento de materiais transparentes em relação à radiação solar*. São Paulo, 2002. (Relatório Parcial FAPESP referente a pesquisa nº 99/11097).
- LABAKI, L.; CARAM, R. ; FERREIRA, O. *Sustentabilidade e eficiência energética: avaliação do desempenho térmico de coberturas e do comportamento de materiais transparentes em relação à radiação solar*. São Paulo, 2003. (Relatório Parcial FAPESP referente a pesquisa nº 99/11097).
- LENGEN, J. *Manual Del arquitecto descalzo: como construir casas y otros edificios*. México: Ed. Concepto, 1980.
- LOMARDO, L. *O consumo de energia nos grandes prédios comerciais. Estudos de caso*. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1988.
- LYONS, P. e ARASTEH, D. *Window performance for human thermal comfort*. In: Proceedings of ASHRAE Winter Meeting, Dallas-Texas, USA. 5-9 fevereiro, 2000.
- MAHONEY, C. *Climate and house design*. New York: United Nations, 1971.
- MASCARÓ, L. *Luz, clima e arquitetura*. 3.ed. São Paulo: Nobel, 1983.
- MASCARÓ, L. *Energia na edificação – estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: Projeto, 1991.

- MILLER, W. et al. *Painted metal roofs are energy-efficient, durable and sustainable*. Disponível em: www.coolmetalroofing.org/pdf/paintedmetalroofs.pdf. Acesso em: 14 nov. 2007.
- MORAN, E. *Adaptabilidade humana*. São Paulo: EDUSP, 1994.
- MOURA, L.; LAMBERTS, R. ;PHILIPPI, P. ; SOUZA, R. *Protótipo Nacional de um equipamento de medição de condutividade térmica de materiais de construção*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, NUMERO, 1992, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENCAC, 1993. p.149 – 152.
- OLIVEIRA, M. *Isolamento térmico de coberturas através de fibra vegetal*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENLACAC, 2003.
- PAGANI, M. *Embalagens “longa vida” ao alcance de todos*. In: Revista CREA-SP, maio-junho, 2003.
- PAGANI, M. *Embalagem “longa vida” funciona como isolante térmico em moradias de baixa renda*. <http://www.unicamp.br>. Janeiro 2007.
- PENTAK. *Isofoil – isolante térmico para telhados*. <http://www.pentak.com.br>. março 2008.
- PERUZZO, F. e CANTO, E. *Química na abordagem do cotidiano*. 2.ed. São Paulo: Moderna, 1999. Cap. 15, v.3.
- SILVEIRA, W. et al. *Habitação de interesse social em Florianópolis (SC): critério para definição de coberturas*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENCAC, 2004.
- SIMIONI, N. et al. *Desempenho térmico de coberturas: uma análise usando diferenças finitas*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENLACAC, 2003.
- SZOKOLAY, S. et al. *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*. Oxford: Elsevier, 2004.
- SPIEGEL, M. *Estatística*. São Paulo: Makron Books, 1993.

- VECCHIA, F. *Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVLS)*. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL, PLURIS, 1, 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos-SP, 2005.
- VIANNA, N. S. *O estado da arte em ensino e pesquisa na área de conforto ambiental no Brasil*. São Paulo: USP/FAU, 2001.
- VIANELLO, R. e ALVES, F. *Meteorologia básica e suas aplicações*. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1991. 449p.
- VILLAS BOAS, M. *Significado da arquitetura nos trópicos – um enfoque bioclimático*. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE ARQUITETURA NOS TRÓPICOS, 1, 1985, Recife. **Anais...** Recife: Massangana, 1985. p. 35-57.

Ilha Solteira - Estação Agrometeorológica Automática Campbell CR 23x
Valores Médios Mensais Anos 1999-2003

Mês	TEMPERATURA °C		UMIDADE RELATIVA DO AR %		Pressão Atm mbar	Rad. Global MJ/m ² .dia	Rad. líquida MJ/m ² .dia	Flux de calor	Velocidade do vento (m/s)		Direção- vento °	Chuva mm	Insolação h/dia	
	Média	Máxima	Mínima	Máxima					Mínima	max.				média
Janeiro	26,45	32,28	21,83	93,04	48,5	972,47	21,34	15,37	1,1	5,37	2,55	103,17	226,57	6,78
Fevereiro	26,23	32,1	21,73	94,04	48,44	973,3	22,47	16,14	1,2	5,34	2,43	96,6	228,8	7,3
Março	26,35	32,23	21,93	93,8	47,68	973,3	20,55	14,7	1,1	5,78	1,15	133,63	106,65	7,53
Abril	26,2	32,23	20,75	89,18	38,95	974,88	19,28	13,43	0,93	5,45	1,25	120,1	42,25	8,7
Mai	22,33	28,43	17	90	66,75	960,6	15,65	10,45	0,85	5,65	1,38	119,53	40,1	7,8
Junho	22,2	29,15	16,03	89,58	35,98	977,18	13,7	8,9	0,75	5,55	1,35	112,04	12,75	8,35
Julho	21,07	28,45	14,63	86,2	31,84	977,25	15,48	10,63	0,65	6,43	1,68	114,88	14,4	8,1
Agosto	23,37	30,25	17,3	79,93	31,23	976,85	16,75	9,88	0,78	6,8	1,85	113,15	62,6	8,2
Setembro	24,2	30,85	18,45	82,58	35,4	975,18	18,35	11,53	0,95	7,03	1,98	117,93	78,25	7,48
Outubro	26,9	33,85	20,9	84,7	32,4	973	21,7	13,98	0,98	6,85	1,58	137,35	80,85	8,03
Novembro	26,46	32,56	21,73	90,16	43,36	971,7	22,6	15,96	1,23	7,13	1,63	140,6	93,35	7,93
Dezembro	26,43	32,23	21,86	91,43	45,86	971,8	22,8	15,96	1,23	6,43	1,4	150,3	279,15	7,3
Média	24,75	31,13	19,38	88,35	39,48	973,1	18,9	12,83	0,98	6,25	1,45	128,4	1348,6	7,8

A.1. Dados climáticos de Ilha Solteira – SP, referente ao período de 1999 – 2003.

A.I. Dados climatológicos de Ilha Solteira – SP, referentes ao período de 1999 a 2003.

Fonte: Estação Agrometeorológica de Ilha Solteira – SP. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

Estação Climatológica de Referência



INSTRUTHERM

**QUALIDADE EM
INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO**

INSTRUTHERM

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS INDUSTRIAIS

CERTIFICADO

PEDIDO DE SERVIÇO DO IPEI: N.º 24928

N.º 67.260/02

Página 1 de 2

EMPRESA: UNESP - UNIV. EST. PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO".
 ENDEREÇO: AV. ENG. LUIZ EDMUNDO CARRIJO COUBE, S/N - VARGEM LIMPA.
 CIDADE: BAURU U.F.: SP CEP: 17033-360

MATERIAL: TERMÔMETRO DE GLOBO DIGITAL

MODELO: TGD-200

FABRICANTE: INSTRUTHERM

N.º DE SÉRIE: 12339

NATUREZA DE TRABALHO: CALIBRAÇÃO

CONDIÇÕES DE CALIBRAÇÃO

TEMPERATURA: 23 ± 5 °C

UMIDADE: 45 à 65 % (U.R.)

PROCEDIMENTO: CMP 23.006

Rev.: 03

NORMA: IEC 751-83/95-07

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

* Termômetro de Resistência de Platina*

Fabricante: ISOTECH

Nº de Série: 1115

Órgão Calibrador: INMETRO

Nº Certificado/Relatório: 243/1998

Data da Calibração: 10/Dez/98

Prazo de Validade: 5 anos.

* Multímetro Digital HP 3458A *

Fabricante: Hewlett Packard

Nº de Série: 2823A13631

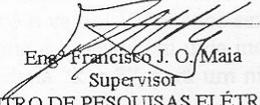
Órgão Calibrador: INMETRO

Nº Certificado/Relatório: DIMCI 0789/2002

Data de Calibração: 28/Maio/2002

Prazo de Validade: 1 ano.

São Bernardo do Campo, 09 de Setembro de 2002.


 Eng. Francisco J. O. Maia
 Supervisor
 CENTRO DE PESQUISAS ELÉTRICAS
 CREA N.º 0682345601/D

Ses/02

Os resultados apresentados no presente documento referem-se somente ao objeto ensaiado. A utilização dos resultados para fins promocionais depende de prévia autorização do IPEI. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita na íntegra, sem nenhuma alteração. A Instrutherm mantém uma parceria com o Instituto de Pesquisas e Estudos Industriais no que se refere à calibração com emissão de certificado do objeto acima.

INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA.

INSTRUTHERM

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS INDUSTRIAIS

PEDIDO DE SERVIÇO DO IPEI: N.º 24928

CERTIFICADO

N.º 67.260/02

Página 1 de 2

EMPRESA: UNESP - UNIV. EST. PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO".
 ENDEREÇO: AV. ENG. LUIZ EDMUNDO CARRIJO COUBE, S/N - VARGEM LIMPA.
 CIDADE: BAURU U.F.: SP CEP: 17033-360

MATERIAL: TERMÔMETRO DE GLOBO DIGITAL

MODELO: TGD-200

FABRICANTE: INSTRUTHERM

N.º DE SÉRIE: 12339

NATUREZA DE TRABALHO: CALIBRAÇÃO

CONDICÕES DE CALIBRAÇÃO

TEMPERATURA: $23 \pm 5^\circ\text{C}$

UMIDADE: 45 à 65 % (U.R.)

PROCEDIMENTO: CMP 23.006

Rev.: 03

NORMA: IEC 751-83/95-07

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

*** Termômetro de Resistência de Platina ***

Fabricante: ISOTECH

Nº de Série: 1115

Órgão Calibrador: INMETRO

Nº Certificado/Relatório: 243/1998

Data da Calibração: 10/Dez/98

Prazo de Validade: 5 anos.

*** Multímetro Digital HP 3458A ***

Fabricante: Hewlett Packard

Nº de Série: 2823A13631

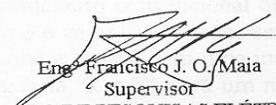
Órgão Calibrador: INMETRO

Nº Certificado/Relatório: DIMCI 0789/2002

Data de Calibração: 28/Maio/2002

Prazo de Validade: 1 ano.

São Bernardo do Campo, 09 de Setembro de 2002.


 Eng. Francisco J. O. Maia
 Supervisor

 CENTRO DE PESQUISAS ELÉTRICAS
 CREA Nº 0682345601/D

Ses/02

Os resultados apresentados no presente documento referem-se somente ao objeto ensaiado. A utilização dos resultados para fins promocionais depende de prévia autorização do IPEI. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita na íntegra, sem nenhuma alteração. A Instrutherm mantém uma parceria com o Instituto de Pesquisas e Estudos Industriais no que se refere à calibração com emissão de certificado do objeto acima.

INSTRUTHERM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA.

Desempenho térmico de edificações

Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social

Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 6

Na zona bioclimática 6 (ver figuras 1 e 2) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas A.III.1, A.III.2 e A.III.3.



Figura A.III.1 - Zona Bioclimática 6

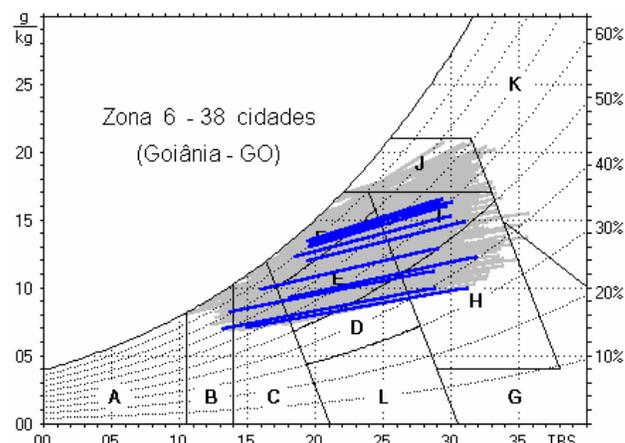


Figura A.III.2 - Carta Bioclimática apresentando as normas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ilha Solteira - SP

Tabela A.III.1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 6

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela A.III.2 – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 6

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve Isolada

Tabela A.III.3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 6

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: ABNT – NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações – parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. (2005).

GRÁFICOS

Neste anexo estão organizados os gráficos relativos aos períodos dos dados pesquisados:

Período 1 – telha natural

10 a 24 de março 2003

Período 2 – telha pintada de branco

15 a 29 de abril 2003

Período 3 – telha pintada de branco

16 a 30 de julho de 2003

Período 4 – telha natural

14 a 28 de agosto de 2003

A IV.1. Período 1 – Telha Natural – 10 a 24 de março de 2003.

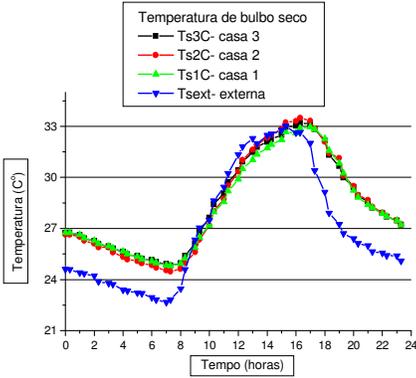


Gráfico A.1. Temperatura de b. seco p1.

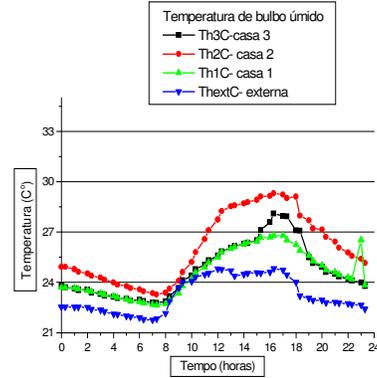


Gráfico A.2. Temperatura de b. úmido p1.

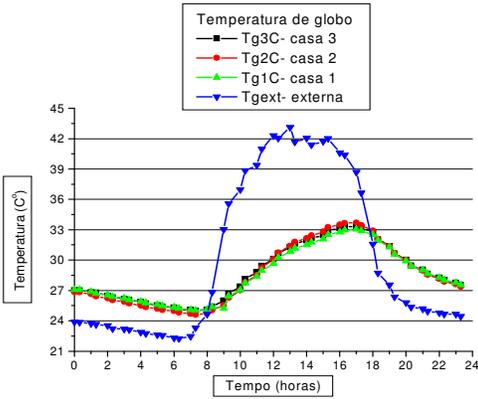


Gráfico A.3. Temperatura de globo p1.

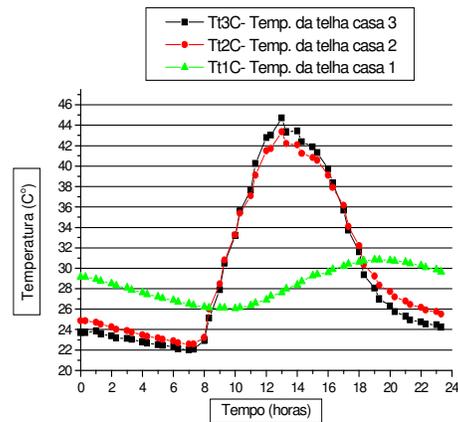


Gráfico A.4. Temperatura da telha p1.

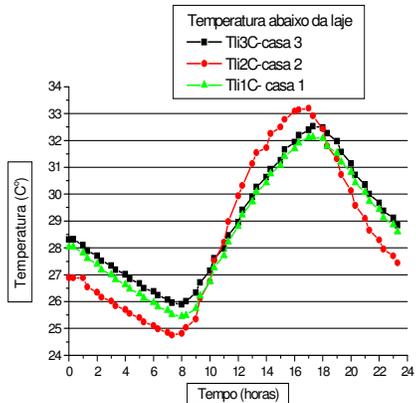


Gráfico A.5. Temperatura abaixo da laje p1.

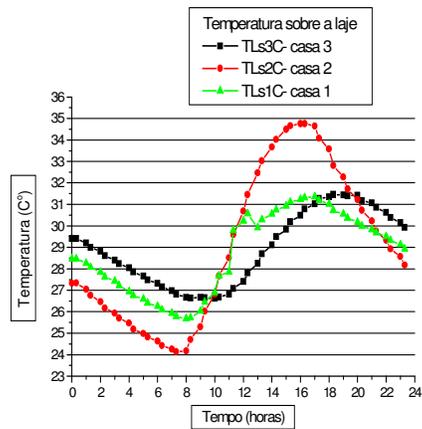


Gráfico A.6. Temperatura acima da laje p1.

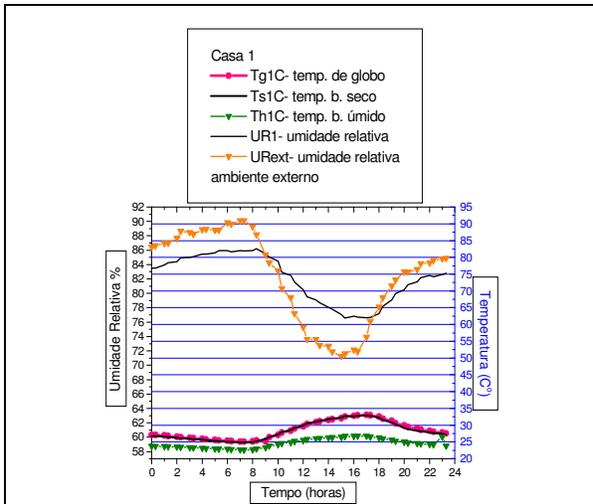


Gráfico A.7. Temperatura e umidade – Casa 1-p1.

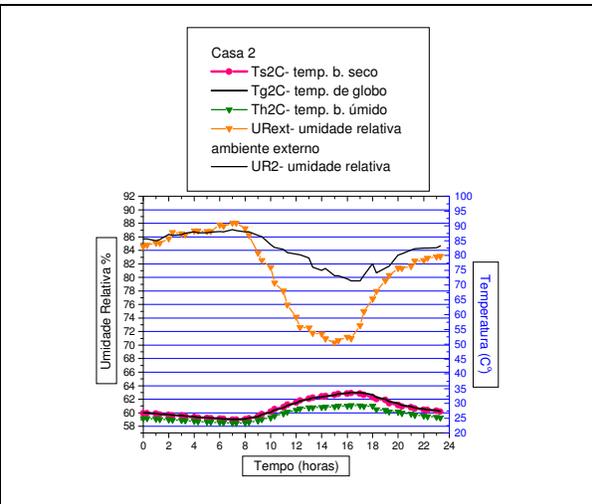


Gráfico A.8. temperaturas e umidade – Casa 2-p1.

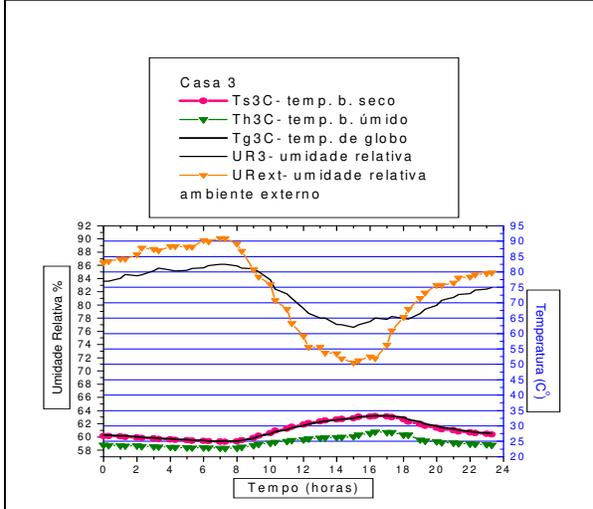


Gráfico A.9. Temperatura e umidade – Casa 3-p1.

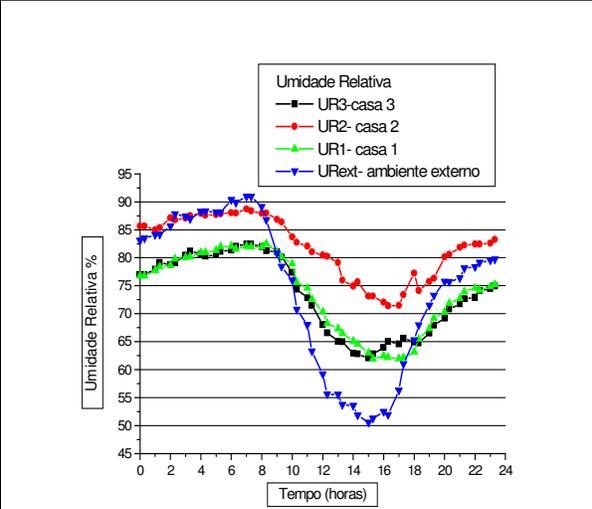


Gráfico A.10. Umidade relativa p1.

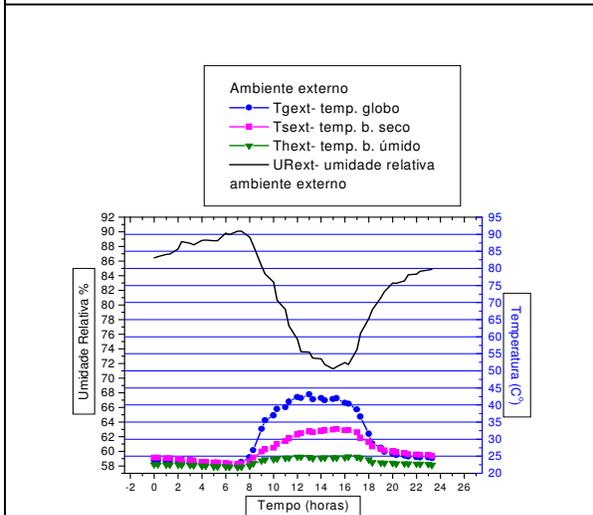


Gráfico A.11. Ambiente externo p1.

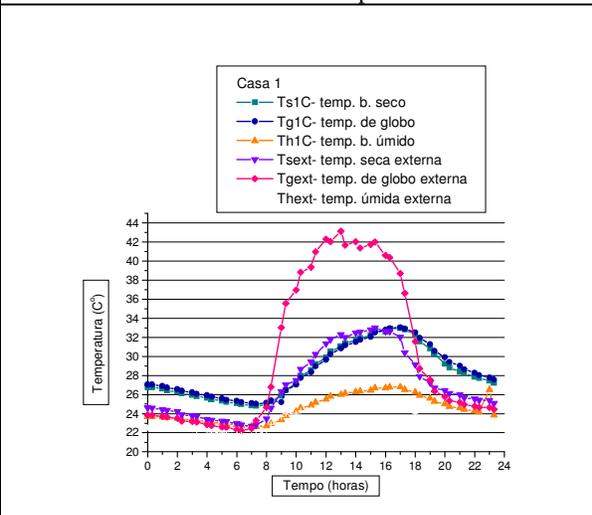


Gráfico A.12. Temperatura – Casa 1-p1.

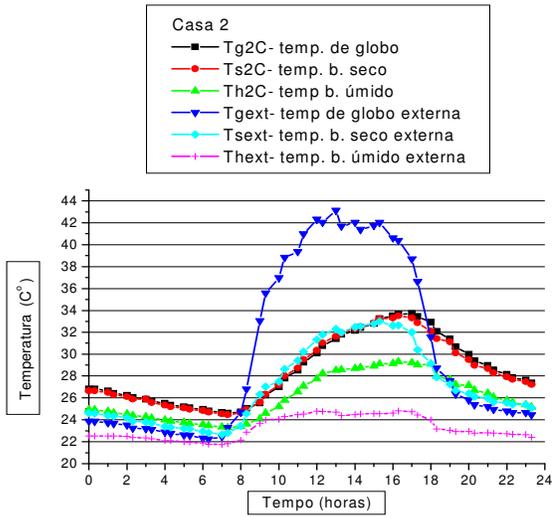


Gráfico A.13. Temperatura – Casa 2 - p1.

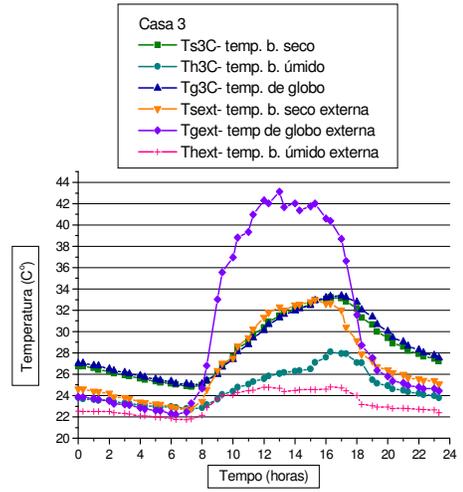


Gráfico A.14. Temperatura – Casa 3 - p1.

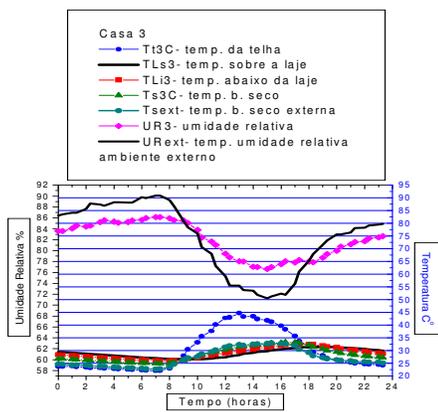


Gráfico A.15. Temperatura e umidade externa p1.

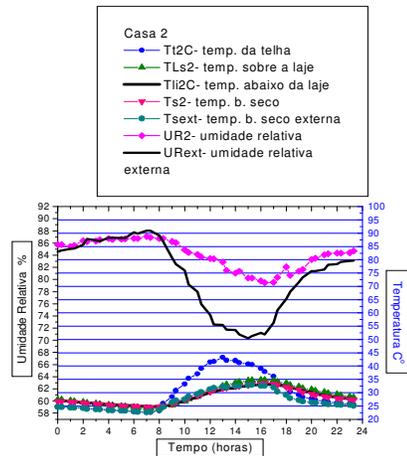


Gráfico A. 16. Temperatura e umidade externa p1.

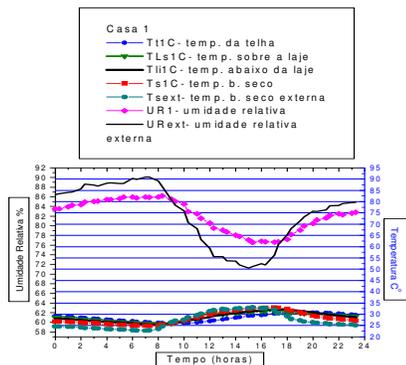


Gráfico A.17. Temperatura e umidade externa p1.

A.IV.2. Período 2- Telha pintada de branco. De 15 a 29 de abril de 2003.

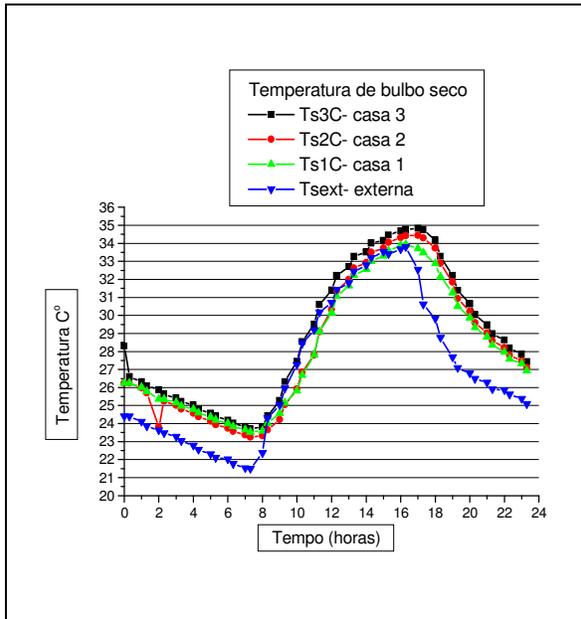


Gráfico A.18. Temperatura de b. seco p2.

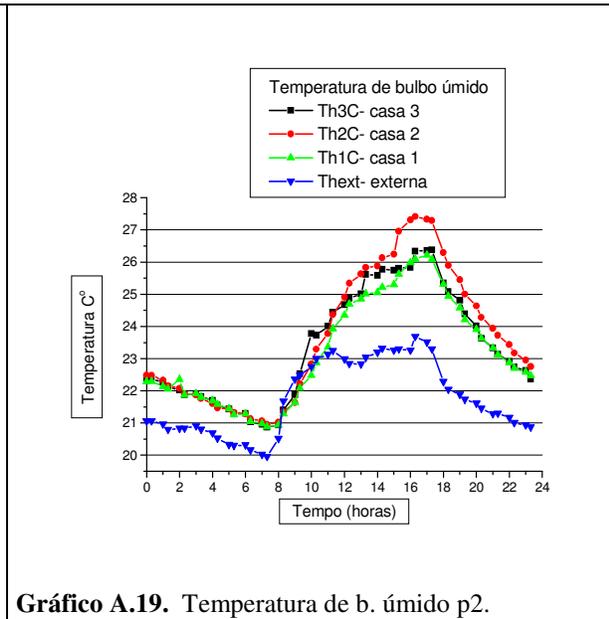


Gráfico A.19. Temperatura de b. úmido p2.

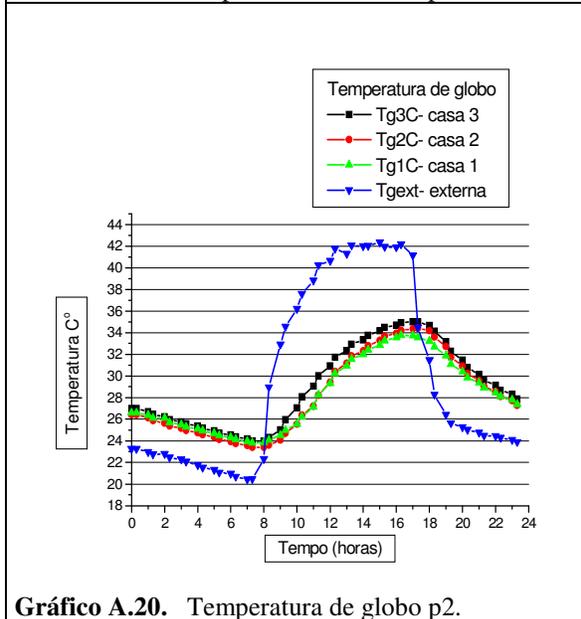


Gráfico A.20. Temperatura de globo p2.

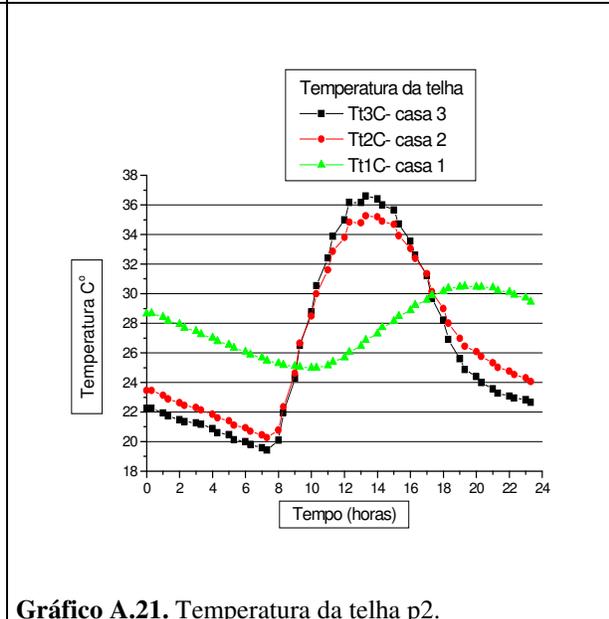


Gráfico A.21. Temperatura da telha p2.

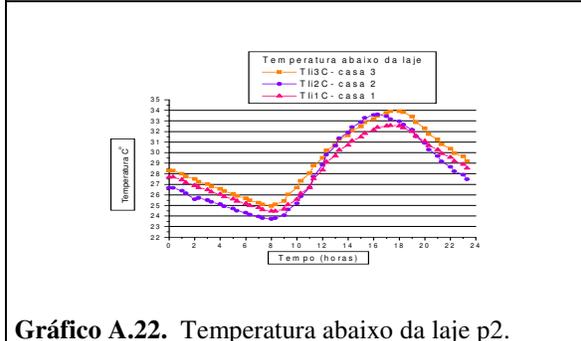


Gráfico A.22. Temperatura abaixo da laje p2.

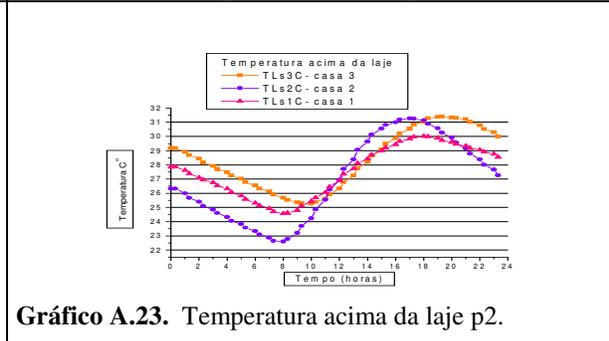


Gráfico A.23. Temperatura acima da laje p2.

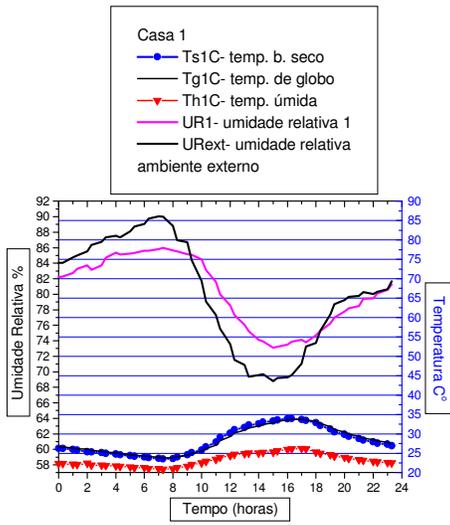


Gráfico A.24. Temperatura e umidade – Casa 1- p2.

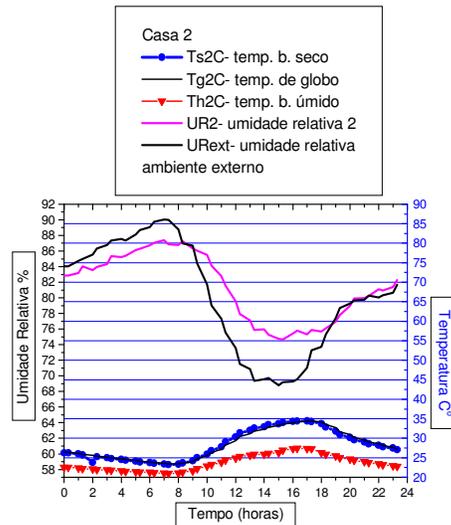


Gráfico A.25. temperatura e umidade – Casa 2 – p2.

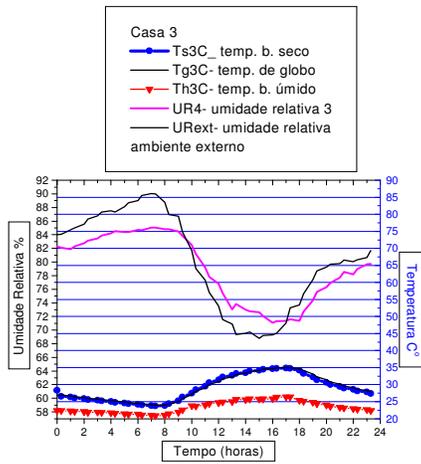


Gráfico A.26. Temperatura e umidade – Casa 3- p2.

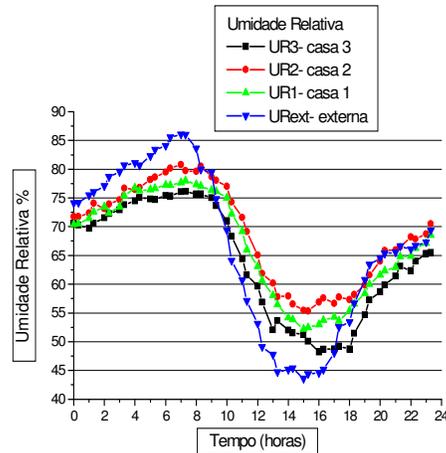


Gráfico A.27. Umidade relativa p2.

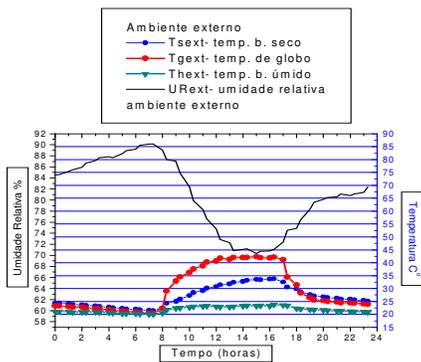


Gráfico A.28. Ambiente externo p2.

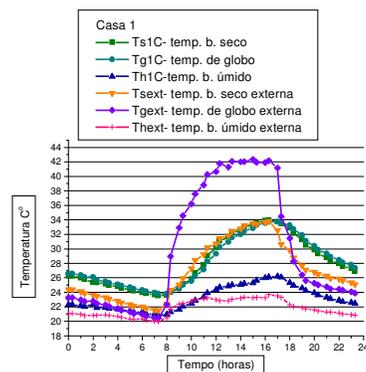


Gráfico A.29. Temperatura - Casa 1 – p2.

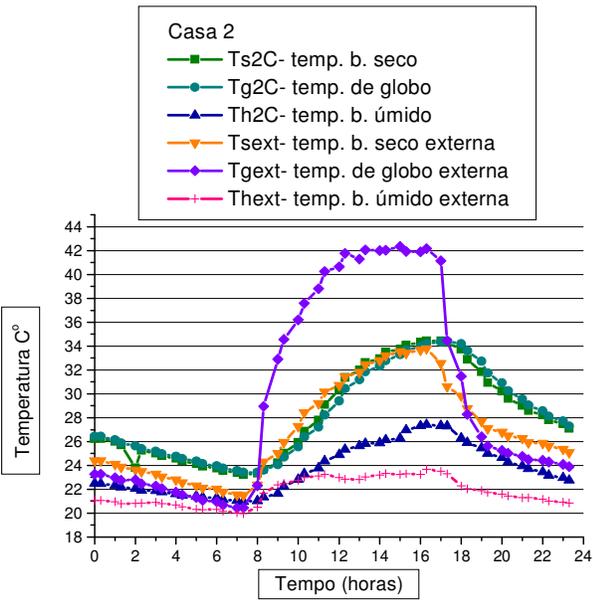


Gráfico A.30. Temperatura – Casa 2 – p2.

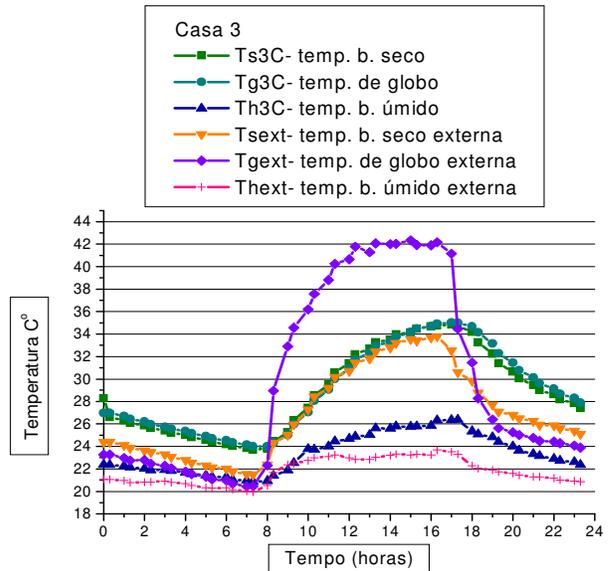


Gráfico A.31. Temperatura – Casa 3 – p2.

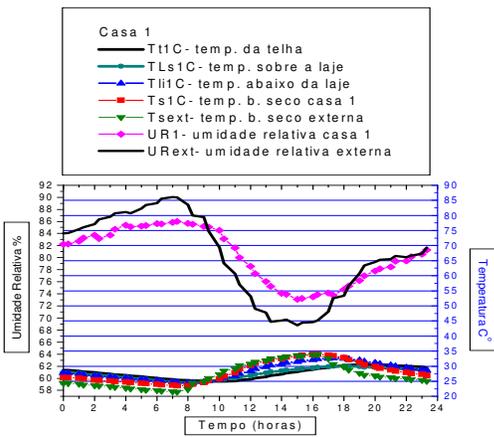


Gráfico A.32. Temperatura e umidade externa p2.

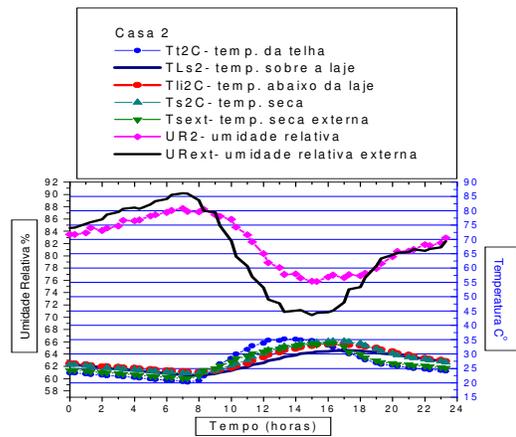


Gráfico A.33. Temperatura e umidade externa p2.

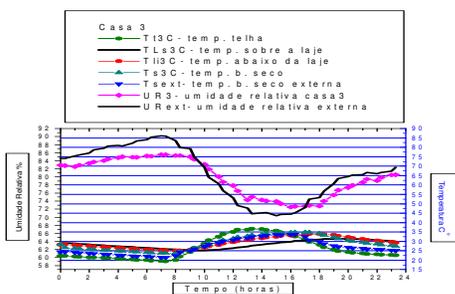


Gráfico A.34. Temperatura e umidade externa p2.

A.IV.3. Período 3 – Telha pintada de branco. De 16 a 30 de julho de 2003.

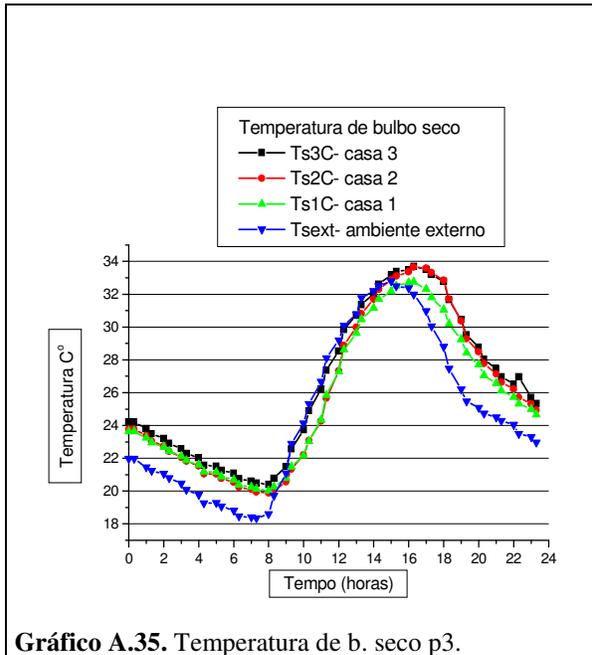


Gráfico A.35. Temperatura de b. seco p3.

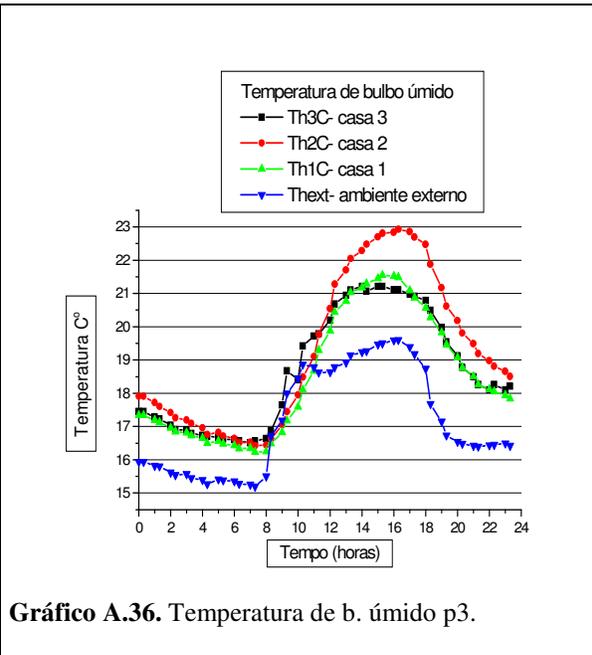


Gráfico A.36. Temperatura de b. úmido p3.

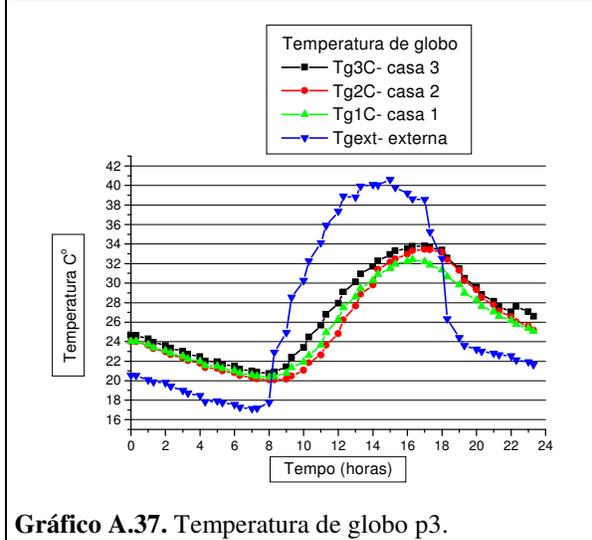


Gráfico A.37. Temperatura de globo p3.

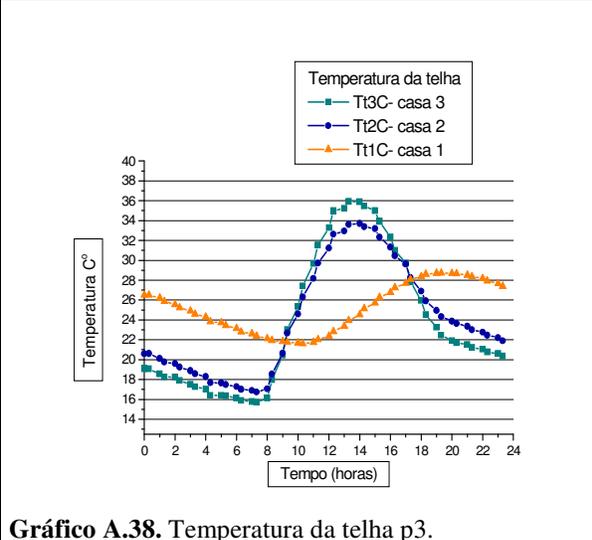


Gráfico A.38. Temperatura da telha p3.

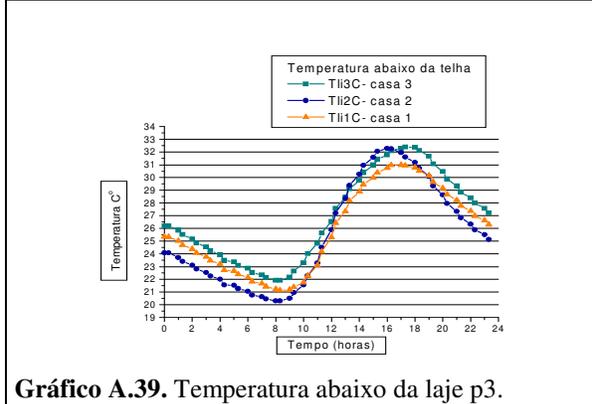


Gráfico A.39. Temperatura abaixo da laje p3.

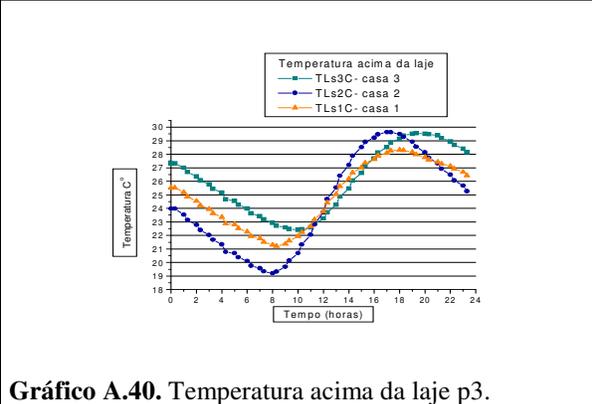


Gráfico A.40. Temperatura acima da laje p3.

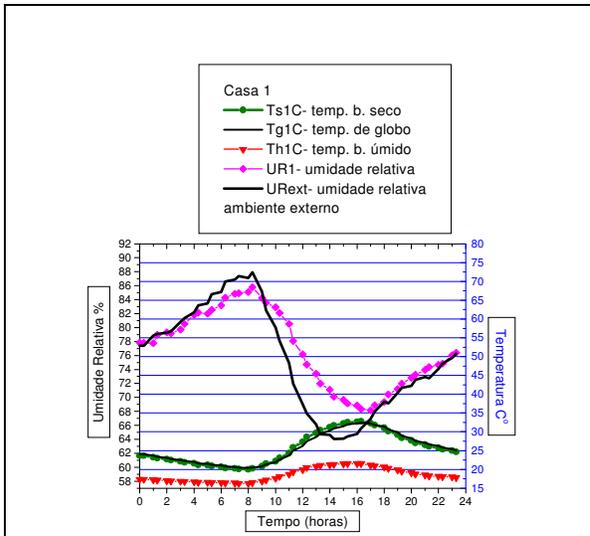


Gráfico A.41. Temperatura e umidade- Casa 1- p3.

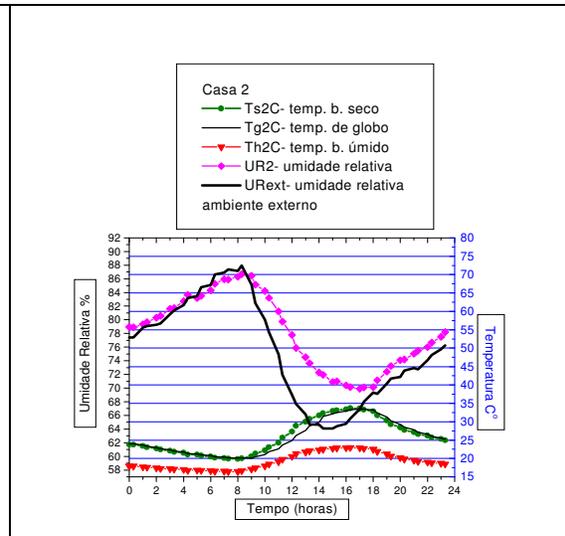


Gráfico A.42. Temperatura e umidade- Casa 2-p3.

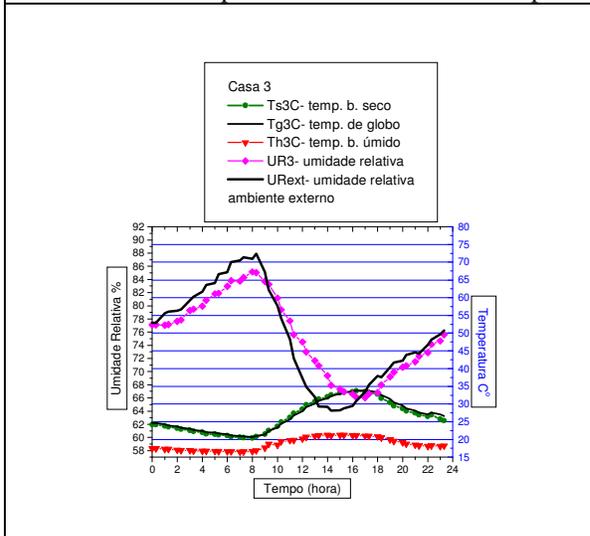


Gráfico A.43. Temperatura e umidade- Casa 3- p3.

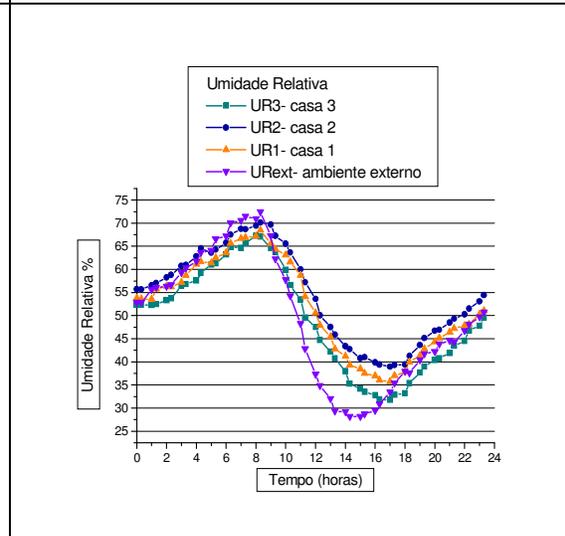


Gráfico A.44. Umidade relativa p3.

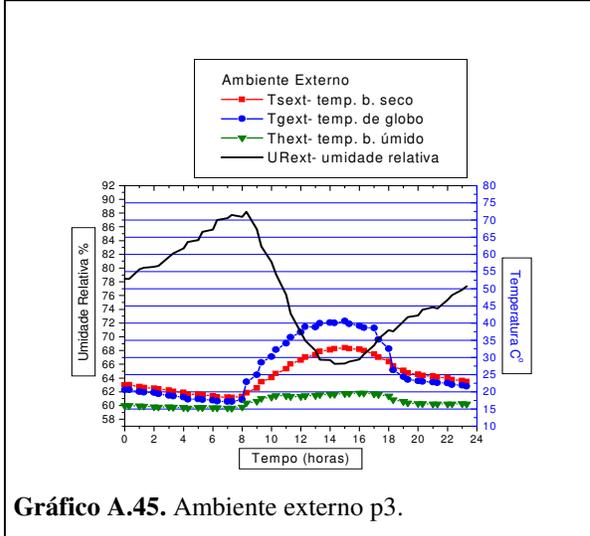


Gráfico A.45. Ambiente externo p3.

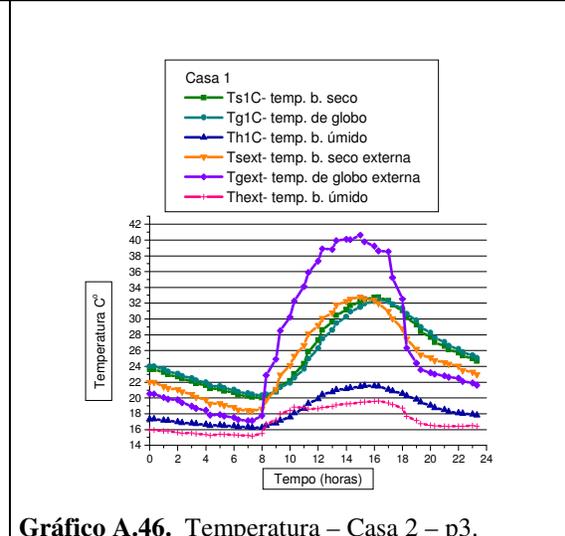


Gráfico A.46. Temperatura - Casa 2 - p3.

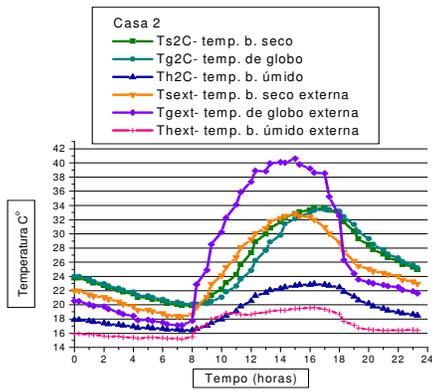


Gráfico A.47. Temperatura – Casa 2 – p3.

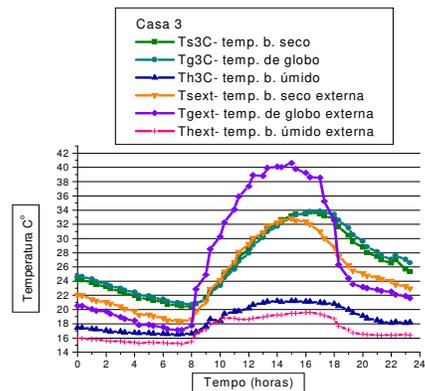


Gráfico A.48. Temperatura – Casa 3 – p3.

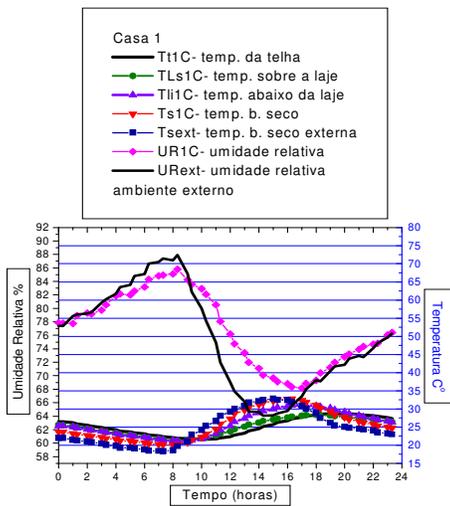


Gráfico A.49. Temperatura e umidade externa – p3.

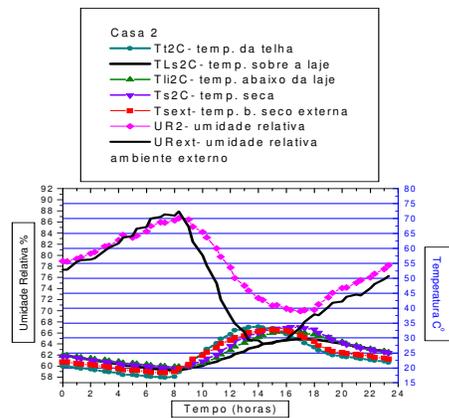


Gráfico A.50. Temperatura e umidade externa p3.

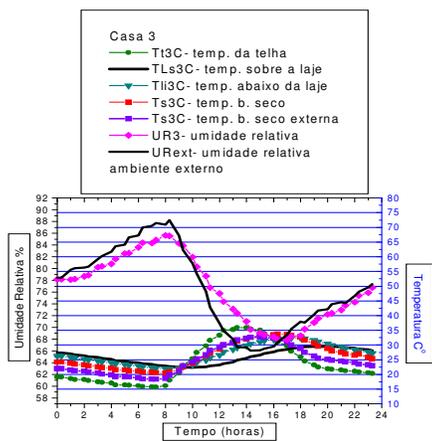


Gráfico A.51. Temperatura e umidade externa – p3.

A.IV. 4. Período 4 – Telha natural. De 14 a 28 de agosto de 2003

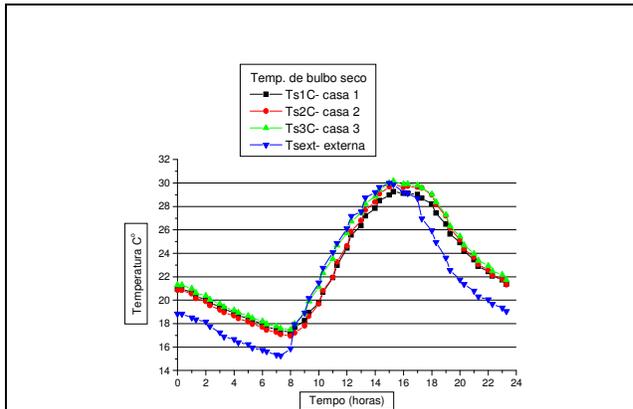


Gráfico A.52. Temperatura de b. seco - p4.

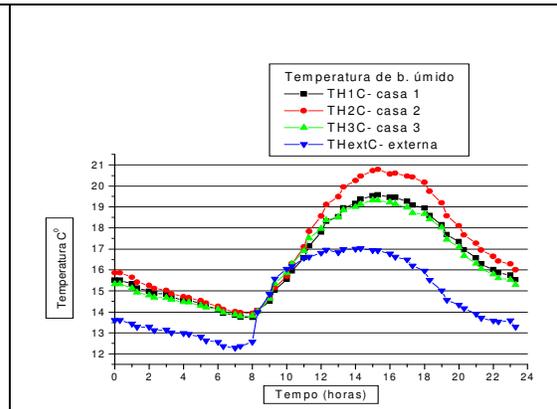


Gráfico A.53. Temperatura de b. úmido - p4.

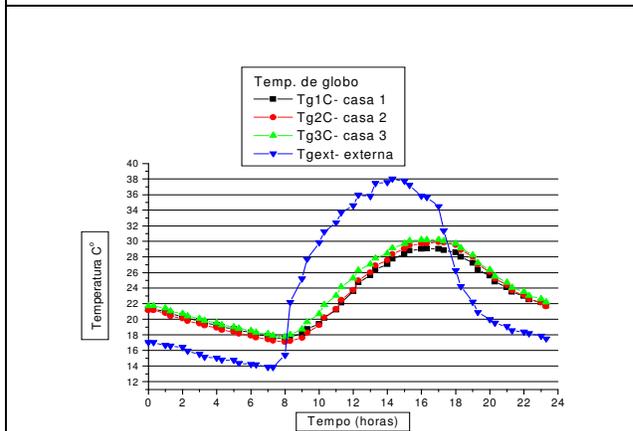


Gráfico A.54. Temperatura de globo - p4.

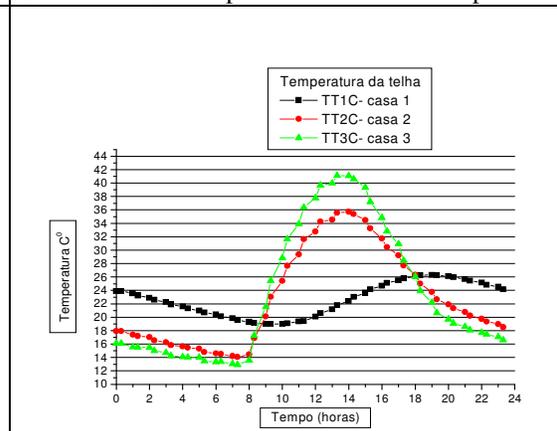


Gráfico A.55. Temperatura da telha - p4.

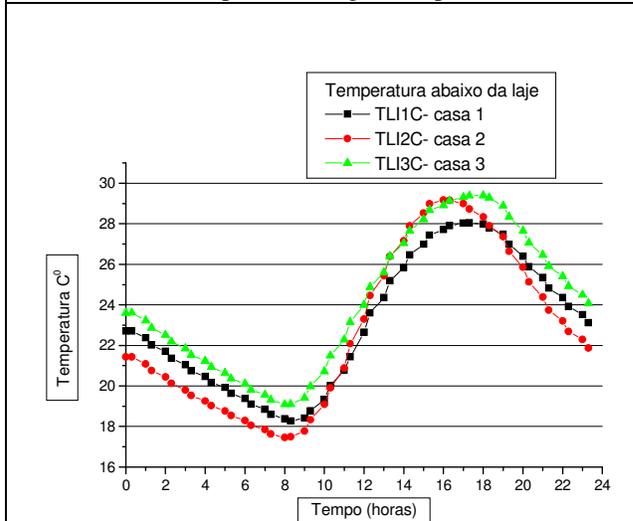


Gráfico A.56. Temperatura abaixo da laje - p4.

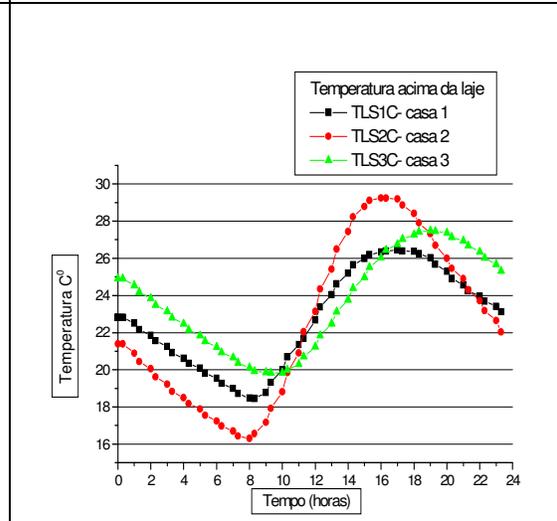


Gráfico A.57. Temperatura acima da laje - p4.

