

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,  
ARQUITETURA E URBANISMO



UNICAMP

2004

*Mestrado*

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

**Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de  
Brise-Soleil Fixo**

Grace Cristina Roel Gutierrez

Campinas

2004

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

**Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de  
Brise-Soleil Fixo**

Grace Cristina Roel Gutierrez

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki

Dissertação de Mestrado 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 Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Campinas, SP

2004

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

G985a Gutierrez, Grace Cristina Roel  
Avaliação do desempenho térmico de três tipologias  
de Brise-Soleil fixo / Grace Cristina Roel Gutierrez.--  
Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Lucila Chebel Labaki  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Arquitetura e radiação solar.  
3. Calor – Radiação e absorção - Medição. 4. Calor solar  
– Medição. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Thermal performance of three different fixed shading devices  
Palavras-chave em Inglês: Shading devices, Sun-breaker, Thermal performance,  
Sun control, Prototypes measurements

Área de concentração: Edificações

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Rosana Maria Caran de Assis, Leonardo Salazar  
Bittencourt, Leandro Silva Medrano

Data da defesa: 03/12/2004

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

**Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de  
Brise-Soleil Fixo**

Grace Cristina Roel Gutierrez

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profª Drª Lucila Chebel Labaki  
Presidente e Orientadora / FEC UNICAMP



Profª Drª Rosana Maria Caram de Assis  
FEC UNICAMP



Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt  
UFAL



Prof. Dr. Leandro Medrano  
FEC UNICAMP

Campinas, 03 de Dezembro de 2004

## DEDICATÓRIA

Para Ricardo, com amor,  
meu norte, meu sul, meu leste e oeste.  
Para nossas meninas, Sabrina e Bruna.

## **AGRADECIMENTOS**

À Profª Drª Lucila Chebel Labaki, minha inspiradora, por sua orientação norteadora e paciência. Por ter enxergado e aprimorado um potencial que desconhecia;

Ao Ricardo, meu esposo e maior incentivador, pelo seu apoio operacional e experimental, e pela revisão do texto deste trabalho;

À Adriana, amiga e companheira de campo, pela sua colaboração em todo o processo experimental;

À FAPESP, que financiou a aquisição de equipamentos e construção dos protótipos, através do Auxílio à Pesquisa (Processo 99/11097);

À Lia e ao Mariano, grandes amigos, pelo auxílio na execução das janelas e brise-soleil;

Aos técnicos Obadias e Daniel do LACAM FEC, pelo trabalho árduo, apoio experimental nos protótipos e monitoração dos dados;

À Profª Drª Rosana Caram, pelo apoio no planejamento dos protótipos da pesquisa;

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, e ao sr. Geneville, pela colaboração no tratamento estatístico;

Ao sr. Mauro do Laboratório de Espectrofotometria da EESC USP, pelo seu auxílio nos testes de espectrofotometria das amostras de cores do brise-soleil;

Ao amigo Ivan, pela sua colaboração no tratamento das imagens;

À Kika e Rubia, que participaram das discussões do grupo de pesquisa nos protótipos;

Ao Prof. Dr. Osny Pelegrino Ferreira, pela memória do grupo de pesquisa;

Ao Guto, que auxiliou no transporte das janelas dos protótipos;

E também as pessoas que de uma ou outra forma apoiaram o desenvolvimento desse trabalho, Ilza, Maria, e Roberto Bocchio.

**OBRIGADO**

*“Para o arquiteto é tão importante saber  
projetar um brise tanto quanto um pilar”.*

Louis Kahn

(apud Vianna & Gonçalves, 2001)

## SUMÁRIO

	página
Lista de Figuras . . . . .	xv
Lista de Tabelas . . . . .	xix
Lista de Equações . . . . .	xix
Lista de Quadros . . . . .	xx
Resumo . . . . .	xxi
Abstract . . . . .	xxiii
1. Introdução . . . . .	01
2. Objetivos . . . . .	05
3. Revisão bibliográfica . . . . .	07
3.1 Adequação ao clima . . . . .	07
3.1.1 Adaptabilidade humana ao clima . . . . .	07
3.1.2 Abrigo e arquitetura . . . . .	11
3.1.3 Adequação da arquitetura ao clima . . . . .	14
3.2 Brise-soleil . . . . .	19
3.2.1 A criação do brise-soleil . . . . .	21
3.2.2 O brise-soleil na arquitetura moderna brasileira . . . . .	23
3.2.3 Características . . . . .	39
3.2.4 Indicação . . . . .	42
3.2.5 Funcionalidade . . . . .	45
3.2.6 Avaliação da eficiência do brise-soleil . . . . .	49

	página
4. Materiais e métodos . . . . .	63
4.1 Caracterização da área de estudo . . . . .	63
4.2 Descrição dos protótipos . . . . .	67
4.3 Descrição do brise-soleil . . . . .	74
4.4 Períodos, horários e intervalos das medições . . . . .	82
4.5 Equipamentos . . . . .	83
4.6 Coleta de dados . . . . .	90
5. Resultados e discussão . . . . .	93
5.1 Temperatura interna . . . . .	101
5.2 Temperaturas superficiais . . . . .	116
5.3 Análise estatística . . . . .	128
5.4 Considerações finais . . . . .	138
6. Conclusão . . . . .	141
7. Referências bibliográficas . . . . .	145
Anexos . . . . .	151
Anexo I – Radiação solar . . . . .	153
Anexo II – Cálculo do painel equivalente . . . . .	161
Anexo III – Tempo solar . . . . .	169
Apêndice . . . . .	173

## Lista de Figuras

<i>Capítulo 3. Revisão Bibliográfica</i>	página
3.1. Edifício da Associação Brasileira de Imprensa - ABI . . . . .	24
3.2. Edifício da Obra do Berço . . . . .	25
3.3. Pavilhão do Brasil na Feira Mundial de Nova York . . . . .	25
3.4. Detalhe do brise-soleil do Ministério da Educação e Saúde . . . . .	26
3.5. Edifício do Ministério da Educação e Saúde –MES . . . . .	26
3.6. Estudo para projeto do brise-soleil horizontal móvel do MES . . . . .	28
3.7. Edifício Bristol . . . . .	29
3.8. Edifício Caledônia . . . . .	29
3.9. Conjunto Residencial do Pedregulho – Bloco A . . . . .	30
3.10. Conjunto Residencial do Pedregulho, acesso ao bloco A . . . . .	30
3.11. Conjunto Residencial do Pedregulho – Bloco B . . . . .	31
3.12. Conjunto Residencial do Pedregulho, vista posterior do bloco B . . . . .	31
3.13. Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro . . . . .	31
3.14. Detalhe da fachada do edifício Sede do Instituto de Previdência do Estado da Guanabara, RJ . . . . .	32
3.15. Edifício Sede do Instituto de Previdência do Estado da Guanabara, RJ . . . . .	32
3.16. Detalhe do Edifício Seguradoras . . . . .	32
3.17. Edifício Clemente de Faria . . . . .	33
3.18. Edifício Instituto Vital Brazil, fachada posterior . . . . .	33
3.19. Casa de Heitor Almeida . . . . .	34
3.20. Casa de João Paulo de Miranda Neto . . . . .	34
3.21. Varanda da Casa de João Paulo de Miranda Neto . . . . .	34
3.22. Edifício Caramuru . . . . .	35
3.23. Edifício Renata Sampaio Ferreira . . . . .	36
3.24. Detalhe da trama da fachada do Edifício Renata Sampaio Ferreira . . . . .	36
3.25. Residência no Jardim Paulista . . . . .	36
3.26. Residência do arquiteto Oswaldo Bratke . . . . .	37
3.27. Residência da rua Suécia . . . . .	37

	página
3.28. Edifício Copan . . . . .	38
3.29. Edifício Copan, detalhe do brise-soleil . . . . .	38
3.30. Edifício Copan, vista da fachada principal . . . . .	38
3.31. Maquete do edifício Copan . . . . .	38
3.32. As tipologias de brise-soleil e máscaras de sombra. . . . .	39
3.33. Absorção, reflexão e transmissão da radiação solar incidente sobre as superfícies. . . . .	47
<i>Capítulo 04. Materiais e Métodos</i>	
4.34. Mapa do Campus da UNICAMP . . . . .	64
4.35. Localização dos protótipos no terreno da FEC . . . . .	64
4.36. Diferença da radiação solar em função das condições de céu . . . . .	65
4.37. Carta Solar de Campinas . . . . .	66
4.38. Vista geral dos seis protótipos no terreno da FEC . . . . .	67
4.39. Vista de dois protótipos . . . . .	69
4.40. Vista dos protótipos finalizados . . . . .	69
4.41. Implantação, planta e cortes dos protótipos . . . . .	70
4.42. Fachadas dos protótipos . . . . .	71
4.43. Face norte . . . . .	73
4.44. Face leste . . . . .	73
4.45. Face sul . . . . .	73
4.46. Face Oeste . . . . .	73
4.47. As três tipologias de brise-soleil em ensaio. . . . .	74
4.48. Máscaras de sombra para as três tipologias em estudo . . . . .	75
4.49. Carta Solar de Campinas, e identificação do período de calor excessivo . . . . .	75
4.50. Máscaras de sombra sobre carta solar de Campinas . . . . .	76
4.51. O elemento vazado utilizado e suas dimensões . . . . .	77
4.52. Vistas externa e interna da janela com elemento vazado . . . . .	77
4.53. Protótipos com brise-soleil vertical de madeira e concreto . . . . .	78
4.54. Protótipos com brise-soleil horizontal . . . . .	78
4.55. Gráfico de refletâncias das amostras de tons de cinzas. . . . .	79

	página
4.56. Gráfico de refletância 50%, amostra selecionada . . . . .	80
4.57. Vista dos protótipos sem os dispositivos . . . . .	80
4.58. Vista dos protótipos com dispositivos na fachada norte . . . . .	80
4.59. Vista dos protótipos com dispositivos na fachada oeste . . . . .	81
4.60. Área experimental com identificação dos protótipos . . . . .	81
4.61. Vista dos protótipos . . . . .	84
4.62. Estação meteorológica . . . . .	84
4.63. Esquema da estação meteorológica Campbell Scientific . . . . .	86
4.64. Sensores da estação meteorológica . . . . .	87
4.65. Posicionamento dos sensores nos dispositivos de proteção . . . . .	89
4.66. Posicionamento dos sensores no ambiente interno . . . . .	89
<i>Capítulo 05. Resultados e Discussão</i>	
5.67. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 11 a 18/01 . . . . .	95
5.68. Gráfico de radiação solar para o período de 11 a 18/01 . . . . .	95
5.69. Gráfico de temperatura e umidade relativa para os dias 09 e 10/02 . . . . .	96
5.70. Gráfico de radiação solar para os dias 09 e 10/02 . . . . .	96
5.71. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 20 a 25/03 . . . . .	97
5.72. Gráfico de radiação solar para o período de 20 a 25/03 . . . . .	97
5.73. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 26/03 a 02/04 . . . . .	98
5.74. Gráfico de radiação solar para o período de 26/03 a 02/04 . . . . .	98
5.75. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 26/06 a 01/07 . . . . .	99
5.76. Gráfico de radiação solar para o período de 26/06 a 01/07 . . . . .	99
5.77. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 03 a 07/07 . . . . .	100
5.78. Gráfico de radiação solar para o período de 03 a 07/07 . . . . .	100
5.79. Gráfico de temperatura do ar no período de 11 a 18/01 – fachada norte . . . . .	102
5.80. Gráfico de temperatura do ar nos dias 09 e 10/02 – fachada oeste . . . . .	102
5.81. Gráfico de temperatura do ar no período de 20 a 25/03 – fachada oeste . . . . .	106



## Lista de Tabelas

<i>Capítulo 03. Revisão Bibliográfica</i>	página
3.1. Coeficiente de sombra para diferentes elementos de proteção solar.	52
<i>Capítulo 04. Materiais e Métodos</i>	
4.2. Dados climáticos da região de Campinas . . . . .	65
<i>Capítulo 05. Resultados e Discussão</i>	
5.3. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 11 a 18/01	95
5.4. Dados de direção e velocidade dos ventos para os dias 09 e 10/02	96
5.5. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 20 a 25/03	97
5.6. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 26/03 a 02/04	98
5.7. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 26/06 a 01/07	99
5.8. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 02 a 07/07	100

## Lista de Equações

<i>Capítulo 03. Revisão Bibliográfica</i>	página
3.1. Coeficiente de absorção, reflexão e transmissão. . . . .	46
<i>Capítulo 05. Resultados e Discussão</i>	
5.2. Modelo matemático do delineamento experimental da ANVA . . . . .	129

## Lista de Quadros

	página
<i>Capítulo 3. Revisão Bibliográfica</i>	
3.1 Diferenças entre adaptação e ajuste . . . . .	10
3.2 Comparação entre orientações indicadas para uso do brise-soleil . . . . .	42
3.3 Indicação de tipologia em relação à orientação da fachada . . . . .	43
3.4 Necessidade de proteção solar, mês x orientação, em Londrina PR . . . . .	44
<i>Capítulo 5. Resultados e Discussão</i>	
5.5. Comparações simples e duplas . . . . .	131
5.6. Comparações triplas e quádruplas . . . . .	131
5.7. Interação entre fatores para temperaturas internas . . . . .	132
5.8. Interação entre fatores para temperaturas superficiais superiores ou esquerda . . . . .	135
5.9. Interação entre fatores para temperaturas superficiais inferiores ou direita . . . . .	136
5.10. Comparação entre os resultados da interação entre fatores para cada variável analisada . . . . .	137

## RESUMO

Esta pesquisa avalia 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. O desempenho térmico do brise-soleil é reconhecido em estudos de geometria de insolação e simulação com software, porém são raras as avaliações experimentais sob condições climáticas reais. A metodologia utilizada é baseada em pesquisas de desempenho térmico de elementos e componentes construtivos realizadas em protótipos. Através de um sistema de aquisição de dados são verificadas: variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, pluviosidade, direção e velocidade dos ventos), e variáveis medidas nos protótipos (temperaturas do ar e superficiais). Os ensaios de campo foram realizados em protótipos localizados em Campinas, SP. 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. O brise-soleil vertical fixo perpendicular à fachada apresentou os piores resultados na fachada oeste, contrariando indicações usuais da literatura arquitetônica.

Palavras Chave: brise-soleil, proteção solar, desempenho térmico, avaliação em protótipos.

## **ABSTRACT**

In this work the thermal performance of shading devices regarding solar radiation in indoor spaces with protected openings is analyzed. The typology and materials of shading devices were selected considering the elements used in Brazilian modern architecture buildings between the 1930 and 1960 decades. Most studies about shading devices are based on geometric drawings and software simulation analyzing the efficiency of provided protection during specific periods, however there are few experimental works performed under real climate conditions. In this investigation, three different devices were evaluated in the most problematic conditions of exposure, by acquiring measurable data of external parameters (air temperature, relative humidity, solar radiation, rain, wind speed and direction) and internal parameters (air temperature and surface temperatures) to verify their efficiency. These experiments were conducted at School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design of State University of Campinas (UNICAMP) in the State of São Paulo, Brazil. The investigated devices were horizontal and vertical sun-breakers of concrete and wood, and concrete eggcrate sun-breaker, fixed, on north and west exposures, for a week in each façade, in equinox and summer and winter solstices periods. In these tests, the eggcrate typology showed the best thermal performance, with a punctual reduction of up to 4,14°C on internal air temperature. The vertical fixed devices registered the worst results on west façade, in contrast with current Brazilian architectural literature recommendation.

Keywords: shading devices, thermal performance, sun control, prototypes measurements.

# 1. INTRODUÇÃO

A edificação, o abrigo, possui função de proteção às intempéries, às variações do clima. Diferentes estilos, técnicas construtivas e programas arquitetônicos respondem mais ou menos satisfatoriamente à necessidade de proteção utilizando técnicas, materiais e elementos construtivos disponíveis em cada época, criando espaços adequados às necessidades humanas.

No Brasil, a influência da radiação solar sobre as edificações é crítica devido à faixa de latitudes do país (entre 5° N e 34°S<sup>1</sup>) e ao clima, na sua maioria, caracterizado pela grande insolação, alta umidade relativa e predominância do período quente. Para assegurar o conforto térmico dos usuários de uma edificação faz-se necessário o controle do ganho de calor solar.

O brise-soleil ou quebra-sol<sup>2</sup> é um dispositivo de proteção solar, constituído por uma ou mais lâminas, geralmente paralelas, externas à edificação. É um elemento construtivo que permite minimizar o aporte de calor solar pela envoltória da edificação, principalmente nas aberturas e superfícies transparentes ou translúcidas. A importância

---

<sup>1</sup> O limite da fronteira norte do Brasil é o Monte Roraima - RO ( $\pm 5^\circ$  N), sendo Oiapoque - AP ( $3^\circ 54'$  N) a cidade mais a norte do país. A cidade de Chuí - RS ( $33^\circ 40'$  S) localiza-se na fronteira sul.

<sup>2</sup> Brise-soleil, quebra-sol, sun-breakers, parasol, quebra-luz, corta-luz, external shading devices, são algumas das denominações dadas a esse elemento construtivo. Segundo Corona e Lemos (1972), a expressão brise-soleil é um "termo de aplicação constante na linguagem comum da arquitetura contemporânea brasileira, que provém do francês 'brise-soleil', cuja tradução literal 'quebra-sol', apesar de designar a mesma coisa, não atingiu a popularidade do vocábulo 'brise', que por isso mesmo, deverá fazer parte de nossa língua como aquisição definitiva."

desse dispositivo passivo reside na redução da incidência da radiação solar direta na edificação em função do sombreamento proporcionado. O bom desempenho térmico do brise-soleil é reconhecido em várias pesquisas desenvolvidas através de estudos de geometria de insolação e simulação com software; entretanto são raras as avaliações baseadas na aquisição de dados experimentais através de protótipos para medições em campo sob condições climáticas reais, para comprovação de sua eficiência.

O brise-soleil, criado por Le Corbusier por volta de 1920, foi adotado, desenvolvido e amplamente utilizado pela arquitetura moderna brasileira em resposta à necessidade de proteção à radiação solar excessiva, visando o controle do calor e luz. Além dessa função, esse elemento possui uma expressão formal marcante, e adquire grande importância caracterizando as obras realizadas entre os anos de 1930 e 1960.

A disseminação de seu uso expõe o desconhecimento e a falta de domínio das ferramentas de projeto para a correta orientação, especificação de tipologia e dimensionamento. Sem conhecimento técnico, a expressão arquitetônica resultante do uso deste elemento acabou por configurar um modismo ou ornamento, passando a ser criticado pelo próprio movimento moderno. Outro fator que contribuiu para a redução de sua utilização e de outras soluções de condicionamento passivo foi o desenvolvimento e acessibilidade aos equipamentos de condicionamento artificial, principalmente do ar condicionado, resultando em edificações encerradas e isoladas do meio ambiente. Porém, o alto consumo energético e questões relativas à psicologia ambiental proporcionaram discussões, reavaliando o uso generalizado desses sistemas, procurando valorizar o condicionamento natural e soluções que contemplem o desenvolvimento de tecnologias e energias alternativas. A integração de ambos - condicionamento natural e artificial, é indicada, sendo os sistemas artificiais uma complementação ao natural, exceto em atividades específicas que exijam um controle ambiental bastante rígido.

Embora a utilização do brise-soleil seja recomendada, proporcionando conforto ao usuário e benefícios econômicos, observa-se que a conscientização da importância desse elemento de condicionamento passivo é mínima, bem como da divulgação de

seu uso e propriedades térmicas. Propõe-se o resgate desse elemento construtivo com ênfase na função de proteção solar, avaliando sua eficiência, projeto e indicação, e também valorização de sua expressão plástica. Dessa forma, este estudo avalia o comportamento térmico do brise-soleil em relação à radiação solar incidente, em protótipos sob condições climáticas reais.

Os capítulos que compõem este trabalho estão estruturados da seguinte forma: na revisão bibliográfica, parte-se da adequação climática e sua relação com o abrigo, comentando brevemente uma das *“funções essenciais da arquitetura”* (CORONA & LEMOS, 1972). Apresenta uma abordagem histórica (arquitetura moderna) sobre a criação desse elemento construtivo: o brise-soleil, desenvolvido em resposta às condições climáticas e que se tornou uma característica marcante na expressão formal das edificações. Segundo Bruand (2002) sua utilização no Brasil confere identidade à arquitetura moderna nacional.

Destacada sua importância na arquitetura brasileira, o brise-soleil é abordado nas suas especificidades: a identificação dos dispositivos de proteção solar - definição, função e tipologia; e avaliação de desempenho da relação aplicação/eficiência, baseada na geometria de insolação e “método gráfico”, na simulação com uso de softwares, e pesquisas de campo sobre desempenho térmico.

Em materiais e métodos, é apresentada a parte experimental dessa pesquisa. Caracterizada a área de estudo e clima local, descreve-se os protótipos e as tipologias de brise-soleil em ensaio. Os equipamentos utilizados são apresentados e definidos períodos de medição e parâmetros ambientais monitorados. A medição em campo testando diferentes tipologias de brise-soleil foi realizada no terreno da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Campinas, SP.

Nos resultados e discussão, são mostrados e discutidos os resultados dos dados coletados, gráficos e seu tratamento estatístico. As conclusões dessa pesquisa são apresentadas no último capítulo.

## **2. OBJETIVOS**

### ***Objetivo geral***

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico, em relação à radiação solar incidente, de protótipos com superfícies verticais transparentes protegidas por brise-soleil, típicos da arquitetura moderna brasileira.

### ***Objetivos específicos***

Coleta de dados experimentais em protótipos com três diferentes tipologias de dispositivos de proteção e duas orientações, em condições climáticas reais.

Análise dos dados experimentais obtidos com o uso desses elementos nas fachadas mais críticas, norte e oeste, em relação à incidência da radiação solar direta.

Avaliação quantitativa da eficiência do brise-soleil, para cada tipologia, comparando os dispositivos em estudo com o protótipo referência e seu comportamento frente ao clima.

Comparação dos resultados de ensaios de campo com estudos de geometria de insolação, analisando as indicações de uso correntes, como tipologia e orientação, com a resposta térmica obtida.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para compreender a importância do brise-soleil, pesquisou-se sobre a evolução dos dispositivos de proteção solar, sendo conveniente ressaltar a função primordial deste elemento: a proteção da incidência direta da radiação solar. Essa função está ligada à necessidade de proteção do homem frente às intempéries e ao abrigo – uma das *“funções essenciais da arquitetura”*<sup>3</sup>.

#### **3.1 Adequação ao clima**

##### **3.1.1. A adaptabilidade humana ao clima**

A adaptabilidade humana ao clima é inerente aos seres vivos, pois “os organismos, humanos ou não, respondem a características estruturais e funcionais do seu ambiente” (MORAN, 1994). A resposta humana frente às condições do meio ambiente, porém, é extremamente flexível, uma vez que o homem atua sobre o ambiente. Para Rivero (1986) “os seres vivos têm três exigências fundamentais para que o seu desenvolvimento seja normal: disponibilidade de alimentos, segurança diante

---

<sup>3</sup> CORONA e LEMOS, 1972.

da possível agressão de outros indivíduos e adequação das propriedades físicas e químicas do meio envolvente com a sua constituição orgânica”.

Estudos na área de sociologia procuram explicar a relação do homem com o meio ambiente sob os mais diversos enfoques. Segundo Moran (1994), do período greco-romano até 1950 três teorias explicam a interação dos indivíduos com a natureza. A mais antiga foi o *determinismo ambiental* greco-romano, para o qual o homem está sujeito ao efeito determinante da natureza cuja influência se dá por meio da ação do clima, enfatizando a natureza. Gerbi (1996) apud Segawa (2001) comenta que “na antigüidade, o nexa entre clima e gênio era lugar comum”, e que Hipócrates estabelecia uma relação entre as alterações do clima e a fisiologia humana. Um exemplo dessa teoria é a associação ao clima quente como causador de uma população preguiçosa, dentre outras visões típicas dessa corrente. Filósofos como David Hume, Voltaire e Montesquieu são expoentes dessa visão determinista geográfico-climática.

De acordo com o Moran (1994), duas outras teorias surgiram em períodos bastante próximos, no século XIX e XX: o *possibilismo* e o *evolucionismo*.

No possibilismo, o meio ambiente tem um limite, um fator de restrição para a ação humana. Segundo Segawa (2001), no século XIX a relação homem/clima perde o caráter incondicional do determinismo, apresentando uma visão *possibilista* onde “se vislumbrava uma interação menos absoluta e submissa entre o ambiente e os humanos”. Assim, com o processo de urbanização e o desenvolvimento da medicina científica, o enfoque se volta à questão da salubridade.

A versão adaptativa/evolutiva ou *evolucionismo* considera a adaptação dos seres vivos ao meio ambiente, sendo seu maior expoente a teoria de Darwin.

Teorias antropológicas mais recentes acrescentam outros fatores na explicação da relação homem/natureza, focados na ação humana sobre o meio ambiente, e no desenvolvimento de técnicas e tecnologias. Esta pesquisa não tem o objetivo de

abordar outras teorias antropológicas, pois envolve questões relativas à religião, processo de trabalho, entre outros aspectos.

Para Moran (1994), “o corpo humano é capaz de adaptar-se por meios genéticos, fisiológicos, comportamentais e culturais”. Dessa forma, a adaptabilidade humana envolve vários mecanismos de adaptação e ajustes. O autor trata a adaptação basicamente como genética ou evolutiva e as respostas socioculturais e fisiológicas como ajustes, procurando fazer uma distinção entre esses mecanismos. Estas respostas de ajustes - socioculturais e fisiológicas, “(...) proporcionam um mecanismo mais rápido para aumentar as chances de sobrevivência do que as mudanças genéticas, que se acumulam ao longo de várias gerações”. Assim, “as respostas reguladoras ocorrem de forma rápida e refletem a flexibilidade fisiológica e comportamental de um organismo. Quase todo comportamento é uma forma de resposta reguladora que serve para manter uma relação estável com o meio ambiente ou que permite um ajuste a mudanças ocorridas no mesmo. As *estratégias* culturais de vestuário e abrigo estão entre os mecanismos reguladores mais comuns que aumentam as possibilidades humanas de sobreviver e viver com relativo bem-estar em ambientes variados. As respostas de aclimação<sup>4</sup> levam mais tempo para entrar em operação, pois exigem uma mudança na estrutura do organismo. Para que ocorram, é preciso que haja um estímulo externo por um período de tempo suficiente. São geralmente reversíveis quando cessa a situação que produziu a alteração orgânica. Por exemplo, o desenvolvimento muscular em virtude de exercícios físicos freqüentes e vigorosos reverte-se quando o indivíduo passa a levar uma vida mais sedentária” (MORAN, 1994).

Dessa forma, a relação homem/clima será tratada como um ajuste, pois o termo adaptação refere-se a uma população, sendo um processo lento com alterações genéticas, envolvendo a seleção natural, e restrita ao habitat (quadro 3.1), condições

---

<sup>4</sup> Segundo o dicionário Aurélio, os termos aclimação e aclimatação são sinônimos. Holanda (1999) define “aclimação: [de aclimar + ação] *sf.* 1. Ato ou efeito de aclimar. 2. *biol.* Faculdade que tem um ser vivo de, à custa de algumas modificações, viver e reproduzir-se em novo meio, diferente do habitual. 3. *p. ext.* Adaptação, ajustamento”. E “aclimar: [de a+ clima +ar] *vt.d.* 1. Habituar a um clima. 2. Habituar, acostumar, afazer, adaptar.(...)”. E define também: “adaptação: [de adaptar + ação] *sf.* 1. Ação ou efeito de adaptar-se. 2. *biol.* Ajustamento de um organismo, particularmente do homem, às condições do meio ambiente. (...)”; e “ajustar: [de a + justo + ar] *vt.d.* 1. Tornar justo, exato, unir bem, igualar. 2. Convencionar, combinar, estipular. 3. Adaptar, acomodar, harmonizar. (...)”.

que só tem possibilidade de ocorrer quando uma determinada população encontra-se isolada geograficamente, sem contato com quaisquer outros grupos humanos. Analisando a ação do homem sobre o meio ambiente, seus avanços tecnológicos, aprimoramentos da medicina, condicionamento artificial, biotecnologia e outros; bem como os resíduos provenientes da ação humana, vários pesquisadores argumentam que o processo de seleção natural tornou-se inválido para o ser humano ou discutem-no com sérias restrições.

Mecanismo	Nível	Tempo	Classificação	Características	Tipo	Flexibilidade	Vantagem	Limitação
Adaptação	População	lenta	Genética ou evolutiva	Alterações nas frequências dos genes	-	Irreversível	reprodutiva, seleção natural	restrita ao habitat
Ajustes	Indivíduo	rápida	Fisiológicas	Mudanças na estrutura orgânica ou em seu funcionamento	Desenvolvimento	Irreversível	ajuste vitalício, característico de um determinado ambiente	ocorre na infância e juventude
					Aclimação	Reversível	é uma adequação temporária a um determinado local	ocorre após a fase de desenvolvimento
			Socioculturais	Abrigo, vestimenta, e várias formas de organização social	Reguladores	Reversível	são mais rápidas e mais comuns, comportamentais, dependem menos do organismo físico refletindo sua flexibilidade fisiológica	depende da ação do homem sobre o meio ambiente

Quadro 3.1 Diferenças entre adaptação e ajuste (quadro desenvolvido pela autora, baseado em texto de MORAN, 1994).

Segundo Rivero (1986), “cada ser vivo tem poderes de adaptação que lhe permitem sobreviver quando alguma daquelas variáveis se modifica; mas sempre é possível estabelecer limites ótimos dentro dos quais cada espécie se desenvolve em sua plenitude”. Assim, foram pesquisados índices de conforto para o ser humano identificando “valores ótimos de temperatura, pressão, umidade, luminosidade, nível sonoro, conteúdo de oxigênio e anidro de carbono requeridos pelo seu organismo. Estes parâmetros dependem da aclimação do indivíduo, da sua idade e sexo, mas sempre chegaremos a valores extremos válidos para toda a espécie”. Os trabalhos de maior destaque na área de fisiologia humana e conforto térmico foram os desenvolvidos por Fanger (1972), e Humphreys (1976).

O homem é o único ser que age sobre o meio ambiente, e Lemos (1999), ao comentar o trabalho de Eunice Durham coloca que “... o homem foi o único animal que

organizou 'sua conduta coletiva através de sistemas simbólicos', propiciando 'uma forma específica de adaptação e utilização do ambiente', com o envolvimento da produção de conhecimentos, de técnicas ou comportamentos padronizados". E acrescenta "... nesse sentido, todo o comportamento humano é *artificial e não natural*". O homem, assim, construiu 'um ambiente no qual vive e o qual está continuamente transformando. A cultura é, propriamente, esse movimento de criação, transmissão e reformulação desse ambiente artificial".

Rivero (1986) descreve que "a vestimenta é a primeira tentativa de criar ao seu redor um meio adequado. (...) Ihe permite movimentar-se por outros ecossistemas mais hostis, (...), ampliando assim a dimensão do meio habitável". Porém, "a vestimenta não é uma solução satisfatória para realizar a maioria das funções humanas. Aparece então a envolvente que amplia o espaço acondicionado...", sendo "a última etapa desta evolução a cidade". E conclui, "um projeto adequado, como veremos, permitiria melhorar sensivelmente suas condições de habitabilidade".

### **3.1.2. Abrigo e arquitetura**

A adequação ao clima sempre foi um fator determinante para a implantação de grupos humanos e domínio de território, e das tipologias construtivas desenvolvidas. A fixação de grupos humanos num local ou num determinado território gerou a necessidade da construção e abrigos que atendessem essas exigências de proteção ao clima. A permanência desses grupos nesses locais por gerações proporcionou um conhecimento do clima, do solo e da vegetação, que foram continuamente incorporados na cultura construtiva, limitada a condicionantes climáticas, materiais disponíveis e técnicas construtivas usuais. A proteção ao clima assegurada pelo abrigo está relacionada à abordagem relativa aos ajustes, principalmente as respostas socioculturais, sendo imperativo à sobrevivência da espécie.

É interessante definir o conceito de abrigo. Em dicionários da língua portuguesa, como Houaiss & Villar (2001) e Holanda (1999), o sentido do abrigo é aquecer ao sol, abrigar-se do frio, e especificamente algo ou local que oferece proteção contra os rigores do tempo – sol, chuva, vento, e neve. Já em dicionários específicos de arquitetura encontra-se:

“**Abrigo** – Qualquer espaço coberto. O termo é particularmente aplicado quando referido à construção situada em espaço aberto, com ou sem paredes de vedação, destinada a proteger as pessoas das intempéries...” (CHING, 2000).

“**Abrigo** – lugar onde o homem pode ficar e que constitua um meio de proteção contra a intempérie, chuva, vento, frio ou calor excessivo e a neve. Toda e qualquer construção concebida com a intenção de vencer um espaço para uso do homem, uma das funções essenciais da arquitetura. Segundo André Wogenscky: *‘graças a ele (o abrigo) o homem pode viver em climas que de outra maneira não poderiam ser suportados, em regiões que lhe seriam interditas, tirando dele o melhor proveito’*. Habitação”. (CORONA & LEMOS, 1972)

Assim, a função do abrigo é oferecer proteção ao clima e principalmente que o *abrigo é uma das funções essenciais da arquitetura*. Entretanto, quando se define arquitetura, o sentido do abrigo praticamente desaparece.

Para Houaiss & Villar (2001):

“**Arquitetura** – (do latim *architectura*). *s.f.* 1. ARQ arte e técnica de organizar espaços e criar ambientes para abrigar os diversos tipos de atividades humanas, visando também a determinada intenção plástica. 2. ARQ conjunto das obras arquitetônicas executadas em determinado contexto histórico, social ou geográfico. 3. ARQ maneira pela qual são dispostas as partes ou elementos de um edifício ou de uma cidade. 4. ARQ conjunto de princípios, normas, materiais e técnicas usadas para criar o espaço arquitetônico. 5. *p. ext.* conjunto de princípio e regras que são a base de uma Instituição. 6. *p. ext.* conjunto de elementos que perfazem um todo, estrutura, natureza, organização. (...)”

E Holanda (1999):

**“Arquitetura** – (do latim *architectura*). *s.f.* 1. Arte de criar espaços organizados e animados por meio do agenciamento urbano e da edificação, para abrigar os diferentes tipos de atividades humanas. 2. O conjunto das obras de arquiteturas realizadas em cada país ou continente, cada civilização, cada época, etc. 3. Disposição das partes ou elementos de um edifício ou espaço urbano. 4. Os princípios, as normas e técnicas utilizadas para criar o espaço arquitetônico. (...)”.

Mesmo Corona & Lemos (1972), que no verbete do abrigo indicavam a função de proteção às intempéries, quando definem arquitetura restringe sua abordagem a *“determinado meio”*.

**“Arquitetura** – pela conceituação mais remota é a arte de compor e construir toda a sorte de edifícios, segundo as regras e proporções convenientes (...). Lúcio Costa, (...) diz: ‘ arquitetura é construção concebida com a intenção de ordenar plasticamente o espaço, em função de uma determinada época, de um determinado meio, de uma determinada técnica e de um determinado programa’. É a arte que deve ser concebida e realizada no sentido de criar um espaço ao mesmo tempo humano – pelo homem que o necessita e não vive só, mas em aglomerados, social – pela realidade que preside o aparecimento da obra arquitetônica, que além do mais deve ser bela”.

Somente Rivero (1986) define “... uma das funções da arquitetura é a de criar espaços, tanto interiores como exteriores, ajustados a normas de habitabilidade física, química e de segurança, determinadas pelas necessidades dos indivíduos que os ocupam”, além disso, “...o projeto terá que resolver múltiplos aspectos funcionais e estéticos dentro de complexas solicitações sócio-econômicas, culturais e tecnológicas.(...), para ter uma moradia que lhes proporcione abrigo, segurança e intimidade”.

Na etimologia da palavra *arquitetura*, Houaiss & Villar (2001) indicam sua origem latina *architecturae* – que significa “**a arte de edificar**”, na composição do latim *architecturae*, de *arqu(e/i)* e *tectum*, onde:

**tectum** - cobrir, recobrir, ocultar, esconder, encobrir, proteger, abrigar, resguardar, telhado.

**arqu(e/i)** – diz respeito à arquitetura ou aos arquitetos. 2. com fecundidade moderna, serve como verdadeiro morfema prefixal hiperbolizante ou superlativizante.

Assim, o termo *arquitetura* também pode ser entendido como “*melhor abrigo*”.

### **3.1.3. Adequação da arquitetura ao clima**

A adequação das edificações ao clima é uma condicionante de projeto. A produção do abrigo, do espaço construído pelo homem, juntamente com parâmetros de organização sócio cultural, tem o objetivo de atender as necessidades humanas. Dessa maneira, o programa de necessidades, os materiais e técnicas construtivas, o clima, e a intenção plástica; formam um conjunto de elementos condicionantes ou determinantes do partido arquitetônico.

Desse conjunto de elementos observa-se que o programa de necessidades, a intenção plástica e a técnica construtiva, em função da evolução sócio/cultural e técnico/econômicas da população sofrem variações, entretanto a única condicionante que se mantém constante na história é o clima. É claro que existem variações climáticas sazonais, e outras variações oriundas de fenômenos naturais ou decorrentes do processo de urbanização, porém dentro do panorama histórico essas mudanças podem ser consideradas mínimas frente aos outros três aspectos apresentados.

Na Antigüidade, o conhecimento sobre o clima pressupunha a permanência de uma população numa determinada área territorial, por sucessivas gerações. Isso se reflete nas construções produzidas visando a uma melhor adequação climática. Juntamente com a técnica construtiva decorrente principalmente da disponibilidade de materiais, e do programa de necessidades dessa comunidade, surge uma determinada tipologia construtiva, somada a questões de identidade e cultura, denominada vernacular.<sup>5</sup>

Lemos (1999) define que “na arquitetura vernacular, as técnicas construtivas e os programas se desenvolveram juntos – o ‘saber-fazer’ aperfeiçoou-se a partir do domínio dos recursos do ambiente e sempre atendendo às solicitações da sociedade, que esperava da habitação algo além de mero abrigo contra as intempéries ou à ação das feras ou inimigos”.

Para Behling (1996), “a exploração humana de novos territórios e zonas climáticas fizeram necessário o desenvolvimento tecnológico de forma a assegurar ao homem sobrevivência e conforto”. Segawa (2001) comenta que “a colonização foi um vetor de investigação climática e a aclimação como processo para aliviar a inserção humana em latitudes diferentes da origem européia do agente colonizador”.

Entretanto, verifica-se que embora houvesse uma preocupação com relação à adequação climática, as edificações coloniais tinham o caráter de reproduzir a cultura construtiva do colonizador, limitada ao uso de materiais e técnicas disponíveis no novo território.

No Brasil, a espessura das paredes de taipa se deve mais à técnica construtiva do colonizador ibérico e a limitação dos recursos materiais disponíveis, do que a preocupação em proporcionar uma temperatura interna mais amena ou proteção à insolação excessiva dos trópicos. A presença de treliças, gelosias e muxarabis está mais relacionada à questão cultural de resguardo da mulher e da família, do que a uma

---

<sup>5</sup> “**Arquitetura vernacular** – aquela que utiliza os materiais disponíveis em um determinado local ou região e/ou técnicas de construção tradicionais de uma cultura”. (HOLANDA, 1999)

forma de controle ambiental. Embora seja reconhecido que os elementos citados oferecessem uma boa resposta ao clima local, observa-se a existência de alcovas sem aberturas que garantissem insolação e ventilação.

Já no século XIX, com a disponibilidade de recursos econômicos gerados pela cana e pelo café, e disponibilidade de mão de obra qualificada dos imigrantes, o panorama construtivo se altera. A economia permite a importação de novos materiais construtivos e o imigrante trouxe consigo novas técnicas construtivas. Observa-se a substituição das casas de taipa por edifícios de tijolo, ferro e vidro. Um novo programa de necessidades, uma nova concepção arquitetônica.

Outro aspecto é o crescente processo de urbanização promovida pela punjança econômica do café, o início de uma produção industrial nas cidades e o crescimento da população com disponibilidade de mão de obra. É justamente nesse período que ocorrem as primeiras reformas urbanas no país, a partir dos trabalhos dos engenheiros sanitaristas e códigos sanitários, revelando uma preocupação com as questões relativas à higiene e salubridade das habitações. Percebe-se que a procura pela salubridade das edificações em conjunto com uma nova técnica construtiva, possibilita a adoção de recuos laterais nos lotes urbanos, o uso de porões, do pé direito elevado, de aberturas maiores e um número maior de janelas, para insolação e ventilação visando garantir condições higiênicas às habitações. Inicialmente, os engenheiros sanitaristas buscavam assegurar um mínimo de horas de insolação. Entretanto, as regras e códigos sanitários se baseavam em trabalhos desenvolvidos em países europeus, de clima temperado, para os quais as necessidades de insolação e ventilação são bastante distintas dos trópicos.

Embora tenha contribuído para o desenvolvimento da salubridade, e condições de insolação e ventilação, o ecletismo é visto pelos modernistas com antipatia, pois era considerada uma arquitetura elitista, fútil, e decorativa, promovida pela riqueza proporcionada pelo café, baseada na importação de variados estilos arquitetônicos, de mão de obra, materiais e técnicas construtivas alheias às tradições construtivas,

desprezando as características locais como o clima, e que valorizavam os estrangeirismo em detrimento à cultura nacional.

Segawa (2001) comenta que em meados do século XX já existe um grupo de profissionais que busca proteger as aberturas contra a insolação excessiva. Aqui se inserem as pesquisas de Paulo Sá, um dos pioneiros a desenvolver estudos de insolação para as edificações. Eduardo Kneese de Melo preocupava-se com o sol excessivo e procurava elementos para proteger o interior das edificações, como uma orientação adequada, o posicionamento e área das janelas.

Lúcio Costa, ao procurar embasar e consolidar o movimento moderno no Brasil, resgata na cultura construtiva popular brasileira o “saber fazer”, as condicionantes climáticas e os materiais disponíveis como uma identidade nacional para o modernismo. A necessidade do rompimento com o ecletismo, que se apropriava de técnicas e importação de materiais europeus, independentes da realidade brasileira, reforçou a busca pelas “raízes” da cultura construtiva brasileira. Já para Lemos (1999), as raízes, a arquitetura vernácula brasileira ou as origens de nossa cultura construtiva e de adaptação ao meio ambiente remontam ao período pré-colonial, das origens indígenas do território brasileiro<sup>6</sup>.

Ao identificar-se com a época colonial, Costa ressalta muitos aspectos da relação do saber-fazer do mestre de obras e tenta adaptá-las as condições tecnológicas e dos novos materiais disponíveis em meados do século XX. O modernismo traz

---

<sup>6</sup> Lemos (1999) não concorda com a visão dos arquitetos do início do modernismo no Brasil, principalmente Lúcio Costa, ao propor uma identidade nacional como contraponto ao ecletismo que importava desde materiais, técnicas e mão de obra. Procura valorizar a origem da arquitetura nacional, vernácula, buscando no período do Brasil colônia as suas raízes, apresentando a arquitetura bandeirista como exemplo. Porém para Lemos, é na arquitetura indígena que temos toda a expressão do saber fazer, das condições locais (relevo, vegetação, hidrografia), dos materiais e técnicas, e principalmente do clima.

Para o autor, a arquitetura vernacular brasileira é a indígena. E comenta “...é a relação espaço-atividade doméstica, onde a técnica, manipulando os recursos da natureza envoltória, satisfaz às exigências de todo um complexo cultural que rege a vida cotidiana. Essa é a arquitetura dita vernácula, porque mantém aquela relação entre a construção e o modo típico de usufruí-la, sempre alheia a influências de culturas externas”. Descreve, “a morada indígena é conseguida através de madeiras roliças fincadas no chão e vergadas superiormente, definindo um espaço abobadado de planta onde predomina a linha curva. Toda a estrutura é recoberta de palha, para o isolamento térmico, prevendo-se pequenas aberturas de entrada e sistemas superiores de ventilação. É a oca escura, mas fresca e a salvo dos mosquitos, sendo, afinal, a solução milenar que o homem definiu ao participar do ecossistema tropical das terras pela primeira vez descritas por Pero Vaz de Caminha”. Pois, “a evolução das habitações atenderam à imposições de ordem cultural...”, da transposição da cultura construtiva ibérica e influências sofridas, que apesar de se inserirem numa sociedade altamente miscigenada como a que havia em São Paulo (portugueses, espanhóis, e numerosos índios e mamelucos), a presença da cultura indígena não se apresenta nem no programa, na técnica, ou na intenção plástica adotadas, somente a percebemos claramente na língua, nos equipamentos e na culinária.

consigo a ciência e a racionalidade ao processo de projeto. A arquitetura moderna não é um estilo, mas uma forma de viver.

O emprego de novos materiais e tecnologias construtivas, como o vidro, o concreto e o aço, pela arquitetura moderna transformou a linguagem de composição, de arranjo espacial e estruturação da edificação. Le Corbusier revolucionou a relação espacial da arquitetura propondo a utilização dos cinco princípios: o uso de pilotis, a planta livre, o terraço jardim, a estrutura independente e fachada de vidro.

Maragno (2000) comenta que “a redução dimensional dos elementos portantes e sua separação dos elementos de vedação permitiram a utilização do vidro em superfícies cada vez maiores até chegar às fachadas totalmente envidraçadas”, proporcionando transparência e integração visual.

Entretanto, Givoni (1981) afirma que a ampla utilização da pele de vidro nas fachadas das edificações na arquitetura moderna alterou a relação entre o ambiente interno e o clima, enfatizando o problema do superaquecimento proporcionado por esse material construtivo.

Segundo Bruand (2002), “as teorias e o exemplo de Le Corbusier (...) enalteciam a abertura dos edifícios para o exterior, proporcionando-lhes a penetração do ar, da luz, e da natureza. Entretanto, a aplicação desses princípios nos países de clima quente exigia uma certa adaptação ao meio ambiente e o emprego de alguns dispositivos capazes de combater a insolação e o calor excessivos”.

Dentre outras preocupações, que compunham o discurso modernista de então, havia a necessidade de adaptação às condições climáticas regionais. Para o Brasil, país tropical situado entre as latitudes de 5°N a 34°S com a maior parte do seu território localizado entre o equador e o trópico de capricórnio, “o clima foi o fator físico que mais interferiu na arquitetura brasileira”. (BRUAND, 2002).

### 3.2 O brise-soleil

O brise-soleil<sup>7</sup> é um entre vários tipos de dispositivos de proteção solar<sup>8</sup>. É um elemento construtivo constituído por lâminas geralmente paralelas, externas à edificação.

A função primordial desses elementos é impedir que a incidência da radiação solar direta atinja as superfícies da edificação, principalmente as transparentes ou translúcidas, interceptando os raios solares. Desta forma, atua no controle e redução do ganho de calor solar, pois promove o sombreamento das superfícies por eles protegidas, dependendo fundamentalmente da orientação da fachada.

Possui também funções secundárias como o controle do excesso de luminosidade, característico de regiões de climas quentes. Outros aspectos que também sofrem influência desses elementos são a visibilidade para o exterior e a ventilação da edificação.

Lemos e Corona (1972) assim o definem:

**“Brise soleil – Elemento arquitetônico de proteção, com a finalidade principal de interceptar os raios solares, quando estes forem inconvenientes”.**<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> Brise-soleil, quebra-sol, sun-breakers, parasol, quebra-luz, corta-luz, external shading devices, são algumas das denominações dadas à esse elemento construtivo. Segundo Corona e Lemos (1972), a expressão brise-soleil é um “termo de aplicação constante na linguagem comum da arquitetura contemporânea brasileira, que provém do francês ‘brise-soleil’, cuja tradução literal ‘quebra-sol’, apesar de designar a mesma coisa, não atingiu a popularidade do vocábulo ‘brise’, que por isso mesmo, deverá fazer parte de nossa língua como aquisição definitiva”.

<sup>8</sup> “Dispositivos de proteção solar ou de sombreamento: podem ser desde uma simples cobertura que ofereça sombra, beirais, terraço / varanda ou alpendre, muxarabis, marquises, toldos, venezianas, cortinas e vegetação. Geralmente protegendo as aberturas das edificações. Incluem os chamados ‘brise-soleil’ ou quebra-sol, sendo estes caracterizados por lâminas horizontais verticais ou combinadas, moldadas in loco, ou existentes denominados combogó ou elemento vazado. Internamente também são consideradas como dispositivos de proteção as venezianas, cortinas, etc”. (ALBERNAZ & LIMA, 2000).

<sup>9</sup> Completam o verbete as informações: “o elemento arquitetônico com função de quebrar a direção dos raios solares já comparece em muitas arquiteturas, mesmo de épocas mais remotas. Porém, do gênero placas horizontais ou verticais, móveis ou fixas, com o nome específico de ‘brise-soleil’, constitui uma sistematização criada por Le Corbusier para um de seus projetos de 1933. Tendo o mestre contemporâneo aplicado esses elementos para o Ministério da Educação no Rio de Janeiro, ficam eles decididamente incorporados ‘a arquitetura brasileira. (...) Daí por diante, os arquitetos brasileiros conscientes da importância e da excelência desses elementos especiais na arquitetura brasileira, passaram a usá-los nas diversas soluções que hoje se revestem de características bem nacionais. (...)” e “Termo de aplicação constante na linguagem comum da arquitetura contemporânea brasileira, que provém do francês ‘brise-soleil’, cuja tradução literal ‘quebra-sol’, apesar de designar a mesma coisa, não atingiu a popularidade do vocábulo ‘brise’, que por isso mesmo, deverá fazer parte de nossa língua como aquisição definitiva”. (CORONA & LEMOS, 1972).

Para Ching (2000):

“**Brise soleil** - Anteparo, normalmente de palhetas, colocado na parte externa de um edifício a fim de proteger as janelas da incidência direta da luz solar”.

“**Quebra-sol** - Qualquer um dentre uma série de dispositivos externos que constituem em lâminas horizontais ou verticais, inclinadas para proteger uma janela da incidência direta da luz solar”.

Para Holanda (1999):

“**Brise soleil** – Conjunto de chapas de material fosco que se põe nas fachadas expostas ao sol para evitar o aquecimento excessivo dos ambientes sem prejudicar a ventilação e a iluminação”.

Para Houaiss & Villar 2001):

“**Brise soleil** – (fr) sm. ARQ. elemento arquitetônico em forma de placas horizontais ou verticais, fixas ou móveis, aplicadas sobre a fachada do edifício, para barrar a incidência direta dos raios solares; quebra-luz, quebra-sol”.

Para Albernaz & Lima (2000)

“**Brise** – Anteparo composto por uma série de peças, em geral placas estreitas e compridas, colocadas em fachadas, para reduzir a ação direta do sol. Suas peças podem ser móveis ou fixas, dispostas na horizontal ou vertical. Quando convenientemente disposto, protege o interior do prédio da excessiva insolação preservando a visão para o exterior. É adequado seu uso em edifícios situados em locais de clima quente<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Albernaz & Lima, 2000 afirmam que “freqüentemente é desnecessário na face sul do prédio, parcialmente dispensável na face leste, indispensável na face norte e na face oeste. Recomenda-se o uso de brise com peças horizontais na face norte do prédio e com peças verticais na face oeste. O brise móvel, por ser regulável, protege convenientemente da incidência de raios solares e assegura máxima visibilidade externa, mas exige cuidados e manutenção. O brise fixo não exige qualquer cuidado, é mais econômico e particularmente recomendado para fachadas orientadas a norte ou nordeste. Além do seu aspecto funcional, tem ainda efeito decorativo, tendo sido um elemento muito marcante como meio de expressão plástica em muitos edifícios que introduziram o modernismo no Brasil. É também chamado de brise-soleil e mais raramente quebra-sol”.

### **3.2.1 A criação do brise-soleil**

Idealizado por Le Corbusier em meados do século XX, o brise-soleil tem influência de elementos construtivos como dispositivos de proteção solar oriundos de culturas construtivas árabes e asiáticas em sua concepção. Segundo Maragno (2000), “sua origem pode ser identificada com elementos de arquiteturas tradicionais utilizados para filtragem da radiação solar, da luz e do calor aplicados principalmente na arquitetura árabe”. Não possuem necessariamente a mesma forma, material ou linguagem, mas o mesmo princípio de atuação: sua função essencial é o controle da radiação solar excessiva em países de clima quente. Corona & Lemos (1972) comentam sobre a origem desse dispositivo e da originalidade de linguagem: “o elemento arquitetônico com função de quebrar a direção dos raios solares já comparece em muitas arquiteturas, mesmo de épocas mais remotas. Porém, do gênero placas horizontais ou verticais, móveis ou fixas, com o nome específico de ‘brise-soleil’, constitui uma sistematização criada por Le Corbusier para um de seus projetos de 1933”.

Segundo Fathy (1986), o brise-soleil é na verdade uma releitura da persiana, sendo seu desenvolvimento uma questão de escala, pois as dimensões de suas lâminas são aumentadas, e sua aplicação foi estendida a toda área das aberturas, para a proteção de fachadas inteiras. Para Mindlin (2000) embora “qualquer tipo de brise-soleil possa ser considerado uma imitação dos velhos e tradicionais métodos de proteção contra a ofuscação e o calor”, sendo possível identificar “reminiscências e variações das rótulas e persianas do período colonial”, a linguagem desse novo elemento extrapola a referência histórica trazendo base científica na sua elaboração, avaliação da necessidade de sombra e luz, passa a compor a estrutura da edificação; sua forma e a multiplicidade de soluções definem texturas, planos, profundidade, ritmo e movimento, enfim, possui uma identidade e estética próprias.

Para Maragno (2000), o brise-soleil é “uma resposta às transformações arquitetônicas introduzidas pelas possibilidades tecnológicas e pelos conceitos da arquitetura moderna”. Está associado à necessidade de proteção solar dos edifícios

modernos, por terem transformado a linguagem de composição, de arranjo espacial e estruturação da edificação, com a intensa utilização de novas tecnologias e materiais.

Baker (1998) explica que “a atitude de Le Corbusier com relação à superfície envoltória de seus edifícios mudou quando percebeu os problemas provocados (...) pelo emprego de uma membrana fina com grandes áreas envidraçadas” e comenta que “o problema era agudo em países quentes e a solução foi o desenvolvimento de uma forma de anteparo solar conhecido como brise-soleil”. Para Maragno (2000), “Le Corbusier deparou-se com a contradição entre a desejável visibilidade da paisagem do exterior do edifício e a necessidade de controle da radiação solar”.

Segundo Maragno (2000) “o brise-soleil constituiu-se em excelente solução para viabilizar o uso dos abundantes panos de vidro contínuos e transparentes na resolução das fachadas, por permitir a iluminação natural, a integração visual do interior com o exterior e evitar a incidência direta dos raios solares e os ganhos térmicos por ela ocasionados”.

Segundo Baker (1998), “o brise-soleil atua como um filtro, criando uma película permeável ao redor do edifício que permite a penetração no espaço interno e suaviza o impacto da forma (...)”. E comenta que esse elemento “levou ao abandono do efeito cúbico das primeiras casas (...)” modernistas.

A concepção desse elemento é basicamente funcional, porém sua aplicação passa a dialogar com a composição arquitetônica da edificação. Assim, também se enquadra nos preceitos modernista visto que sua “*forma segue a função*”.

A criação desse elemento construtivo, o brise-soleil, que foi desenvolvido em resposta às condições climáticas, é uma característica marcante na expressão formal das edificações.

### **3.2.2 O brise-soleil e a arquitetura moderna brasileira**

Segundo Cavalcanti (2001), além dos cinco princípios básicos do modernismo outros elementos compõem a linguagem da arquitetura moderna brasileira: uso de rampas, formas livres e flexibilidade de volumes; proteção solar; curvas e estrutura com intenção plástica (elementos expressivos); e indistinção dos espaços interno e externo. Para o autor, a arquitetura moderna brasileira com suas formas revolucionárias representa uma assimilação transformadora ao reinterpretar os princípios modernistas e passa a influenciar a linguagem internacional do pós-guerra. Para Goodwin (1943), essa é a “primeira aplicação em larga escala dos princípios de Le Corbusier, Gropius e Van Der Rohe (...), que no Brasil tinha agora encontrado sua expressão artística”.

Mindlin (2000) destaca dois fatores que contribuíram para o desenvolvimento da arquitetura moderna brasileira: “a pesquisa sobre problemas de insolação<sup>11</sup>” e “o desenvolvimento de uma técnica avançada de uso do concreto armado”. Para o autor, “esses dois fatores estão associados às duas características mais salientes da arquitetura moderna no Brasil: o emprego de grandes superfícies de vidro, protegidas, quando necessário, por brise-soleil, e o uso de estruturas livres, apoiadas sobre pilotis, com térreo aberto quando possível”, marca da influência de Le Corbusier.

Segundo Bruand (2002), a introdução do brise-soleil no Brasil se dá com a influência de Le Corbusier sobre o grupo de arquitetos do Rio de Janeiro e São Paulo, do início do modernismo brasileiro.

Conhecidos posteriormente como Escola Carioca, as soluções desenvolvidas por essa geração de arquitetos tinham como estratégia de projeto a preocupação de projetar com o clima, adotando sistemas de condicionamento passivo. A ventilação cruzada, beneficiada pelas grandes aberturas, meias paredes e térreo livre com o uso de pilotis, é um desses exemplos; e principalmente o brise-soleil, que foi aprimorado e

---

<sup>11</sup> Data de 1916 o primeiro ensaio sobre o assunto, por Alexandre Albuquerque no Rio de Janeiro. Em São Paulo, Lúcio Martins de Rodrigues desenvolve estudos na Escola Politécnica no qual “estabelece base científica para orientar edifícios em relação ao sol”. Mais tarde, no Rio de Janeiro, Paulo Sá, Atilio Corrêa Lima, Hermínio de Andrade e Silva também realizam estudos. Por fim, “sob a liderança de Paulo Sá, formulou-se uma doutrina, baseada em extensa pesquisa experimental, cobrindo todos os aspectos do problema da insolação nas edificações: astronômicos, térmicos, de ofuscação, sombra, etc”. (MINDLIN, 2000).

alvo de inúmeras composições e soluções distintas na arquitetura moderna brasileira, sendo utilizado das mais variadas formas.



Maragno (2000) comenta que foram os jovens arquitetos brasileiros que assimilaram a solução oferecida pelo brise-soleil e “aperfeiçoaram a idéia inicial, desenvolvendo um sofisticado sistema que combinava placas verticais com horizontais móveis”. Embora as primeiras aplicações do sistema de brise-soleil tenham sido soluções de placas verticais, como no edifício da ABI (Associação Brasileira de Imprensa) dos irmãos Roberto em 1937 (fig. 3.1), e na Obra do Berço (fig. 3.2) de Oscar Niemeyer em 1939, ambos no Rio de Janeiro, foi no projeto do Ministério da Educação e Saúde (fig. 3.5) que ocorre a primeira aplicação do brise-soleil em um edifício de grande porte.

Fig. 3.1. Edifício da ABI (Associação Brasileira de Imprensa), 1936-38, Rio de Janeiro, irmãos M.M. Roberto. As duas fachadas orientadas a norte e noroeste foram protegidas por brise-soleil verticais fixos em concreto armado, interrompidos pela marcação da laje. “O sistema de proteção contra o excesso de insolação consiste em faixas de brise-soleil verticais, cobrindo as duas fachadas, e separadas das paredes exteriores das salas (feitas com portas de vidro com ventilação na parte superior) por um corredor que assegura ventilação auxiliar e atua como zona de dispersão de calor”. (MINDLIN, 2000; Fonte da fotografia: UNDERWOOD, 1994).

Fig. 3.2. Edifício Obra do Berço, Rio de Janeiro, 1939, de Oscar Niemeyer. (Fonte da fotografia: Underwood, 1994).

Segundo Mindlin (2000) e Cavalcanti (2001), o projeto da proteção solar proposta originalmente por Niemeyer era composto por elementos vazados tipo colméia, com placas horizontais inclinadas, para melhor proteção contra o sol da tarde. Porém, sua instalação foi realizada quando o arquiteto estava em viagem a Nova York para a obra do Pavilhão Brasileiro na Feira Mundial, e sendo mal executada, resultou na ineficiência do dispositivo e justas reclamações da instituição. Assim que retornou, Niemeyer mandou substituí-la às próprias custas, por um sistema de brise-soleil vertical móvel, inspirado na solução do edifício da ABI.

Segundo Bruand (2000), essa obra é o “primeiro exemplo de integração do brise-soleil móvel na arquitetura”.



Fig. 3.3. Pavilhão do Brasil na Feira Mundial em Nova York, 1938-39, Nova York. Arquitetos Lúcio Costa e Oscar Niemeyer. Na fachada sul, protegendo da insolação havia um painel fixo, em formato de colméia. (Fonte da fotografia: UNDERWOOD, 1994).

O edifício do Ministério da Educação e Saúde é o primeiro e mais representativo exemplar da arquitetura moderna brasileira, aplicando todos os princípios de Le Corbusier num edifício de grandes dimensões: o terraço jardim, a pele de vidro, a estrutura independente, planta livre, e o uso de pilotis, e incorpora também características que passam a compor a linguagem da arquitetura brasileira: formas livres e flexibilidade de volumes; proteção solar; curvas e estrutura com intenção plástica (elementos expressivos); e indistinção dos espaços interno e externo.

Fig. 3.4. Detalhe do brise-soleil combinando placas verticais fixas e horizontais móveis.



O edifício do Ministério da Educação e Saúde possui duas belas e imponentes fachadas, sendo uma totalmente envidraçada a sudeste, e a outra a noroeste, protegida por brise-soleil horizontal móvel, de cimento-amianto, na cor azul, fixado em esbeltas placas verticais e horizontais em concreto armado.



Fig. 3.5. Edifício do Ministério da Educação e Saúde, atual Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro, 1937-43. Projetado pelos arquitetos Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, Jorge Moreira, Carlos Leão e Ernani Vasconcelos, com consultoria de Le Corbusier. (Fonte das fotografias: BONDUKI, 2000).

Para descrever o sistema de sombreamento utilizado nesse edifício, apresenta-se um trecho sobre o sistema de brise-soleil adotado, explicado no memorial descritivo da solução definitiva para o projeto do Ministério da Educação e Saúde, elaborada pela equipe de arquitetos, transcrito de Bonduki (2000).

“De acordo com a disposição do bloco, as salas de trabalho ficaram orientadas para SSE e NNO. Na face SSE, insolada fracamente em alguns dias do ano, pela manhã, adotamos grandes caixilhos envidraçados até o teto, que permitirão perfeitas condições de ventilação e iluminação, além de agradável vista para a baía; serão usadas nos mesmos cortinas de réguas de madeira (venetian blinds) para graduar a intensidade luminosa.

Na face NNO, insolada quase todo o ano durante as horas de expediente, foi adotado um sistema de proteção que importa examinar, passando em revista, preliminarmente, os processos até então usados, para mostrar alguns de seus inconvenientes.

Os sistemas de proteção mais conhecidos entre nós são os de varandas e cortinas. O tipo de proteção por varandas, quando usado em edifícios desse gênero, apresenta sérios inconvenientes de ordem técnica e econômica, pelos problemas de ventilação que acarreta e pela área de construção praticamente perdida que representa. (...). As cortinas de enrolar, das quais diversos tipos são usados aqui no Rio, além de apresentarem desvantagens equivalentes, dariam ao conjunto o aspecto comum de apartamento, o que, no caso, seria lamentável.

Restava portanto uma única solução, o ‘brise-soleil’ proposto por Le Corbusier para a Argélia. Consiste este sistema em uma série de placas adaptadas à fachada, a fim de protegê-la dos raios solares, em disposição a ser estudada de acordo com os casos apresentados. Tornava-se entretanto indispensável, uma vez que até então não fora usado este meio de proteção, elaborarmos estudos cuidadosos do tipo a ser empregado.

A inclinação do sol e a sua trajetória em relação à fachada insolada estavam a indicar que o sistema de proteção preferível deveria ser constituído por placas horizontais, pois, de outra forma, seríamos forçados a adotar vãos diminutos, acarretando perda de visibilidade. Por outro lado, verificamos que a adoção de placas fixas, se bem que pudesse resolver o problema da insolação, seria menos satisfatória no tocante à iluminação, pois, tendo sido calculada para dias claros, resultaria por força deficiente nos sombrios, obrigando ao uso da luz elétrica em horas que outros prédios poderiam dispensá-la.

Além disso, consideramos que, sendo a direção dos raios solares variável em relação à fachada, o melhor sistema de evitá-lo, deveria ser móvel (fig 3.6). Com essas razões e baseados em experiências feitas com os melhores resultados – no prédio da Obra do Berço, na Lagoa Rodrigo de Freitas, onde, devido à orientação, foi adotado o tipo vertical – decidimos empregar também um processo semelhante que garantisse em qualquer hora e dia disposição adequada às necessidades do trabalho.

O sistema empregado no edifício do MES consiste em lâminas verticais fixas de concreto, ligadas aos pisos e placas horizontais basculantes de eternite, armadas em ferro.

As placas horizontais ficarão afastadas cerca de 0,50m das esquadrias, formando um vazio para tiragem do ar, a fim de evitar a entrada de calor por irradiação nas salas de trabalho, e tendo as verticais somente dois pontos de contato com a estrutura, ainda para evitar um conjunto rígido que facilitaria a transmissão de calor.

As básculas serão constituídas por placas duplas de cimento-amianto, cujas propriedades isotérmicas são conhecidas.”

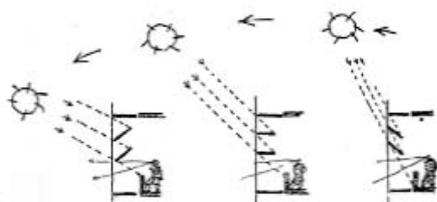


Fig. 3.6. Estudo para o projeto do brise-soleil horizontal móvel. (Fonte: BONDUKI, 2000).

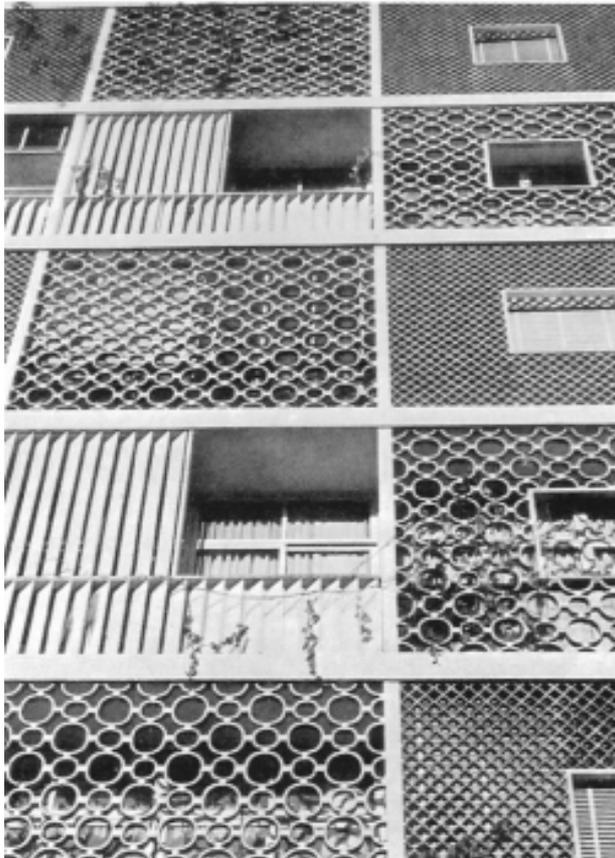


Fig. 3.7. Edifício Bristol no Parque Guinle, Rio de Janeiro, 1954, de Lúcio Costa. (Fonte: MINDLIN, 2000)



Fig. 3.8. Edifício Caledônia, Parque Guinle, Rio de Janeiro, 1950, de Lúcio Costa. (Fonte: MINDLIN, 2000).

Edifícios Bristol (1950) e Caledônia (1954) no Parque Guinle, bairro de Laranjeiras, Rio de Janeiro, de Lúcio Costa. (Fonte das fotografias: MINDLIN, 2000)

Segundo Cavalcanti (2001), os edifícios “foram construídos sobre pilotis, com estrutura independente em concreto armado, planta livre, fachadas livres, brise-soleil e cobogós para proteção contra o sol”. O autor comenta que “as fachadas longitudinais orientadas para oeste foram divididas em quadros retangulares, sendo-lhes aplicadas diversas formas de proteção contra o sol, de acordo com a função de seus correspondentes internos: brises verticais, cobogós, tijolos vazados, de vidro, treliças de madeira”.

Mindlin (2000), comenta que a orientação fora escolhida em função da implantação no parque e pela bela paisagem, porém era desfavorável para insolação. “Esta desvantagem foi, no entanto, minimizada pelo tratamento das fachadas, nas quais foram fixados brise-soleil e painéis de cobogós de cerâmica, produzindo jogos de textura e luz muito característicos dessa fase da arquitetura brasileira”.

Fig. 3.9 e 3.10. Conjunto Residencial do Pedregulho, 1947-52, Rio de Janeiro, de Affonso E. Reidy. Vista do Bloco Residencial A, edifício sinuoso com 260m de comprimento. O terceiro andar é aberto com o acesso ao edifício e distribui a circulação. “Na fachada noroeste posterior, tijolos vazados funcionam como ‘treliças’ protetoras contra o sol”. (CAVALCANTI, 2001). (Fonte das fotografias: BONDUKI, 2000).

Atrás da fachada de elementos vazados, há um corredor de acesso aos apartamentos, que oferece proteção à insolação direta, mantendo a filtragem da luz e ventilação permanente.



Bonduki (2000) apresenta um texto de Affonso Reidy e Carmem Portinho descrevendo o projeto do Pedregulho, sendo transcrita a seguir a parte sobre insolação:

“Foram adotados diversos tipos de dispositivos para corretores do excesso de insolação e procurou-se, sempre que possível, assegurar a ventilação transversal. As faces mais castigadas pelo sol foram protegidas com quebra-sol de diferentes tipos: móveis de eixo vertical ou horizontal, conforme a orientação oeste ou norte (...); peças de terracota de diferentes tipos – quadrados, retangulares, hexagonais (...); e blocos de cimento (...).





Fig. 3.11 e 3.12. Conjunto Residencial do Pedregulho, 1947-52, Rio de Janeiro, de Affonso E. Reidy. Vista do Bloco B, apartamento duplex. “A varanda alterna um fechamento em grades de ferro baixas e cobogós, enquanto os quartos são ventilados por janelas altas que aparecem como uma fita nas fachadas. O corredor de acesso aos apartamentos protege a área de estar da insolação mais desfavorável e a presença de janelas nas fachadas opostas propicia a ventilação cruzada no setor dos quartos”. (CAVALCANTI, 2001). (Fonte da fotografia: BONDUKI, 2000)

Para corrigir o excesso de insolação dos compartimentos situados na face oeste dos blocos A e B, foram usadas venezianas de madeira, tipo guilhotina equilibrada, no bloco A, e basculante nos blocos B1 e B2 (...).”



Fig. 3.13. Museu de Arte Moderna, 1953-68, Affonso E. Reidy, Rio de Janeiro. “A estrutura é indissociável da arquitetura, funcionando como elemento plástico”. No terraço, a pérgola em concreto é o sistema de sombreamento adotado, integrando e dando continuidade aos espaços interno e externo, com ritmo e vista da paisagem do mar. (CAVALCANTI, 2001). (Fonte da fotografia: BONDUKI, 2000)



Fig. 3.14. Detalhe da composição de brise-soleil do Edifício Sede do Instituto de Previdência do Estado da Guanabara, Rio de Janeiro, 1957. (Fonte das fotografias: BONDUKI, 2000)

Fig. 3.15. Edifício Sede do Instituto de Previdência do Estado da Guanabara, Rio de Janeiro, 1957. A fachada oeste é protegida por um quebra-sol parcialmente removível. Originalmente horizontais, passaram a verticais na construção do edifício. (Fonte das fotografias: BONDUKI, 2000)

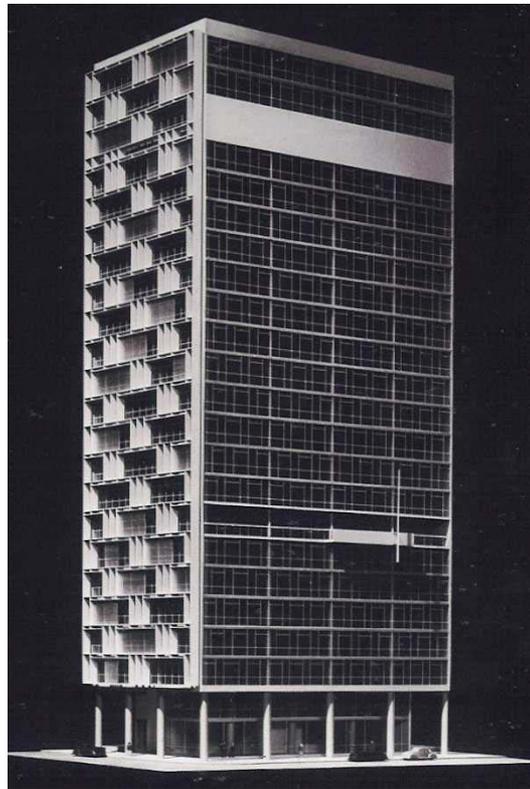


Fig. 3.16. Detalhe do edifício Seguradoras, 1949-51, irmãos Roberto, Rio de Janeiro. Adoção de soluções passivas para o conforto térmico: Na fachada norte, venezianas externas reguláveis e controle interno, permitindo ao usuário ajustá-las conforme incidência do sol. As venezianas estão montadas num sistema pivotante em eixo horizontal e distam um metro da face transparente. Nota-se também, a preocupação em ventilar esse espaço entre o brise e a janela, impedindo a concentração de ar quente. À leste, a fachada envidraçada não conta com nenhum sistema de sombreamento. (CAVALCANTI, 2001).



Fig. 3.17. Edifício Clemente de Faria – Sede do Banco Lavoura, Belo Horizonte, 1951, por A. Vital Brazil. A fachada noroeste é protegida por brises verticais móveis em cimento amianto, enquanto na fachada leste foi realizada uma trama com marcação horizontal das lajes e vigas.” (CAVALCANTI, 2001). (Fonte da fotografia: CONDURU, 2000).

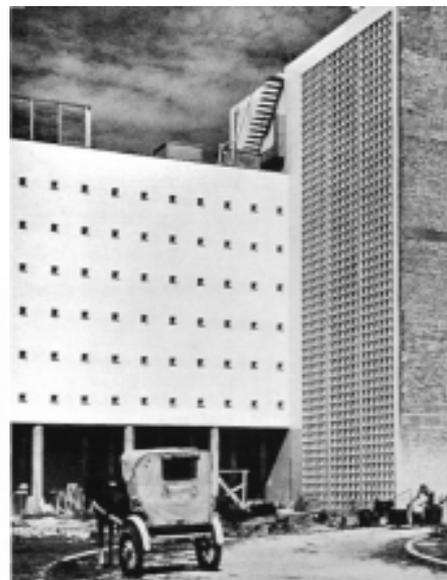


Fig. 3.18. Edifício Instituto Vital Brazil, Niterói, 1941-42, de Vital Brazil. A necessidade de controle ambiental desse edifício é essencial à sua atividade laboratorial, sendo a proteção solar passiva um elemento chave nesse projeto. A fachada norte é protegida do excesso de insolação por um sistema especial de aberturas. Na torre a escada e os banheiros, contam com uma trama de elementos vazados. A face sul é envidraçada. (Fonte da fotografia: CONDURU, 2000).

Nas obras pesquisadas, observam-se indicações do uso de soluções passivas como a orientação adequada das fachadas, uso de dispositivos de sombreamento e distanciamento desses elementos das aberturas para evitar a transmissão de calor por condução, assegurando um espaço de ventilação nos sistema brise-fachada para retirada do ar quente, acessos livres e ventilação cruzada no ambiente interno, visando equacionar a redução do aporte de calor solar, a entrada de luz natural, a ventilação adequada do ambiente, e a função do ambiente interno.

A concepção do brise-soleil fazia parte do processo de projeto. Destaca-se o estágio de desenvolvimento avançado dos estudos de insolação permitindo a aplicação adequada as necessidades de cada edificação, o uso de soluções passivas nos



Fig. 3.19. Casa de Heitor Almeida, Santos, 1949, de J. Vilanova Artigas. Pátio protegido por pérgola, integrado ao volume da construção, e que oferece proteção ao escritório. “A faixa de brise-soleil, ao longo das janelas dos quartos, permite o controle da luz do sol, mesmo com as venezianas abertas. (MINDLIN, 2000).

projetos arquitetônicos da primeira metade do século XX, e a preocupação dos arquitetos com o projeto adequado dos dispositivos, bem como a variabilidade de soluções e integração às fachadas.

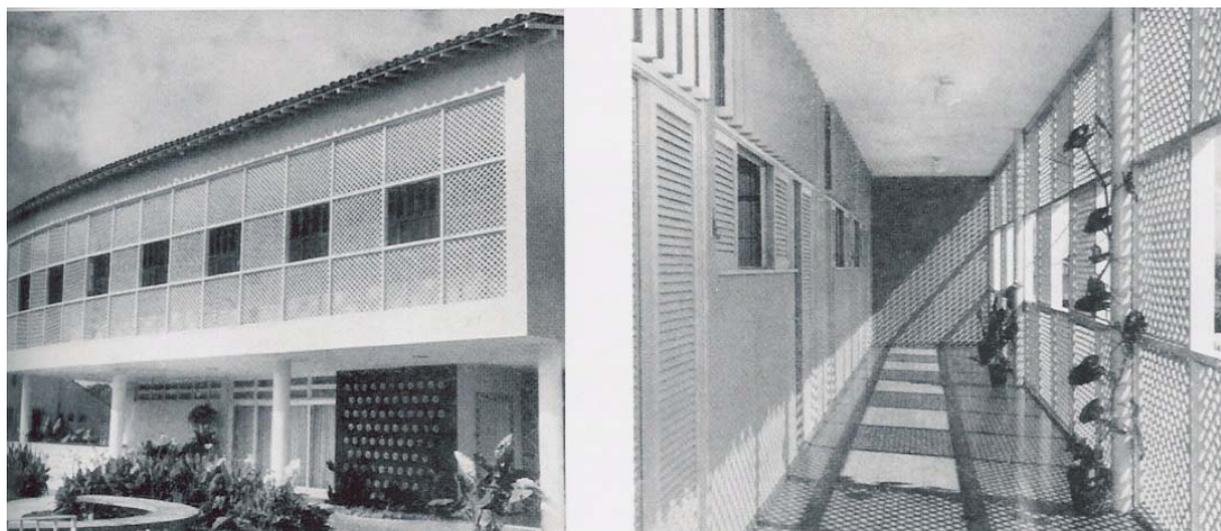


Fig. 3.20 e 3.21. Casa de João Paulo de Miranda Neto, Maceió, 1953, por Lygia Fernandes. Na fachada leste, as treliças em madeira protegem a varanda em frente aos quartos. (MINDLIN, 2000).

Mindlin (2000) destaca que esse edifício possui uma solução impar e, delicada e extremamente detalhada de proteção solar e ao clima quente da Bahia. “O arquiteto projetou um sistema de leves grades de ferro, de 2 por 3m, destacadas da fachada e dispostas em dois planos, alternando-se em tabuleiro de xadrez, espaçadas de 25 cm e apoiadas em consolos de concreto salientes das lajes dos andares. Essas grades são cobertas por uma espécie de veneziana feita de tiras de bronze de 1 mm de largura, (...) sob forma de tela metálica. A proteção contra o excesso de insolação assim obtida, como se um mosquiteiro fosse transformado em brise-soleil, é total e não impede que se possa desfrutar da vista”, e também dá ritmo à fachada retangular.

Segundo Cavalcanti (2001), “o elemento do prédio que mais atraiu interesse, à época de sua construção foi o sistema de proteção contra o sol em duas de suas fachadas. (...) O arquiteto projetou um sistema de finas lâminas móveis e verticais, apoiadas em um sistema de grades, colocado no exterior do edifício. O efeito plástico desse sistema é bastante particular, com a textura da trama estreita acentuada pelo jogo de luz e sombra, em contraste com as faces lisas da fachada”.

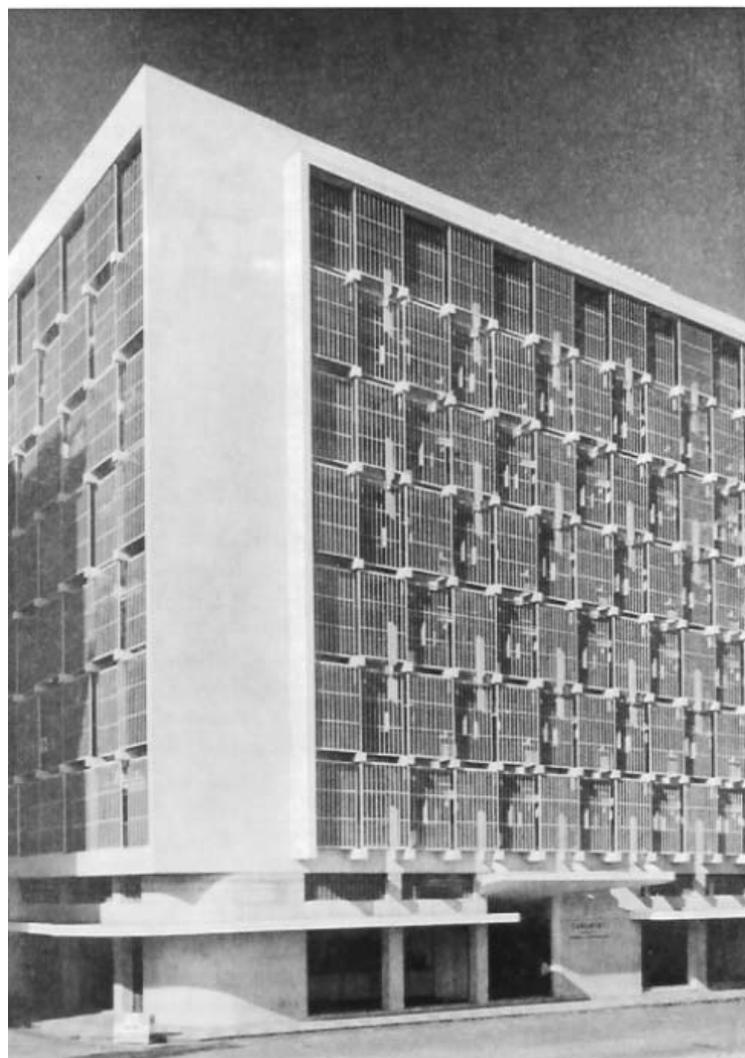


Fig. 3.22. Edifício Caramuru, Salvador, 1946, de Paulo A. Ribeiro. (Fonte: CAVALCANTI, 2001)

O uso desse dispositivo de sombreamento pode compor nuances e diferentes texturas à fachada, oferecendo à mesma dinamismo, ritmo e textura.

Segundo Bruand (2002) as soluções de brise-soleil formam “composições tão engenhosas quanto variáveis, estes elementos, concebidos originalmente com finalidade puramente prática, transformando-se num meio de expressão plástica que marcaram profundamente a arquitetura brasileira contemporânea”.

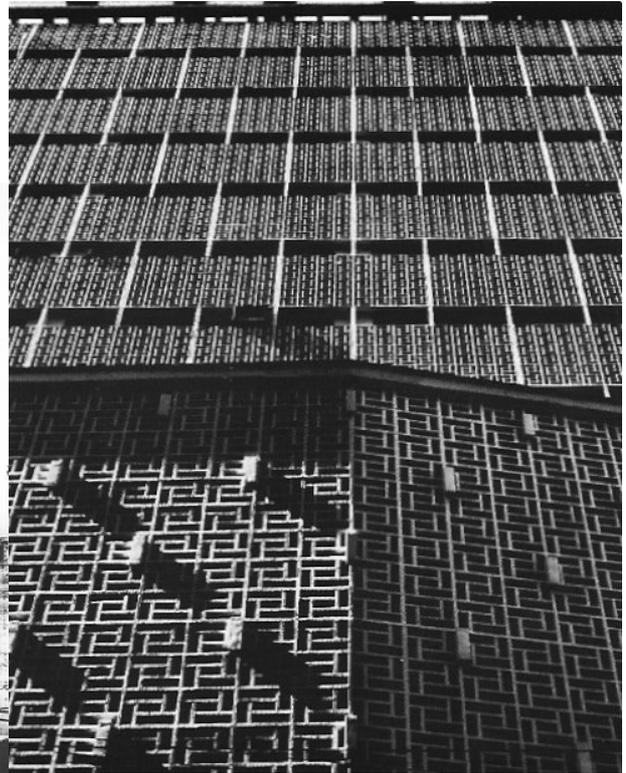


Fig. 3.23. Ed. Renata Sampaio Ferreira, São Paulo, 1956, de Oswaldo Bratke. (Fonte: SEGAWA, 1997). Além da proteção solar, a trama oferecia proteção às esquadrias de madeira.

Fig. 3.24. Detalhe da trama da fachada.

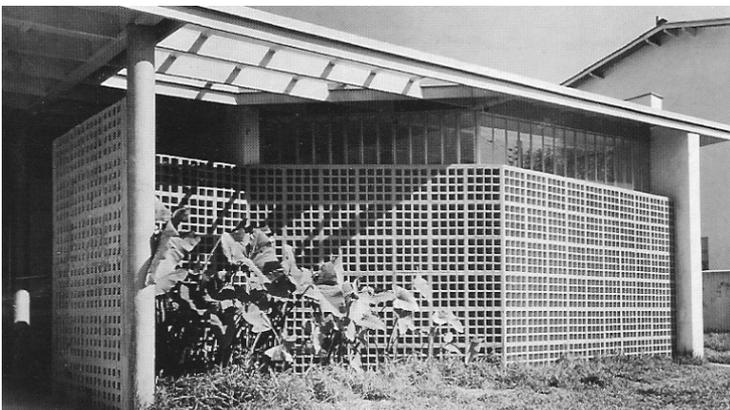


Fig. 3.25. Residência no Jardim Paulista, São Paulo, 1948, de Oswaldo Bratke. (Fonte: SEGAWA, 1997).

O arquiteto definia planos e modulações, num jogo de volumes com o uso de elemento vazado.



Fig. 3.26. Residência do Arquiteto Oswaldo Bratke – Morumbi, São Paulo, 1951. Essa edificação é um belo exemplo de composição geométrica. Possui um “recoo imposto pelas diferentes necessidades de proteção determinadas pela orientação de cada lado do plano. (...) Os painéis exteriores de cobogós de concreto pré-moldado corrigem o excesso de insolação e protegem a privacidade da casa”. (MINDLIN, 1956; foto SEGAWA, 1997).



Fig. 3.27. Residência da Rua Suécia, São Paulo, 1956, Oswaldo Bratke. O arquiteto trabalha a modulação estrutural, com jogo de cheios e vazios, e protege o vazio da composição frontal com elementos vazados de cimento e madeira. (Fonte: SEGAWA, 1997).

3.28



3.29



3.30

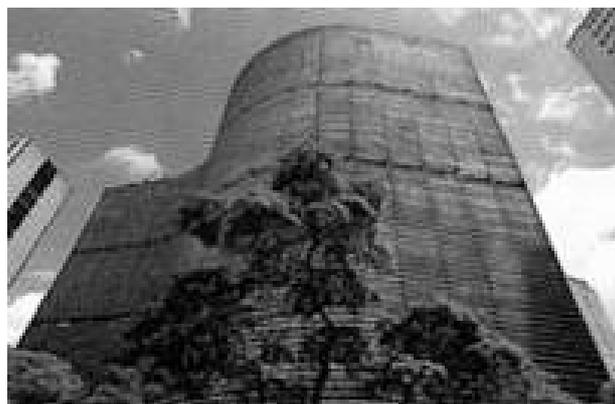


Fig. 3.28. Edifício Copan, São Paulo, 1951-57, de Oscar Niemeyer. O brise-soleil horizontal fixo cobre toda a fachada, compondo junto com a curva, ritmo e movimento. (Foto: Ivan Moretti)

Fig. 3.29. Detalhe do brise-soleil horizontal fixo e contínuo. (Foto: Ivan Moretti).

Fig. 3.30. O edifício Copan, vista da fachada principal. ([www.vivaocentro.org.br/imagens](http://www.vivaocentro.org.br/imagens))



Fig. 3.31. Maquete do Edifício Copan, São Paulo, 1953. (Fonte: MINDLIN, 1956).

### 3.2.3. Características

De modo geral, o brise-soleil é definido pelas seguintes características:

- São elementos externos à fachada;
- São compostos por uma ou mais lâminas, geralmente paralelas.

Pode ser classificado por sua tipologia, mobilidade e composição arquitetônica:

*Tipologia:*

- Horizontais;
- Verticais;
- Combinados (horizontal e vertical)<sup>12</sup>.

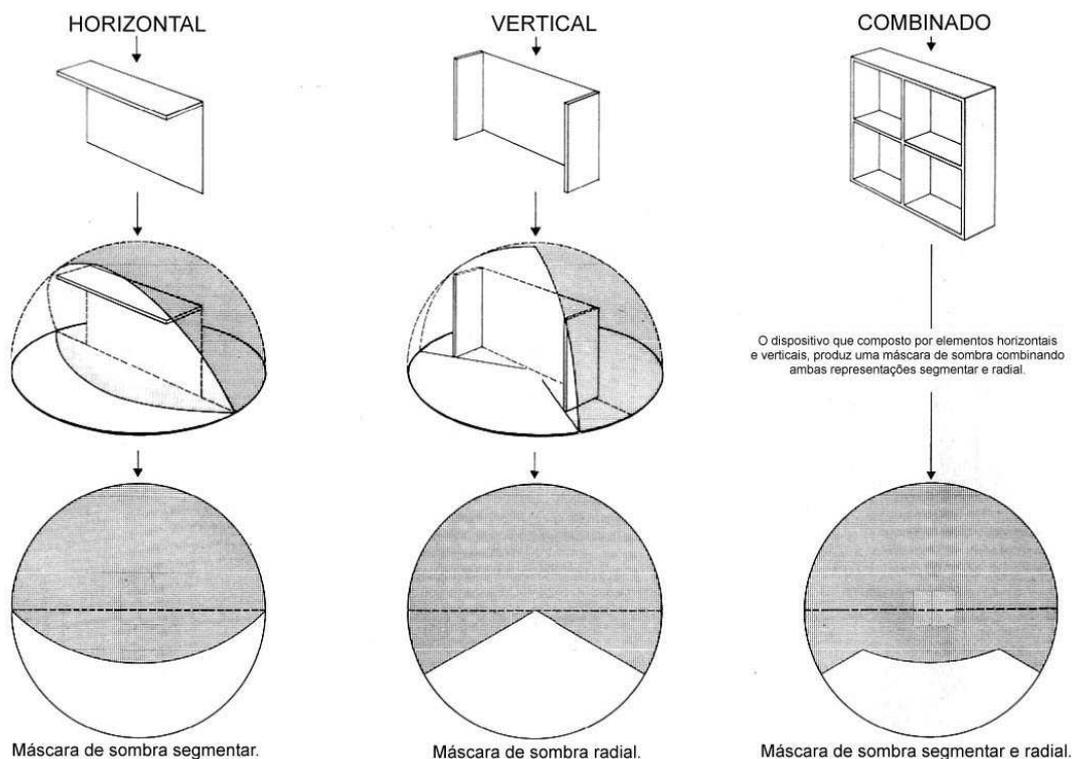


Fig. 3.32. As tipologias de brise-soleil e máscaras de sombra. (OLGYAY & OLGAY, 1957).

<sup>12</sup> Os tipos combinados são compostos por lâminas horizontais e verticais. Também são chamados de mistos, modulares, grelha ou "eggcrate".

Cada tipologia protege mais adequadamente a determinado ângulo de obstrução: a horizontal intercepta os raios solares quando o sol está mais alto; a vertical é mais eficaz quando os raios solares estão mais baixos, porém dependem fundamentalmente da variação do azimute em relação à orientação da fachada; e a combinada associa ambas as proteções da horizontal e vertical.

#### *Mobilidade:*

- Fixos;
- Móveis.

Com relação à mobilidade, o brise-soleil móvel possui lâminas pivotantes ou basculantes, que acompanham o movimento do sol provendo sombra nos momentos de incidência indesejada, de acordo com as necessidades do usuário, e permite ampla abertura e visualização do exterior quando não há insolação. Dessa forma, oferece flexibilidade e maior eficiência. Atualmente existem sistemas mecanizados que através de sensores ficam posicionados na orientação que proverá o melhor sombreamento. Entretanto, são sistemas mais caros e exigem manutenção. Já o brise-soleil fixo é mais simples, barato, de fácil instalação e manutenção, sendo mais indicado para os ângulos típicos da fachada norte, e independente da manipulação do usuário. Segundo Givoni (1981), a mobilidade é a principal característica de eficiência do brise-soleil.

#### *Composição arquitetônica*

Embora a função seja o princípio para a utilização desse elemento, suas variações e multiplicidade de soluções resultam numa segunda pele da edificação, conferindo ritmo, dinâmica, e forma à linguagem arquitetônica. Lam (1986) e Maragno (2000) procuram identificar padrões de composição arquitetônica de acordo com a integração e interferência do brise-soleil na fachada da edificação, e a expressão formal resultante.

Lam (1986) estuda o efeito da utilização do brise-soleil considerando sua eficiência e definição da forma arquitetônica, ou seja, na relação técnica x estética:

- escala do elemento: grande, média e pequena;
- visualização do exterior: ampla, média, restrita;
- interferência da cor do elemento na relação com sua eficiência;
- impacto do elemento na concepção formal: maior ou menor importância.

Com relação à forma, Maragno (2000) propõe uma análise das características considerando a linguagem arquitetônica: “incorporação ao conjunto, inserção na fachada (posição), leitura arquitetônica e importância na composição”.

- incorporação ao conjunto: integrado ou adicionado;
- posicionamento na fachada: recuado, alinhado, saliente;
- leitura arquitetônica: descreve sucintamente a forma predominante (painel, faixa, platibanda/marquise, balcão/sacada, moldura, outros);
- importância na composição: contribuição ou não ao resultado formal da edificação, sendo divididas em três graus de contribuição: define plasticamente, valoriza e compõe, ou detalhe discreto.

Outros aspectos que configuram expressão e formas geométricas:

- relação do brise com a abertura: restrito à área da janela (isolado), faixa de abertura (ligação das aberturas em linha ou coluna), painel (segunda pele), ou caixa;
- textura: profusa, marcada, ou discreta;
- sombras: ressalta volumes ou confere profundidade;
- acentua a relação de leitura: horizontal, vertical ou definida por um plano.

### 3.2.4. Indicação

Na literatura, principalmente em livros de arquitetura<sup>13</sup>, encontram-se recomendações acerca da tipologia ou da necessidade de proteção adequada para a orientação da fachada. Mindlin (2000) ao comentar sobre a utilização do brise-soleil explica que esses dispositivos “móveis ou fixos, verticais ou horizontais, são projetados de acordo com a orientação do prédio e sua finalidade, em uma grande variedade de materiais: concreto armado, alumínio, asbesto, cimento, placa metálica, lã de vidro inserida em placas de vidro, placas de madeira compensada, persianas em caixilhos, etc”.

Bruand (2002) e Albernaz & Lima (2000) indicam um conjunto de regras relativas à necessidade de sua utilização:

		<b>Bruand (2000)</b>	<b>Albernaz &amp; Lima (2000)</b>
<b>Orientação</b>	<b>N</b>	dispensável no inverno	indispensável
	<b>E</b>	parcialmente dispensável	parcialmente dispensável
	<b>S</b>	desnecessário	desnecessário
	<b>O</b>	indispensável em qualquer estação	indispensável

Quadro 3.2. Comparação entre orientações indicadas para uso do brise-soleil.

A crítica acerca desse tipo de recomendações genéricas amplamente divulgadas, é que desconsideram o local, latitude, época do ano, e o clima, sem avaliar se realmente se enquadram nessas diretrizes. No Brasil, essas recomendações surgiram voltadas para a necessidade de proteção da arquitetura moderna no Rio de Janeiro e em São Paulo, e enfatizava a *proteção contra o excesso de sol, e a fachada sul não necessitar proteção*. Entretanto, o país se localiza numa ampla faixa de latitude (5°N à 34°S), sendo que para localidades próximas ao equador a fachada sul recebe insolação, e é simétrica na latitude 0°

<sup>13</sup> Bruand (2002), Albernaz & Lima (2000), Goodwin (1943), Mindlin (2000).

em relação à norte; já para as cidades mais setentrionais é necessária insolação no período de inverno.

Outro conjunto de informações generalizadas é relativo ao tipo de proteção solar recomendado para cada orientação. O uso do brise-soleil vertical voltado a leste e oeste é questionável, pois essa tipologia não barra os raios que incidem perpendicularmente à fachada, e nota-se que o brise-soleil é praticamente ineficaz analisando a sobreposição das máscaras de sombra e carta solar, onde se verifica que as áreas protegidas não pertencem à trajetória solar. Para barrar os raios mais baixos no horizonte utilizam-se principalmente lâminas móveis ou com inclinação acentuada, porém essa alternativa reduz muito a visibilidade e a disponibilidade de luz natural do ambiente interno. Entretanto, para latitudes mais elevadas como em climas temperados, a eficiência dessa tipologia tem significativo acréscimo nas fachadas leste e oeste.

		<b>Bruand (2000)</b>	<b>Albernaz &amp; Lima (2000)</b>	<b>Atem &amp; Basso (2004)</b>	<b>Leite &amp; Araújo (2004)</b>
<b>local</b>		<b>Brasil (RJ, SP)</b>	<b>sem indicação</b>	<b>Londrina PR 23° 25'S</b>	<b>Natal RN 5° 55'S</b>
<b>Orientação</b>	<b>N</b>	horizontal	indispensável, peças horizontais	combinado com horizontal móvel e vertical fixo	horizontal ou combinado
	<b>NE</b>	-		-	horizontal
	<b>E</b>	vertical	parcialmente dispensável	combinado com horizontal fixo e vertical móvel	horizontal
	<b>SE</b>	-		-	horizontal
	<b>S</b>	desnecessário	desnecessário	vertical móvel	combinado à direita
	<b>SO</b>	-		-	combinado inclinados
	<b>O</b>	vertical ou combinado	indispensável, peças verticais	horizontal ou vertical com mobilidade total	combinado inclinados
	<b>NO</b>	-		-	combinado inclinados

Quadro 3.3. Indicação de tipologia em relação à orientação da fachada.

Em estudos mais recentes Atem & Basso (2004) e Leite e Araújo (2004), o dispositivo de sombreamento é avaliado em função da latitude e necessidade ou não de insolação, para as cidades de Londrina PR e Natal RN, respectivamente.

Leite e Araújo (2004), apresentam a necessidade de sol e sombra baseados no método de Olgyay, com a identificação dos períodos de calor excessivo (ou superaquecimento) na carta solar de Natal RN, 05° 55' S. Comparando as recomendações para Rio de Janeiro, São Paulo, Londrina e Natal no quadro 3.3, nota-se diferenças para a escolha das tipologias mais adequadas para os dispositivos de sombreamento para cada orientação. Observa-se uma diferença de abordagem nos estudos apresentados acima, um maior número de orientações, posicionamento e mobilidade dos dispositivos.

Atem & Basso (2004) apresentam um quadro com as necessidades de sombra e sol para Londrina PR (23° 25' S), baseados na aplicação dos dados climáticos na Tabela de Mahoney.

Mês	Orientação	Norte	Leste	Sul	Oeste
Janeiro		☉	☉	☉	☉
Fevereiro		☉	☉	✱	☉
Março		☉	☉	-	☉
Abril		☉	☉	-	☉
Maio		✱	☼	-	☉
Junho		☼	☼	-	☼
Julho		☼	☼	-	☼
Agosto		✱	✱	-	☉
Setembro		✱	☼	-	☉
Outubro		☉	☉	✱	☉
Novembro		☉	☉	☉	☉
Dezembro		☉	☉	☉	☉

☼ necessidade de sol, ✱ proteção parcial, ☉ necessidade de proteção solar, - não há radiação direta.

Quadro 3.4. Necessidade de proteção solar, mês x orientação, em Londrina PR. Fonte: Atem & Basso (2004)

Entretanto, somente recomendações de tipologias e orientações para determinadas localidades não consideram os fenômenos físicos envolvidos no processo de proteção solar. Outros aspectos devem ser considerados na escolha de uma solução mais adequada, assegurando a eficiência do brise-soleil.

### **3.2.5. Funcionalidade**

Conforme citado anteriormente, a função primordial do brise-soleil é impedir que a incidência da radiação solar direta atinja as superfícies da edificação, principalmente as transparentes ou translúcidas, interceptando os raios solares<sup>14</sup>. Desta forma, atua no controle e redução do ganho de calor solar, pois promove o sombreamento das superfícies por eles protegidas. Para entender seu funcionamento é imprescindível compreender a radiação solar.

Denomina-se radiação solar à energia emitida pelo sol e que se propaga sob a forma de ondas eletromagnéticas, no espaço ou num meio material. O espectro solar é subdividido em três faixas de acordo com seu comprimento de onda: ultravioleta, luz visível e infravermelha, estando associadas a diferentes fenômenos ou propriedades que interferem no meio ambiente e afetam o homem de forma distinta<sup>15</sup>.

Para Olgay & Olgay (1957) a questão do controle da radiação solar deve considerar sua composição espectral, pois suas características particulares demandam diferentes estratégias de controle. Assim, a radiação ultravioleta com comprimento de onda acima de 290nm que atravessa a camada de ozônio, embora apresente vantagens terapêuticas, é barrada também pelo vidro comum que é opaco ao seu comprimento de onda. Já os referentes à descoloração dos materiais podem ser minimizados e até eliminados com a utilização de películas poliméricas aplicadas aos vidros. No caso da luz visível, a função da janela é admitir luz suficiente e reduzir o brilho e contraste. Segundo os autores, é fácil realizar seu controle no interior do ambiente construído. Com relação ao infravermelho, alertam para a vulnerabilidade da envoltória, pois essa radiação é considerada de difícil controle e seu impacto no ambiente é o mais representativo ao desempenho térmico da edificação. A radiação infravermelha, seja de ondas

---

<sup>14</sup> Possui também funções secundárias como o controle do excesso de luminosidade, característico de regiões de climas quentes. Outros aspectos que também sofrem influência desses elementos são a visibilidade para o exterior e a ventilação da edificação.

<sup>15</sup> Ver anexo 01. Radiação solar.

curtas, médias ou longas<sup>16</sup>, é invisível ao olho humano, porém é percebida como fonte de calor.

Ao interceptar os raios solares, os dispositivos de sombreamento barram a radiação direta, seja ultravioleta, luz visível ou infravermelha. O brise-soleil deve admitir a entrada da luz, porém sem provocar ofuscamento; e barrar o infravermelho, reduzindo o ganho de calor para localidades com climas quentes.

Quando a energia solar incide sobre um corpo, ela é absorvida, refletida ou transmitida. Os coeficientes de absorção ( $\alpha$ ), reflexão ( $\rho$ ) e transmissão ( $\tau$ ) correspondem ao quociente da respectiva parcela sobre o total da energia incidente (RIVERO, 1986). A soma dos mesmos corresponde ao total dessa energia, expressa na relação:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad [1]$$

Para as superfícies opacas não há transmissão sendo  $\tau = 0$ , e  $\alpha + \rho = 1$ .

Para Olgyay & Olgyay (1957), Croiset (1976), Givoni (1981) e Rivero (1986), a função essencial do dispositivo de proteção solar é o controle do ganho de calor solar. Atua como um filtro, uma segunda pele, impedindo a incidência da radiação solar direta nas superfícies da edificação. Embora seja mais utilizado nas superfícies transparentes, chegando a eliminar a transmissão, também é significativa a redução do aporte de calor nas superfícies opacas.

Rivero (1986) escreve que “os materiais se comportam seletivamente com relação à radiação incidente; isto significa que a quantidade de energia que absorvem, refletem e transmitem é diferente para cada comprimento de onda”. Segundo Croiset (1976) para as aberturas protegidas por dispositivos, os valores

---

<sup>16</sup> Radiação infra-vermelha: ondas curtas (780 a 1400nm), médias (1400 a 3000nm) e longas (3000 a 10000nm).

de  $\alpha$ ,  $\rho$ , e  $\tau$  dependem da cor, do material, e da transparência desse elemento. Outro aspecto acerca dos materiais opacos e transparentes é com relação às diferenças no processo de absorção da radiação ao longo da espessura, havendo uma distribuição de energia e fluxos térmicos distintos. (SANTOS, 1999).

Considerando uma superfície transparente ou translúcida, a radiação incidente se divide em três componentes: uma parte é refletida, sem causar efeitos térmicos no material; outra absorvida, independente do ângulo de incidência, e é dissipada por convecção e irradiação de ondas longas; e a terceira parte é transmitida através do material, e depende do ângulo de incidência e das propriedades espectrais do vidro. Givoni (1981) descreve o princípio do funcionamento dos dispositivos de proteção solar: a radiação é interceptada externamente ao vidro, e “parte é refletida para o exterior, parte é refletida para o interior e o restante é absorvido, elevando a temperatura” do dispositivo.

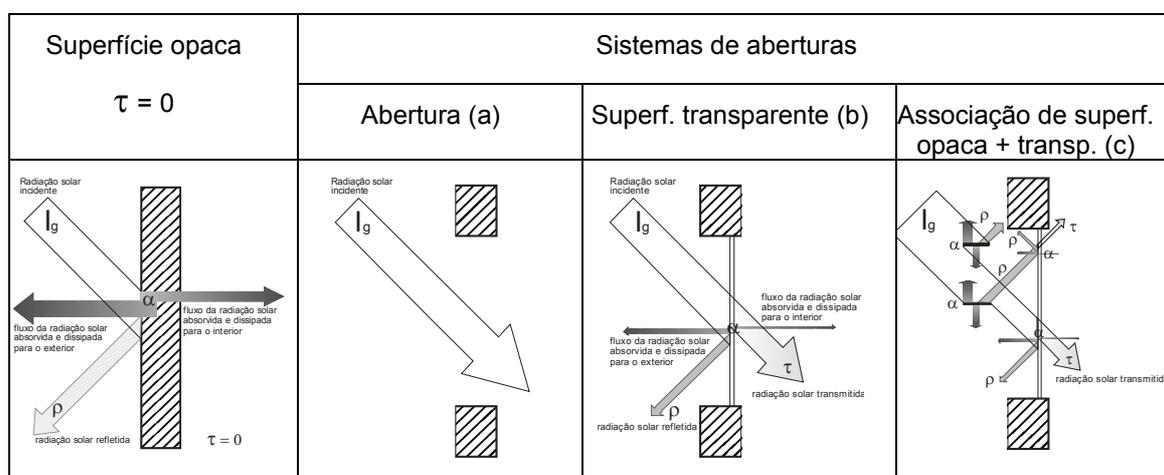


Fig. 3.33. Absorção, reflexão e transmissão da radiação solar incidente sobre as superfícies.

Quando o dispositivo de sombreamento intercepta os raios solares, ele reduz ou elimina a incidência dessa radiação no vidro, e assim, a transmissão dessa energia para o ambiente interno (fig. 3.33). Caso proporcione sombra a toda a área da superfície, a transmissão é eliminada. Se sombrear uma parte e admitir insolação na restante, a redução dependerá do percentual da área sombreada sobre a total. No caso de uma orientação ou dimensionamento inadequados, não

haverá sombreamento e a superfície receberá a totalidade da radiação incidente. Nos estudos de geometria de insolação, essas situações são denominadas, respectivamente, como eficiências totais, parciais e nulas. Essa classificação adotada refere-se à necessidade de sombreamento, entretanto quando os dispositivos são projetados considerando a necessidade de insolação no inverno para determinada localidade, é incoerente denominar como eficiência nula, pois satisfaz ao requisito projetual. Olgay enfatiza a avaliação dos períodos de superaquecimento como princípio para o projeto desses elementos, mas apenas para sombreamento total e não faz referência às situações em que a sombra é parcial. Frota refere-se à eficiência total, parcial e nula, mas não parte da identificação dos períodos de necessidade de proteção.

Fathy (1986) menciona que a eficiência desses elementos é da ordem de 1/3. Segundo a ASHRAE (2001), para aberturas totalmente sombreadas por dispositivos externos, pode haver uma redução do ganho de calor solar em até 80%. Olgay (1963) apresenta coeficiente de sombreamento<sup>17</sup> de até 87% (para brise-soleil vertical móvel, adequadamente projetado).

Já para Givoni (1981) o sombreamento externo possibilita eliminar mais de 90% do ganho de calor solar, (o valor máximo considera a abertura vedada à ventilação), sendo que a eficiência térmica é maior quando os dispositivos são pintados com cores escuras. O autor afirma que para elevar a eficiência do brise-soleil o ideal seria a utilização de cores escuras, principalmente o preto. Considerando essa informação pode-se raciocinar que, tendo cores escuras um coeficiente de absorção elevado, o brise-soleil negro funcionaria bem na proteção de superfícies transparentes e translúcidas, pois, devido também à alta emissividade, reirradiarão em onda longa a radiação solar absorvida. Para essa radiação, esses materiais são opacos. Esses brise-soleil funcionariam bem com um posicionamento distante da superfície sob proteção, pois aumentariam a dissipação do calor reirradiado com a ventilação dos elementos. Entretanto, se

não houver distanciamento da superfície da edificação, sua eficiência seria bastante reduzida, pois o calor absorvido passaria ao interior por condução. É necessário observar, porém, que essa solução é bastante prejudicial em relação a eficiência luminosa.

Contrapondo essa informação, Rivero (1986) aponta na direção inversa, com a utilização de cores claras com alto índice de reflexão, pois deixaria de absorver o calor em função do aumento da parcela refletida, e conseqüente redução da absorvida. Nesse caso, a manutenção da limpeza dos elementos é essencial para assegurar sua eficácia, e também pode ocorrer problema de ofuscamento do usuário, dependendo do posicionamento do brise-soleil.

Em consonância com Givoni, Góes (1995) afirma que “as janelas fechadas se beneficiam com cores escuras, quando a reflexão da porção visível da radiação solar para a fachada diminui e o vidro da janela, opaco à radiação infravermelha, não absorve a carga térmica irradiada pelas placas. Já as janelas abertas se beneficiam com o brise-soleil de cores claras, em que o ar de entrada no ambiente interno se ressentir menos das trocas por convecção e radiação com o brise-soleil. A influência dos materiais no desempenho do brise-soleil implica na transmissão do calor por radiação e convecção de suas placas para o ambiente interno, e por condução para as paredes envolventes, através dos suportes”.

### **3.2.6. Avaliação da eficiência**

A eficiência do brise-soleil depende do local, clima, orientação e período para o qual foi projetado.

---

<sup>17</sup> Coeficiente de sombreamento tem o objetivo de comparar o controle solar efetivo obtido por diferentes sistemas de aberturas. Expressa uma relação entre o ganho total de radiação solar de uma abertura externa com ou sem proteção solar, comparado a uma abertura de referência com vidro simples de 3mm incolor, sob mesmas condições ambientais.

O estudo que apresenta uma abordagem ampla sobre os dispositivos de proteção solar foi o realizado por Vitor e Aladar Olgyay, sendo até hoje extremamente relevante, divulgado no livro “*Solar control and shading devices*” de 1957. Apresenta os dispositivos de sombreamento como um elemento arquitetônico, descreve a técnica para o projeto da proteção solar, comenta o método proposto numa aplicação prática, e através de exemplos de edificações comenta sua expressão arquitetônica. Enfim, analisa a forma e função do elemento, discutindo a expressão arquitetônica resultante e sua eficiência através de métodos gráficos e medições, tanto em modelos como em materiais e componentes construtivos.

### ***Dispositivo de proteção solar***

As avaliações relativas à eficiência dos dispositivos de proteção solar são abordadas basicamente de três formas: geometria de insolação, simulações com softwares, e medições em campo ou em laboratório. Um método menos usual é o balanço térmico de radiação e dados climáticos. As pesquisas com enfoque na geometria solar são as mais utilizadas, e os métodos gráficos para a determinação de sua eficiência os mais estudados. Os autores que abordam o assunto de forma mais abrangente são Olgyay & Olgyay, 1957; Croiset, 1976; Givoni, 1981; e Rivero, 1986. Abordam a relação do sombreamento e controle do solar ganho de calor solar, analisando relações de superfícies opacas e transparentes/translúcidas, e fatores de transmissão, absorção e reflexão da radiação solar.

Olgyay & Olgyay (1957), analisando os elementos que constituem a edificação, consideram o vidro como o elemento mais vulnerável à ação da radiação solar. Nesse trabalho afirmam que a ultravioleta é facilmente controlada e a luz visível necessária no ambiente, pode ser controlada internamente com

relativa facilidade. Assim, concentram seu estudo na radiação infravermelha, de impacto mais profundo, pois nessa faixa a edificação é mais vulnerável.

O método proposto pelos autores para o dimensionamento e avaliação da eficiência dos dispositivos de sombreamento para controle da radiação solar incidente é composto por quatro etapas:

- determinação dos períodos de superaquecimento, ou seja, quando o sombreamento é necessário. Utilizam-se dados das variáveis ambientais e a carta bioclimática;
- com o uso da carta solar em projeção eqüidistante, localiza a posição do sol e nela são marcados os períodos de necessidade de sombreamento;
- escolha da tipologia e posição do dispositivo, através do uso da carta solar com a sobreposição de um transferidor auxiliar para o traçado da máscara de sombra;
- com os ângulos de sombra definidos, dimensiona-se o elemento de proteção de forma que obstrua os raios solares nos períodos de superaquecimento e permita insolação nos períodos de frio.

Complementam o método com cálculos de radiação e o uso de nomogramas sobrepostos a carta solar e ao transferidor de sombras.

Dutra (1994) comenta que o método Olgyay é de simples utilização, com a aplicação direta das cartas solares, entretanto é restrito em relação à performance dos dispositivos, não permitindo quantificar a sombra do brise-soleil ou qualificar a necessidade de sol, pois considera apenas situações de 100% de sombreamento e necessidade de sombra no período de superaquecimento.

Olgyay & Olgyay (1957) também estudaram o sombreamento em modelos com ensaios sob condições reais com relógios de sol, e em condições artificiais com uso de equipamentos para simulação da trajetória solar. E abordaram a

avaliação da eficiência dos dispositivos de sombreamento, e a transmissão de calor dos materiais de construção, através de medições.

Em outro trabalho Olgyay (1963) elabora um quadro onde apresenta a classificação dos dispositivos e seu coeficiente de sombreamento (tabela 3.1). Verifica que os dispositivos externos são mais eficazes, pois barram a incidência da radiação solar direta antes de atingir as superfícies da edificação, ou seja, reduzem ou eliminam a transmissão através das superfícies transparentes e translúcidas e funcionam também para reduzir o aporte de calor de superfícies opacas.

Elemento de proteção solar	Coef. sombra
Janela de vidro comum incolor	1,00
Cortina interna de enrolar escura com meia abertura	0,91
Cortina interna de enrolar de cor intermediária com meia abertura	0,81
Cortina interna de enrolar escura totalmente baixada	
Persiana interna de palhetas escuras totalmente baixada	0,75
Cortina interna de enrolar clara com meia abertura	0,71
Vidro absorvente de 6mm	0,66
Lâmina cinza de 6mm	
Persiana interna de palhetas de cor intermediária totalmente baixada	0,65
Película levemente pigmentada aplicada sobre o vidro	
Cortina interna de enrolar de cor intermediária totalmente baixada	0,62
Vidro absorvente de 6mm com lâmina polida de 6mm	0,60
Lâmina cinza de 6mm com lâmina polida de 6mm	
Cortina de tecido em cor cinza escuro	0,58
Persiana interna de palhetas branca totalmente baixada	0,56
Árvores como elemento de proteção solar	0,55
Vidro absorvente de 6mm com persiana de palhetas	0,53
Vidro com pigmento de cor semi-escura	0,52
Cortina de tecido de cor semi-escura	0,47
Persiana interna de palhetas de alumínio refletor	0,45
Persiana externa rebatível	0,43
Película sobre vidro escuro translúcido	0,41
Cortina de tecido em cor branca	0,40
Cortina interna de enrolar de cor branca totalmente baixada	
Brise-soleil de lâminas verticais fixas nas fachadas leste e oeste	0,32
Toldo externo inclinado de cor intermediária ou escura	0,25
Brise-soleil horizontal contínuo na fachada norte	
Veneziana externa cor creme	0,15
Veneziana externa rebatível cor branca	
Brise-soleil horizontal móvel	0,13
Brise-soleil vertical móvel	

Tabela 3.5. Coeficiente de sombra para diferentes elementos de proteção solar.  
(Fonte: Maragno, 2000; adaptado de Olgyay, 1963).

Segundo Santos (2002), “o coeficiente de sombreamento foi criado pela ASHRAE com o objetivo de comparar o controle solar efetivo obtido por diferentes sistemas de aberturas com ou sem proteções solares internas ou externas. É definido como a relação entre o ganho total de radiação solar, considerando transmissão, absorção e reemissão, de uma abertura externa com ou sem proteção solar, comparado a uma abertura de referência com vidro simples de 3mm incolor, sob mesmo conjunto de condições ambientais e incidência de radiação solar”.

Givoni (1981) procura em seus estudos determinar a eficiência do brise-soleil, abordando principalmente a questão térmica da radiação infravermelha. Apresenta resultados de ensaios e simulações computacionais com diferentes tipologias, orientações e cores.

Rivero (1986) discorre sobre as superfícies opacas e transparentes/translúcidas e sua relação com o ganho de calor solar. Ressalta a importância da adequação climática e apresenta o brise-soleil como elemento de controle, enfatizando tipologias, eficácia e exemplos de utilização em edificações sul-americanas.

### *Geometria de insolação*

A geometria de insolação foi estudada por diversos autores, cujos enfoques estão relacionados com a sua tipologia, e a correta especificação para utilização e orientação nas fachadas para uma determinada latitude. Sá, 1942; Cavaleiro e Silva & Malato, 1969; Fonseca, 1983; e Bittencourt, 1996, abordam o tema com ênfase na insolação e cartas solares. Outros autores como Lam, 1986; Hopkinson et alii, 1966; discutem sua relação com a iluminação natural. Frota, 2004; e Frota & Shiffer, 1987, trabalham com o dimensionamento do brise-soleil.

Sá (1942), um dos pioneiros nesse estudo no Brasil, apresenta gráficos de sombra para dimensionamento do brise-soleil e recomendações para orientação de edificações no Rio de Janeiro. Mindlin (2000), comenta sobre o trabalho de Paulo Sá, Alexandre Albuquerque e outros profissionais que estudaram a insolação no início do século XX, que “o manejo de gráficos e tabelas de consulta fácil é uma prática que remonta a algumas décadas, permitindo um cálculo preciso na solução dos problemas de insolação”, sendo bastante conhecido, utilizado e divulgado pelos arquitetos do início do modernismo no Brasil. Segawa (2001) também salienta a importância desse grupo de profissionais que passam a considerar a proteção à radiação solar excessiva nos trópicos. No memorial descritivo sobre o Ministério da Educação e Saúde, os arquitetos apontam para estudos sobre os ângulos de inclinação de acordo com a trajetória solar, e outros detalhes como o afastamento do elemento em relação à fachada, evitando a condução do calor, e ventilando para a retirada do ar aquecido por condução e irradiação. É interessante observar que a maioria das publicações sobre o assunto são posteriores aos edifícios projetados nessa época.

Aronin (1953) divulga cartas solares e alguns métodos gráficos como exemplo de utilização do brise-soleil. Cavaleiro e Silva & Malato (1969) abordam o tema da insolação com o auxílio de instrumentos como os *quadrantes solares* para avaliação da insolação em modelos.

Fonseca (1983), apresenta um estudo de projeções para geometria de insolação baseado nos estudos de Olgay com projeção equidistante de cartas solares para as latitudes brasileiras, e também aplicações do uso do brise-soleil, nomogramas de radiação e obstrução do entorno.

Bittencourt (1996) apresenta um método para a construção da carta solar, e sua utilização pelos projetistas. Oferece uma abordagem didática da aplicação do método, o dimensionamento do brise-soleil, e evidencia aspectos como eficiência, plasticidade, privacidade, luminosidade, ventilação e visibilidade.

Koenigsberger et al (1974) classificam o brise-soleil como elemento de controle passivo, indicado para utilização em países de clima quente.

Szokolay (1978) destaca a flexibilidade do elemento, e o classifica em três tipos: negativos – excluem o sol; seletivos - admitem ou excluem o sol em alguns períodos; e ajustáveis – com liberdade de controle. Ressalta que seu tamanho ou tipologia não é restritivo. A eficiência do mesmo está associada à determinação do ângulo de sombra, permitindo que diferentes soluções tenham a mesma eficiência.

Aroztegui (1980) apud Dutra (1994), desenvolveu o método das radiações ponderadas e propõe seu uso complementando o método gráfico de Olgyay.

Hopinkson et al (1975), estudam o dispositivo com ênfase na questão da iluminação natural. E identificam a necessidade de sua adoção por três razões: evitar o ofuscamento, os efeitos térmicos e a elevação da temperatura dos ambientes. Recomendam a utilização das cartas solares e do transferidor de sombra.

Lam (1986) destaca a importância do brise-soleil para a distribuição da luz natural no ambiente. Apresenta uma variação desse elemento para que além de barrar a insolação e o calor, possibilitasse a reflexão da luz para o interior: o *lightshelf* ou prateleira de luz. Atenta para a relação delicada do balanço entre a disponibilidade de luz e o ganho de calor solar.

Esses estudos consideram a orientação das fachadas, os períodos de sombreamento necessário, a carta solar local e o dimensionamento do dispositivo com o uso do transferidor auxiliar para determinação das máscaras de sombra. A funcionalidade do brise-soleil à radiação solar direta é avaliada em termos de eficiência total, parcial ou nula. E se referem à análise da sobreposição da máscara de sombra à carta solar local, e o atendimento ou não do período de proteção proposto, na relação entre a orientação da fachada em estudo e os períodos de sombreamento.

Frota e Schiffer (1987) afirmam que “*um dispositivo de proteção solar será eficaz quando for capaz de barrar a radiação solar direta sobre uma dada superfície ou abertura no período que julgar conveniente*”. As autoras trabalham com um método gráfico denominado *traçado de máscaras* em projeção estereográfica, que auxilia na especificação do tipo e dimensão do dispositivo, através dos ângulos de sombra.

### *Cálculo de balanço térmico*

Croiset (1976) apresenta uma avaliação dos dispositivos de sombreamento considerando o conforto térmico de verão, e a proteção tanto de superfícies transparentes como opacas. Não avalia o projeto ou recomendações de uso, tipologia e orientação, mas analisa a contribuição do sombreamento no balanço térmico da edificação. Considera que a eficiência de um brise-soleil depende: da cor da face externa, do isolamento do material, da emissividade da face interna, da ventilação da camada de ar, e distância da superfície.

Dutra (1994) avalia os três métodos de diagnóstico de brise-soleil: Olgyay (1963) – método gráfico, Aroztegui (1980) - método das radiações ponderadas, e Jorge (1993) – método de isolinhas de coeficientes de sombreamento, comentando as limitações de cada metodologia. Para o autor, os dois primeiros métodos gráficos consideravam apenas dispositivos com sombreamento total. Já o de isolinhas, era bastante complexo e de difícil utilização (na época ainda em desenvolvimento), e em todos critica o referencial: a temperatura externa da edificação. Propõe então, uma correlação com os dados climáticos da localidade em estudo, bem como sua aplicação na carta bioclimática de Givoni para definição de estratégias de projeto. Através de cálculos e softwares, Dutra utiliza arquivos de dados climáticos TRY (Test Reference Year), cálculos com o método da admitância, e comparando com a carta bioclimática de Givoni. Ao inverter a

metodologia de cálculo, parte do resultado desejável de fator solar, para definir a estratégia e o desenho do dispositivo.

### *Simulações com softwares*

Góes (1995) avalia, através de simulações com o software “*radbrise*<sup>18</sup>”, o desempenho térmico do sistema brise-soleil/janela. Sugere o uso do software em conjunto com as técnicas do método gráfico para dimensionamento do brise-soleil, suprimindo aspectos relativos às características físicas do elemento não consideradas pelos métodos gráficos. Também aponta para a restrição do software “*casamo-clim*<sup>19</sup>” que limita as datas de simulação e desconsidera as refletividades dos dispositivos.

Kensek et al (1996) desenvolvem um software - “*shading mask*<sup>20</sup>” que gera diagramas solares, desenho do dispositivo de sombreamento, calcula os ângulos de altura solar e máscaras de sombra.

Kabre (1999) apresenta um aplicativo para ambiente *CAD (Computer Aided Design)* denominado “*Winshade*<sup>21</sup>”. Segundo a autora, é uma ferramenta de projeto do controle solar passivo para sistemas de aberturas, que seleciona dispositivos de proteção solar e o tipo de vidro apropriado à determinada situação.

Laar (2001) utiliza o software “*radiance*<sup>22</sup>” na avaliação do brise-soleil do edifício do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro, simulando três ângulos distintos para as placas horizontais. Embora considere que a edificação funciona sem ar-condicionado e seus usuários estão satisfeitos com o clima

---

<sup>18</sup> Software *Radbrise*. GÓES, C. A. Tese doutorado.

<sup>19</sup> Software *Casamo-Clim*. ABDESSELAM, M. et al. CASAMO-CLIM: Cahier Scientifique. Paris: Agende Française pour la Maitrise de l'Energie, 1990.

<sup>20</sup> Software *Shading Mask*. KENSEK, K. et al. Shading Mask: a teaching tool for sun shading devices. University of Southern California.

<sup>21</sup> Software *Winshade*. KABRE, C. *Winshade*: a computer design tool for solar control. University of Queensland.

<sup>22</sup> Software *Radiance*. GREENUP, P.; EDMONDS, I. R. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California.

interno, enfatiza que as lâmpadas estão sempre acesas, desenvolvendo sua abordagem em relação à eficiência do elemento em relação à iluminação natural.

Datta (2001) avalia o desempenho térmico do brise-soleil horizontal incorporando modelagem de sombreamento de janelas ao programa *TRNSYS*<sup>23</sup>. O autor procura desenvolver uma avaliação onde é considerado o controle da radiação solar, com redução no verão e ganhos no inverno, para reduzir o consumo de energia, seja de resfriamento seja para aquecimento artificiais.

Corbella e Castanheira (2001) criticam a recomendação amplamente disseminada de ser desnecessária a utilização de proteção para fachadas sul para latitudes entre 10 e 35°S, considerada equivocada baseada em estudos através de simulações com software “radiação”<sup>24</sup>.

Edmonds & Greenup (2002) estudam o sombreamento proporcionado por dispositivos de proteção solar em áreas tropicais e subtropicais, enfatizando a redução da luz natural nos ambientes em decorrência do uso desses elementos. Apresentam exemplos de sistemas mais eficientes para o redirecionamento da luz natural, com simulações com o uso do software “*radiance*”.

### *Práticas experimentais*

São poucas as pesquisas que analisam a eficiência dos dispositivos de proteção solar baseados em experiência de campo. A dificuldade de realização de ensaios experimentais se deve aos aspectos restritivos, como a variabilidade das condições climáticas, a pouca disponibilidade e o custo dos equipamentos necessários, bem como o período de medições necessário a esse tipo de estudo.

---

<sup>23</sup> *TRNSYS*. Transient simulation program, versão 14.2. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin.

<sup>24</sup> Software Radiação. CASTANHEIRA, R. G. 2001. Radiação solar incidente em planos inclinados, fachadas e telhados no Rio de Janeiro. (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UFRJ.

Lee et al (1998) estudam o balanço entre a admissão da luz natural e a rejeição ao ganho de calor. Trabalham com uma simulação com o software “*radiance*”, e duas experiências práticas: uma utilizando uma câmara calorimétrica (*MoWiTT*<sup>25</sup>) e outro utilizando duas salas idênticas num edifício de escritórios, durante um ano, sob condições climáticas reais. São comparados os resultados obtidos para dois tipos de persianas: uma fixa e outra automatizada.

Rivero (1986) comenta estudos desenvolvidos com brise-soleil em medições de campo. Croiset (1976) relaciona algumas regras para conseguir o melhor desempenho dos dispositivos de proteção solar, baseado em dados de ensaios de campo.

Perdigão (1994) testou o “beiral quebra-sol / quebra-chuva”, típico da arquitetura regional do norte do Brasil, verificando a resposta térmica através da medição de parâmetros ambientais e coletando dados nos protótipos, sob condições climáticas reais.

Silva (2001) desenvolveu sua tese simulando sistemas de sombreamento associando três tipologias de brise-soleil e diferentes tipos de vidros de alto desempenho. Utilizou o método da caixa quente protegida adaptado e simplificado para medições de campo, com base na experiência realizada na universidade de Berkeley (LA-USA) com o *MoWiTT*.

Kuhn et alli (2001), desenvolveram um estudo de sistemas de sombreamento utilizando estratégias de controle associadas para avaliação do conforto térmico e luminoso, cujo objetivo era analisar dispositivos de sombreamento interno e externos combinados a vidros.

Kapur (2004) estudou o impacto da transferência de calor proveniente da irradiação das proteções solares através do vidro, variando o tipo de material e propriedades das superfícies desses elementos, utilizando calorímetros adaptados

---

<sup>25</sup> *MoWiTT* – Mobile Window Thermal Test. Lawrence Berkeley National Laboratories. University of California.

sob condições climáticas reais.

Em relação aos ensaios envolvendo medições em campo ou em laboratório, Kuhn et alli (2001) afirmam que atualmente não existe uma metodologia padrão para avaliação de desempenho desses sistemas.

As experiências realizadas em laboratório estabelecem condições de ensaio e controle, das variáveis envolvidas, concentrando seu foco na análise do parâmetro desejado, e geralmente utilizam abordagens relativas à calorimetria. Esse controle sobre as condições de teste se torna inviável para ensaios de campo devido à variação das condições climáticas. Sendo assim, as pesquisas realizadas em campo normalmente adotam parâmetros de medição baseados em experiências que testam o comportamento de outros elementos construtivos, como as coberturas, vidros e painéis de vedação, coletando dados quantitativos e efetuando análises comparativas do comportamento dos elementos ensaiados. De qualquer forma, são poucos ensaios de dispositivos de proteção solar envolvendo procedimentos de medição, seja em campo ou em laboratório.

### *Elemento de composição arquitetônica*

A composição arquitetônica e a linguagem estética da edificação são abordadas pelos livros de arquitetura, podendo-se citar Bruand (2002), Mindlin (2000), Goodwin (1943), e Banham (1975). Estudando o brise-soleil na relação forma e função, temos os trabalhos de Olgyay & Olgyay (1957), Szokolay (1978), Rivero (1986), Maragno (2000), Cavalcanti (2000) e Atem (2003). Outros autores como Conduru (1994), Segawa (1997), e Bonduki (2000) escrevem sobre a obra de alguns arquitetos comentando a utilização do brise-soleil em seus projetos.

Bruand (2002) destaca o papel do brise-soleil não somente pela sua função de adequação ao clima local, mas principalmente do resultado plástico

formal da aplicação desse elemento nas edificações brasileiras. A variabilidade de soluções e a expressão arquitetônica geram uma identidade da arquitetura contemporânea brasileira. Extrapola a função e se afirma como um elemento de composição arquitetônica.

Goodwin (1943) divulga as obras de arquitetos brasileiros para a exposição Brazil Builds, em Nova York. Destaca a importância do brise-soleil como solução ao calor e luminosidade excessiva dos trópicos. Elogia a linguagem formal resultante do uso desses elementos.

Para Mindlin (2000), “o brise-soleil adicionou um novo elemento à nossa arquitetura, seja por sua independência com relação às janelas, seja por sua integração às fachadas, dando-lhes ao mesmo quando fixo, mas mais especialmente quando móvel, uma característica dinâmica”. O autor mostra a variabilidade de tipologias e expressões arquitetônicas resultantes da aplicação do brise-soleil nas obras de arquitetos brasileiros.

Segundo Banham (1975), Le Corbusier se preocupou com a questão ambiental após adotar as superfícies de vidro como solução formal, e ao deparar-se com os problemas térmicos consequentes, busca uma solução: a criação do brise-soleil.

Atem (2003) estudou a eficiência do brise-soleil analisando a escolha da tipologia, orientação e o sombreamento proporcionado por esses elementos, na obra do arquiteto Vilanova Artigas em Londrina PR.

Maragno (2000) relacionou ambas as abordagens: a eficiência ambiental do brise-soleil e seu papel na composição plástica formal da edificação, aspectos até então dissociados nas pesquisas sobre o tema. Nesse estudo, levantou as estratégias de proteção solar: suas limitações e eficiência relativa à geometria de insolação, características tipológicas como mobilidade, posição, e material; e o

elemento frente à composição arquitetônica, sua inserção no conjunto, composição, caracterização, importância do elemento na obra. Finaliza apresentando um quadro síntese de análise comparando ambos aspectos.

Cavalcanti (2000) apresenta uma série de obras do modernismo brasileiro e descreve a tipologia e funcionamento do brise-soleil dessas edificações.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa sobre dispositivos de proteção solar integra um projeto de avaliação do comportamento térmico de coberturas e materiais transparentes através de medições em protótipos, financiada pela FAPESP<sup>26</sup>. As medições foram realizadas na área experimental da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Campinas (interior do estado de São Paulo, Brasil).

### ***4.1 Caracterização da área de estudo***

As coordenadas geográficas da cidade de Campinas são: latitude 22° 54' S, longitude 47° 03' W, e 694m de altitude. A região possui topografia levemente ondulada, em zona de planície, estando exposta à intensa ventilação e insolação.

---

<sup>26</sup> Projeto de Pesquisa FAPESP “Sustentabilidade e eficiência energética: avaliação do desempenho térmico de coberturas e do comportamento de materiais transparentes em relação à radiação solar” (Processo nº99/11097-6), desenvolvido na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (UNICAMP) em conjunto com o Departamento de Arquitetura e Urbanismo (EESC/USP). Embora, o estudo do brise-soleil não estar previsto no projeto inicial, foi incorporado à pesquisa por se enquadrar no tema de desempenho térmico de componentes construtivos.

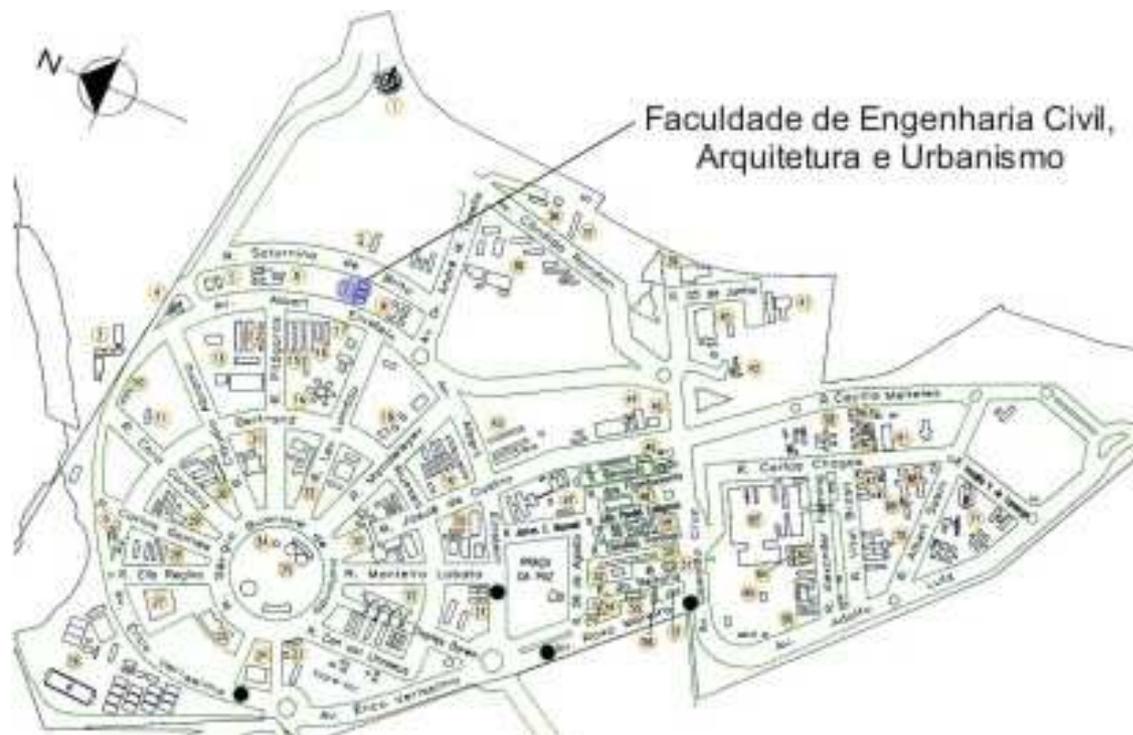


Fig. 4.34. Mapa do Campus da UNICAMP – Campinas, SP. (<http://www.prefeitura.unicamp.br/prefeitura/ca/mapa/unidade.html>)

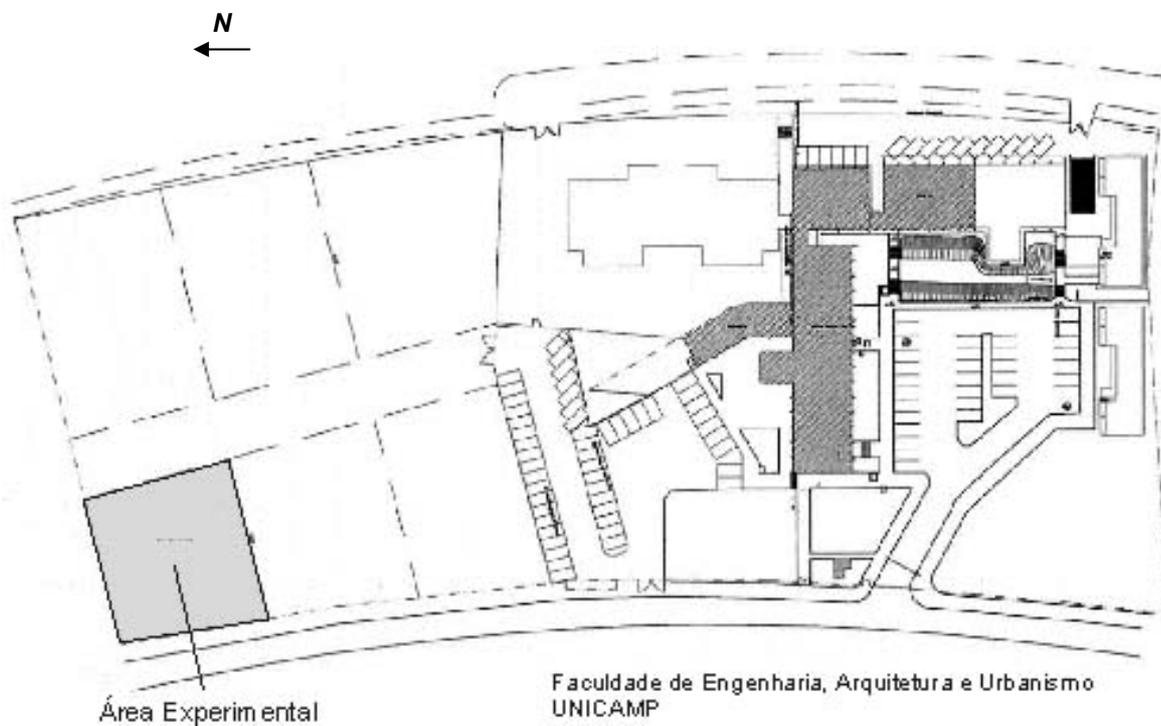


Fig. 4.35. Localização da área dos protótipos no terreno da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP.

Segundo Chvatal (1998), o clima da região de Campinas caracteriza-se por um período de verão abrangendo os meses de novembro a março, e de inverno de junho a agosto. Nota-se o período de verão maior que o inverno, e portanto, a predominância do calor sobre o frio. Na tabela a seguir são apresentados os dados climáticos para a região de Campinas.

mês	temp. média máxima (°C)	temp. média mínima (°C)	amplitude média (°C)	umidade relativa (%)	chuva total (mm)	nebulosidade média	direção ventos	velocidade ventos (m/s)	insolação diária média (h)
JAN	29,9	19,6	9,3	77,7	252,4	5,9	C	2,0	6,1
FEV	29,7	19,5	10,2	78,5	198,4	6,1	C	2,0	6,4
MAR	28,9	18,7	10,2	77,6	191,0	5,4	SE	2,1	6,5
ABR	27,8	17,4	10,4	76,3	80,3	4,5	SE	2,2	7,5
MAI	25,3	14,8	10,5	76,4	97,1	4,2	C	2,0	6,9
JUN	24,1	12,5	11,6	73,5	43,2	3,5	C	2,1	7,3
JUL	24,6	12,4	12,2	68,0	32,1	2,7	SE	2,7	7,9
AGO	26,3	13,3	13,0	63,9	32,1	3,2	SE	2,9	8,1
SET	26,6	15,0	11,6	68,1	80,7	4,2	SE	3,4	6,4
OUT	28,5	16,8	11,7	68,2	90,8	4,4	SE	3,3	7,0
NOV	29,0	18,3	10,7	69,6	134,6	4,9	SE	2,9	7,5
DEZ	29,1	19,9	9,2	75,3	217,6	6,3	SE	2,5	6,2

Tabela 4.2: Dados climáticos da região de Campinas, período de 1983 a 1997. Posto meteorológico do Instituto Agrônomo de Campinas - Seção Climatologia Agrícola. Latitude 22°53'S, Longitude 47°04'W, Altitude 694m.

Observa-se que os meses mais quentes são janeiro e fevereiro com médias máximas entre 29,7 a 29,9°C, e os mais frios são junho e julho com 12,5 e 12,4°C respectivamente. A umidade relativa média do ar é de 76% nos meses de dezembro a junho, e de 67% de julho a novembro. A época das chuvas é nos meses de dezembro a março, sendo janeiro o mês mais chuvoso (252,4mm). Os ventos predominantes são de sudeste e as velocidades próximas a 2,0 m/s na maioria dos meses, exceto em setembro e outubro, com médias de 3,35 m/s.

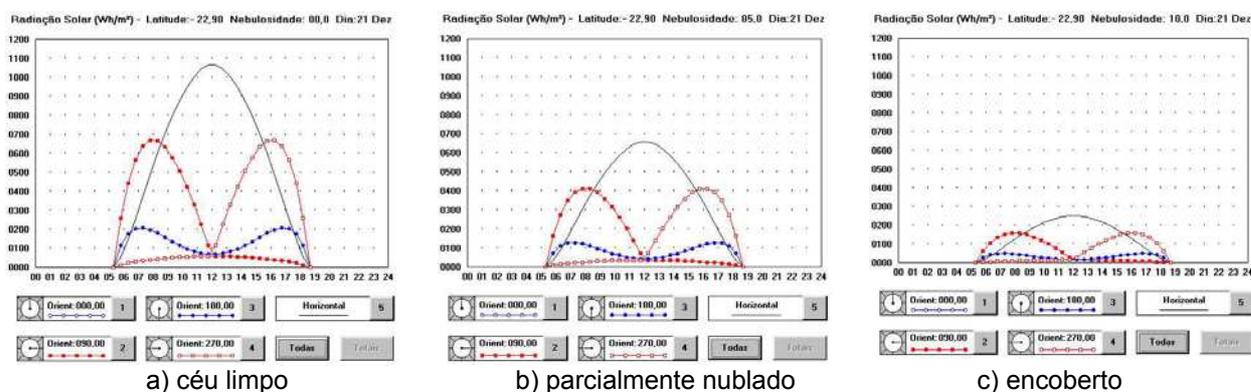


Fig. 4.36. Diferença da radiação solar em função da condição de céu em Campinas, solstício de verão. (Gráficos simulados com o software Luz do Sol, de Maurício Roriz).

O número de horas de insolação é menor no verão, devido às condições de céu predominantemente nubladas, dado confirmado pelos valores de nebulosidade e chuvas nesse período, embora os meses de verão tenham radiação e duração do dia maior que no inverno. No inverno o céu limpo possibilita um maior número de horas de insolação. A maior média ocorre no mês de agosto com 8,1 horas de sol, contribuindo para isto a baixa umidade relativa e a velocidade dos ventos de 2,9 m/s.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região de Campinas é o Cwa: clima mesotérmico com verões quentes e estação seca de inverno, sendo que o mês mais frio apresenta média mensal inferior à 18° C, no verão o mês mais quente tem média superior à 22° C, e no mês mais seco recebe menos de 60 mm de chuva. Também sofre a influência das massas de ar Equatorial Continental (Ec), Tropical Atlântica (Ta) e Polar Atlântica (Pa).

Embora sejam considerados os dados climáticos gerais para a região de Campinas, a monitoração do microclima local é de grande importância para estabelecermos relações comparativas com as leituras dos sensores instalados nos protótipos. Esses parâmetros apresentam variações, que se comparadas com as médias históricas, podem mascarar a análise dos dados coletados. As variáveis ambientais monitoradas junto aos protótipos foram: temperatura do ar (°C), a umidade relativa (%), velocidade (m/s) e direção (°) dos ventos predominantes, a radiação solar incidente (W/m<sup>2</sup>), e pluviosidade (mm).

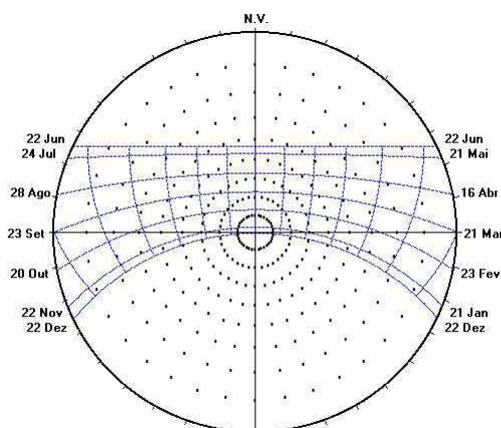


Fig. 4.37. Carta Solar de Campinas, latitude 22° 54' S.

## 4.2 Descrição dos protótipos

O desenvolvimento do estudo sobre a eficiência de diferentes tipos de sistemas de sombreamento, mais especificamente de diferentes tipologias de brise-soleil, foi baseado em medições em protótipos localizados no terreno da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Foram construídos seis protótipos para um grupo de pesquisa. Desta forma, foi avaliado o desempenho das diferentes tipologias de brise-soleil em relação a um protótipo de referência (sem proteção), para duas orientações distintas (norte e oeste<sup>27</sup>) durante uma semana em períodos próximos aos solstícios e equinócios<sup>28</sup>, no decorrer de um ano, sob condições climáticas reais.



Fig. 4.38. Vista geral dos seis protótipos no terreno da FEC (fase de finalização).

O projeto do protótipo foi proposto com base nas dimensões, materiais construtivos e detalhamentos semelhantes aos protótipos desenvolvidos na USP de São Carlos, pois a meta do grupo era coletar dados experimentais em São Carlos e Campinas para efetuar comparações acerca dos diferentes climas das cidades. Dessa forma, ambos os conjuntos em ensaios na UNICAMP e na EESC/USP foram

<sup>27</sup> As orientações norte e oeste são as mais expostas a radiação solar incidente, dentre as superfícies verticais. A primeira recebe o maior número de horas de insolação, e a segunda embora seja simétrica à exposição leste, recebe o sol da tarde quando as temperaturas do ar externo estão mais elevadas do que as registradas nos horários da manhã.

<sup>28</sup> As datas próximas aos solstícios e equinócios foram selecionadas por serem as situações mais significativas em relação ao movimento aparente do sol, representando as alturas solares máxima, média e mínima.

construídos em condições idênticas. Entretanto, optou-se por trabalhar numa universidade o ensaio de coberturas (superfície horizontal), e na outra os ensaios das aberturas com vidro e/ou sistemas de sombreamento (superfície vertical).

Assim, foram realizadas adaptações no projeto dos protótipos visando obter a melhor situação de coleta de dados para o plano vertical que contém os sistemas de abertura em estudo: as dimensões da abertura foram definidas com base em padrões de janela disponíveis no mercado, para permitir futuras comparações; o ganho de calor pela cobertura deveria ser minimizado com a utilização um sistema composto por laje, ático ventilado, e filme de alumínio polido tipo “foil” junto ao caibramento da cobertura de telha fibro-vegetal; e também, todas as faces do protótipo pintadas de branco para aumentar a reflexão da radiação solar. Optou-se por pintar todas as faces do ambiente interno de branco, procurando criar condições semelhantes à maioria das edificações existentes, prevendo a realização de um teste futuro envolvendo medições com diferentes colorações do ambiente interno, registrando possíveis diferenças nas temperaturas e nas condições de luminosidade.

Para facilitar a troca das fachadas em ensaio, o painel equivalente era removível, sendo confeccionado em moldura de madeira, e travado em sua posição com auxílio de pequenos fechos metálicos.

Foram inseridos nas fachadas sistemas para a sustentação de cada elemento de sombreamento em estudo: um requadro para acomodar as nove peças do elemento vazado, barras de metalon para apoiar o brise-soleil horizontal e “mão francesa” para fixar a tipologia vertical. Esses suportes foram distanciados da alvenaria em 5 cm e poucos pontos de apoio, evitando o contato do brise-soleil com a parede para reduzir a transferência de calor por condução e permitir a circulação de ar. Como os ensaios de cada pesquisador se intercalaram durante o ano, os elementos de sombreamento deveriam ser removíveis.

De acordo com o desenvolvimento do trabalho do grupo de pesquisa, foram construídos seis (6) protótipos, sendo um para referência e controle, e os cinco

restantes para ensaio dos elementos construtivos. Foi elaborado um cronograma para organizar as seqüências de medições de cada pesquisador, prevendo uma semana de testes para cada orientação.

### *Descrição*

O protótipo experimental foi construído sobre uma base de radier de concreto desempenado (3,20 x 3,70m), com piso interno em concreto com revestimento em argamassa de cimento desempenada. Possui paredes de tijolos de barro maciço sem revestimento (½ tijolo / 10,0 cm espessura), assentados com argamassa comum de cimento e pintados na cor branca (interna e externamente). Dimensões externas de 2,20 x 2,70 m e internas de 2,00 x 2,50 m, com uma área útil de 5,00 m<sup>2</sup>, pé direito de 2,40m, e volume interno de 12,00 m<sup>3</sup>.



Fig. 4.39. Vista de dois protótipos em finalização.



Fig. 4.40. Vista dos protótipos finalizados.

Na face superior, uma laje pré-moldada (cerâmica e concreto) também pintada de branco, com ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro nos oitões das faces leste/oeste. A cobertura é de telha fibrovegetal, pintada externamente de branco, e junto ao caibramento de sustentação, um filme de alumínio polido (isolante térmico tipo “foil”), reduzindo a influência da superfície mais exposta à radiação solar

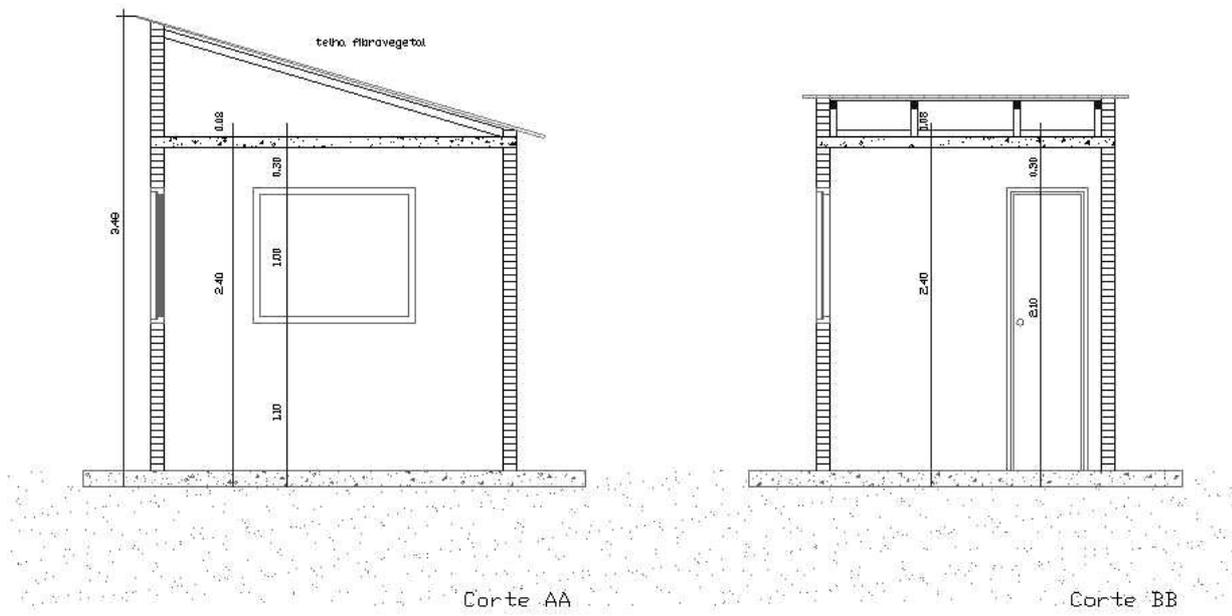
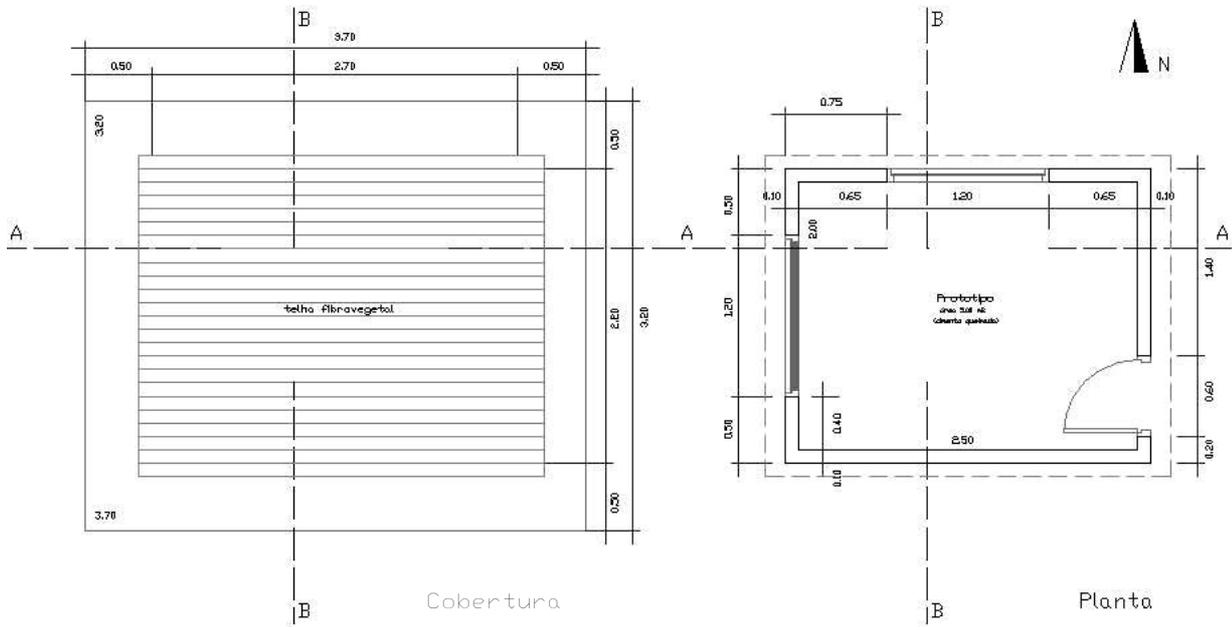
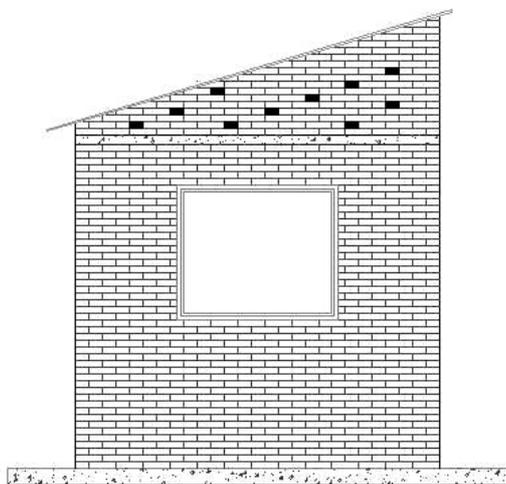
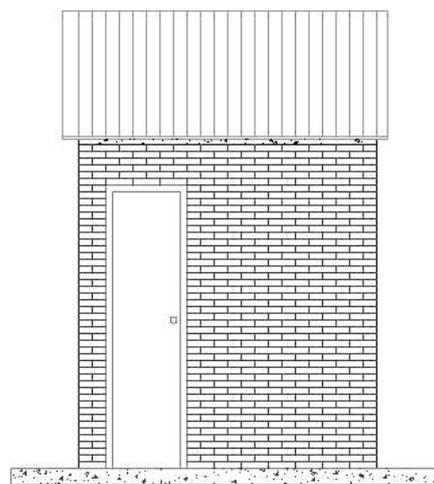


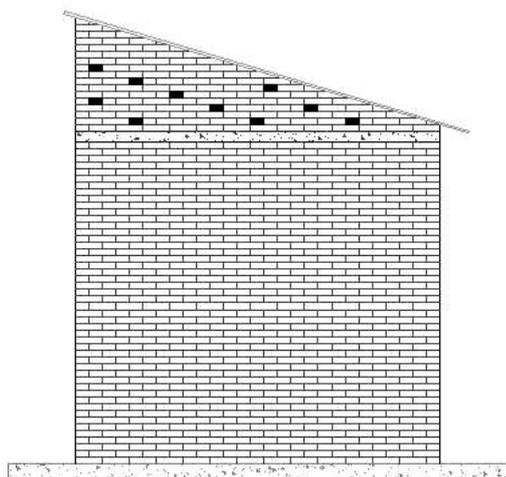
Fig. 4.41. Cobertura, planta e cortes dos protótipos.



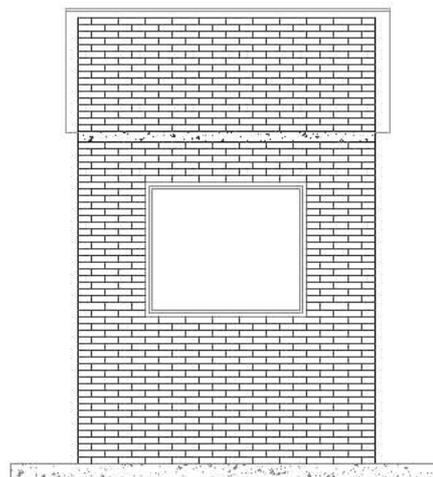
Fachada Norte



Fachada Leste



Fachada Sul



Fachada Oeste

Fig. 4.42. Fachadas dos protótipos.

nos resultados das medições. As portas e janelas são de madeira (cedro), e para a superfície transparente foi adotado como referência o vidro incolor de 4mm.

As duas aberturas para análise estão voltadas para as faces norte e oeste (orientações mais problemáticas), com dimensões de 1,20 x 1,00m, e peitoril de 1,10m.

A fachada maior está orientada a Norte/Sul (2,70m) e a menor a Leste/Oeste (2,20 m).

Quando uma das fachadas estava sendo avaliada a outra teve sua abertura vedada por um painel com resistência térmica equivalente<sup>29</sup> à parede de tijolos, estando ambas totalmente seladas para evitar a interferência da ventilação. Para facilitar o manuseio e troca de vidros e painéis equivalentes, optou-se por colocar o vidro numa moldura de madeira sobre batente, com alças e fechos de travamento, ficando a área envidraçada efetiva com as dimensões de 0,86 x 1,06 m, e área de 0,91 m<sup>2</sup>.

As superfícies envidraçadas não possuem aberturas para ventilação, sendo o interior dos protótipos um ambiente fechado. A intenção era de restringir as variáveis envolvidas, pois a ventilação poderia interferir na temperatura interna, trazendo o calor dissipado pelos dispositivos.

Um protótipo foi destinado para referência e controle, estando totalmente exposto à radiação solar, nas mesmas orientações, porém sem os dispositivos de proteção solar.

Nos demais protótipos foram instalados sobre a superfície transparente os seguintes dispositivos de sombreamento: brise-soleil horizontal (madeira e concreto), brise-soleil vertical (madeira e concreto), e elemento vazado (concreto).

Os protótipos estão distanciados de forma que não haja sombreamento das paredes ou sombras de vento, a fim de garantir condições homogêneas de implantação para todos.

---

<sup>29</sup> Ver anexo 02. Painel equivalente.

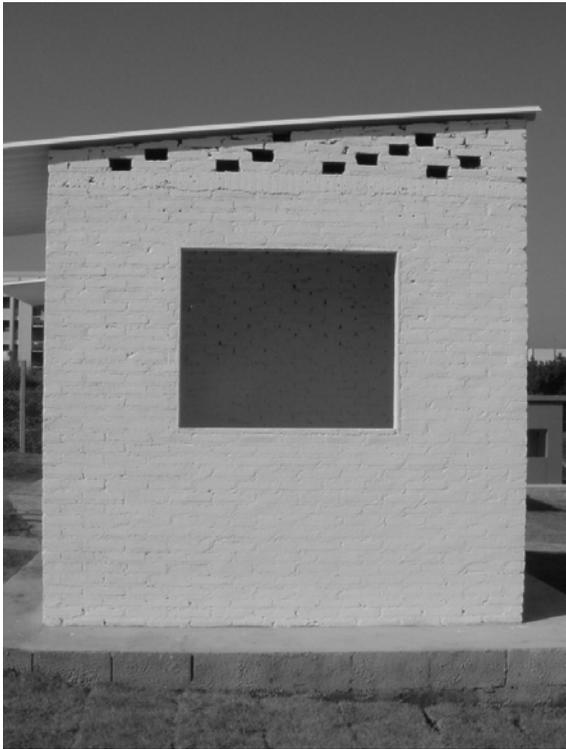


Fig. 4.43. Face Norte



Fig. 4.44. Face Leste



Fig. 4.45. Face Sul.



Fig. 4.46. Face Oeste.

### 4.3 Descrição do brise-soleil

As tipologias de brise-soleil adotadas nesse estudo são brise-soleil horizontal, vertical e combinado, fixos, sendo os materiais utilizados concreto e madeira.



(a) brise-soleil horizontal      (b) brise-soleil vertical      (c) brise-soleil combinado  
Fig. 4.47. As três tipologias de brise-soleil em ensaio.

Os dispositivos de sombreamento estudados foram dimensionados com base no ângulo de sombra do elemento vazado, disponível comercialmente, que foi adquirido para este estudo.

A partir das suas dimensões, foi montada a máscara de sombra deste elemento sobre a carta solar para a latitude de Campinas e do transferidor auxiliar. O ângulo de obstrução obtido foi adotado como parâmetro para definir as dimensões das outras tipologias de brise-soleil. Dessa forma, foi determinada a largura das peças em 0,34m. A espessura dos elementos também foi baseada na dimensão da parede das células do elemento vazado, sendo de 0,025m.

Adotou-se um padrão para estabelecer comparações entre os dados a serem coletados, uma vez que a avaliação de eficiência do brise-soleil pela geometria de insolação é analisada pelo ângulo de obstrução, independente da variação formal da solução adotada. Entretanto, as máscaras de sombra resultantes de cada tipologia são

distintas, pois os elementos em teste não são infinitos, restringindo-se a encobrir apenas a área envidraçada.

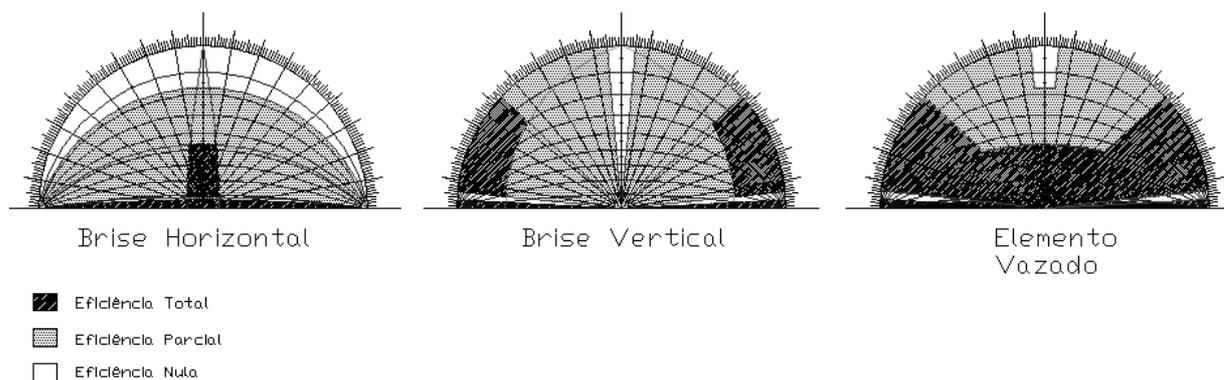


Fig. 4.48. Máscaras de sombra das três tipologias em estudo.

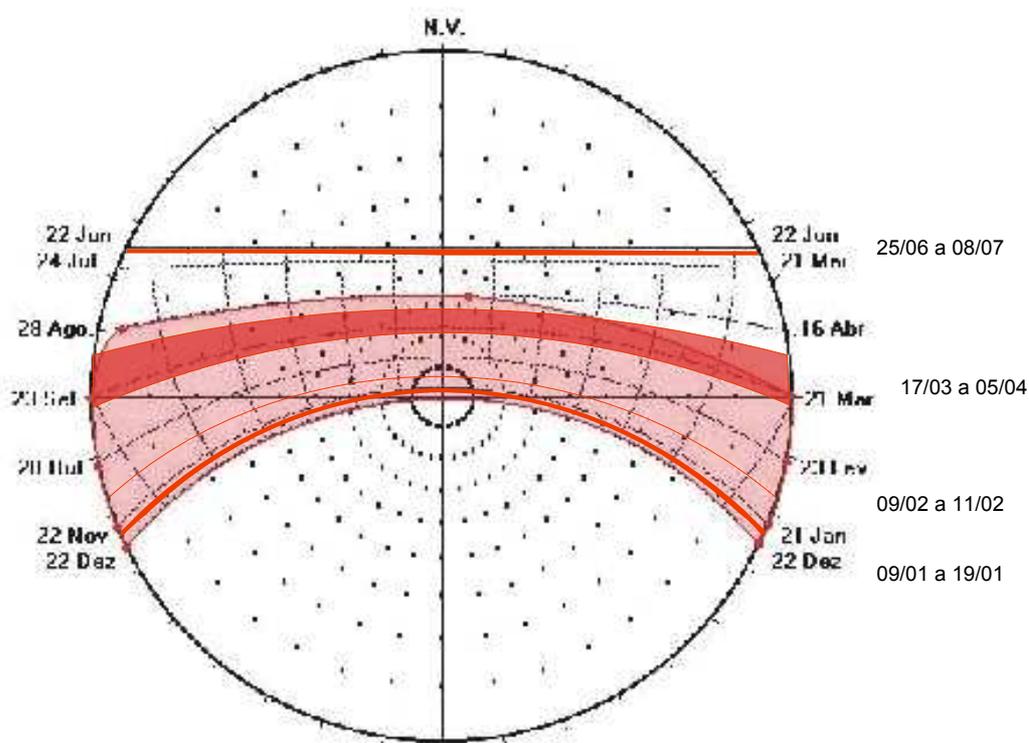


Fig. 4.49. Carta Solar de Campinas, latitude 22° 54' S, identificação do período de calor excessivo, e indicação das datas de medição.

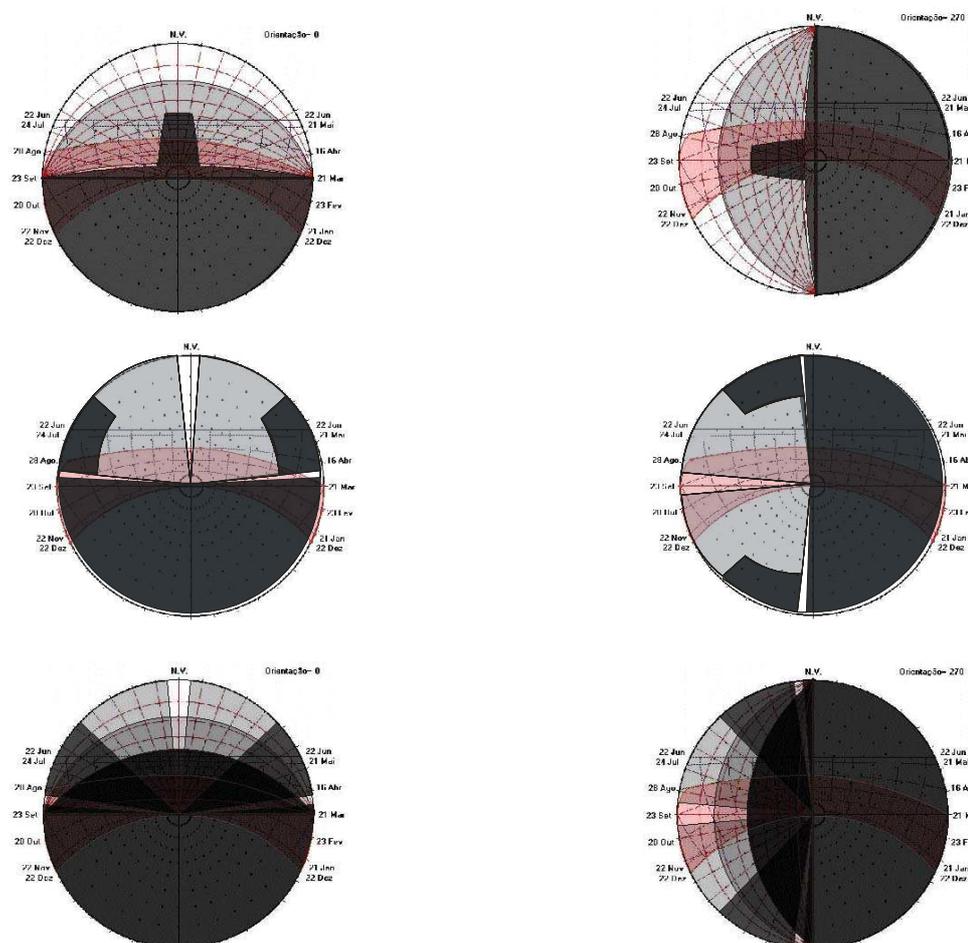


Fig. 4.50. Máscaras de sombra dos dispositivos de proteção aplicadas sobre a carta solar de Campinas e período de calor excessivo, conforme orientação da fachada em teste.

Todos os elementos foram colocados a uma distância de 0,05m da fachada, evitando o contato direto das peças com a alvenaria, com o objetivo de reduzir a condução de calor e promover alguma circulação de ar entre as peças e a alvenaria.

Os materiais construtivos utilizados foram o concreto e a madeira<sup>30</sup>, em referência às edificações da arquitetura moderna brasileira. Embora utilizasse outros materiais construtivos, como o cimento amianto e o alumínio, entre outros, o material adotado com maior frequência era o concreto.

<sup>30</sup> Propriedades térmicas dos materiais: concreto:  $\rho$  2200 kg/m<sup>3</sup>;  $\lambda$  1,75 W/(m.K); c 1,00 kJ/(kg.K).  
madeira:  $\rho$  500 kg/m<sup>3</sup>;  $\lambda$  0,15 W/(m.K); c 1,34 kJ/(kg.K).

## Elemento vazado

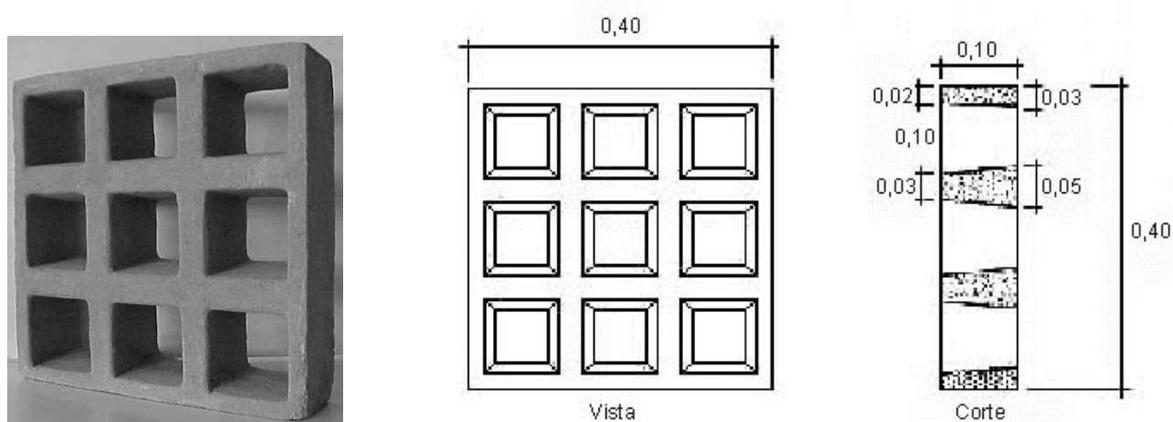


Fig. 4.51. O elemento vazado utilizado e suas dimensões.

Foram utilizadas nove peças do elemento vazado para fazer a proteção solar de um dos protótipos. Esse elemento combina lâminas verticais e horizontais, e é denominado "combinado". Cada uma das peças pesa 18 quilos, totalizando 162 quilos na trama ensaiada. Cada peça possui uma área de  $0,16\text{m}^2$  e área de trama de  $0,10\text{m}^2$ . A área da trama das 9 peças ( $0,57\text{m}^2$ ) sobre a área envidraçada ( $0,91\text{m}^2$ ), representa uma relação de 62,6% da área do vidro sombreada pelo sistema.

Foram colocados sobre um requadro metálico, e como era necessário que fossem removíveis (para a troca de fachada), não foi utilizada argamassa de assentamento, ficando apenas sobrepostos e amarrados com arame zincado.

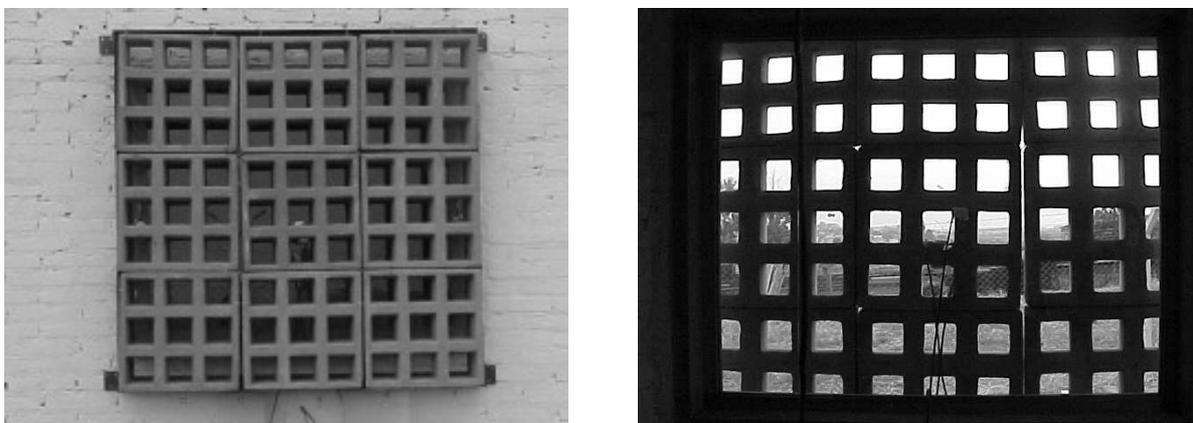


Fig. 4.52. Vistas externa e interna da janela protegida pelo elemento vazado.

## Placas horizontais e verticais:

O comprimento do brise-soleil horizontal e vertical foi definido com base nas dimensões da área da janela, 1,20 x 1,00m, acrescido de 0,05m para permitir a fixação dos dispositivos na fachada. As dimensões dos dispositivos são: 1,25 x 0,34 x 0,025m.

As peças de concreto foram moldadas com cimento, areia e pedrisco, traço de 1:3:2; e tela de galinheiro. Cada placa de concreto pesa 25 quilos. As placas de madeira foram feitas com pinho, e pesam cerca de 7 quilos.

Para compor a tipologia horizontal foram instaladas três peças, sustentadas por apoios metálicos. A tipologia vertical é composta por quatro placas, instaladas com auxílio de mão-francesa.



Fig. 4.53. Protótipos com o brise-soleil vertical de madeira e concreto.



Fig. 4.54. Protótipos com brise-soleil horizontal. Ao lado o protótipo referência, e ao fundo o protótipo com elemento vazado.

Quando as placas são dispostas na posição horizontal, a área da trama ( $0,106\text{m}^2$ ) sobre a área envidraçada ( $0,91\text{m}^2$ ), representa uma relação de 11,6% da área do vidro sombreada pela tipologia horizontal em estudo. Para a posição vertical, a área da trama ( $0,086\text{m}^2$ ) sobre a área envidraçada ( $0,91\text{m}^2$ ), representa uma relação de 9,5% da área do vidro sombreada pelo sistema.

Cores:

Na revisão bibliográfica foram encontradas diferentes abordagens em relação à influência da cor dos elementos de sombreamento e sua eficiência. Como a influência da cor não era o foco desse estudo, optou-se por adotar um padrão de cinza claro com refletância de 50% para comprimentos de onda do espectro solar. Para comprimentos de onda longa a cor não interfere na absorção de calor dos elementos.

Dessa forma, todos os dispositivos de proteção solar foram pintados com a mesma cor, que foi selecionada após um teste espectrofotométrico<sup>31</sup> de dez amostras de madeira de 0,03 x 0,03m, pintadas com uma mistura de tinta branco neve com pigmento preto em diferentes percentuais de diluição.

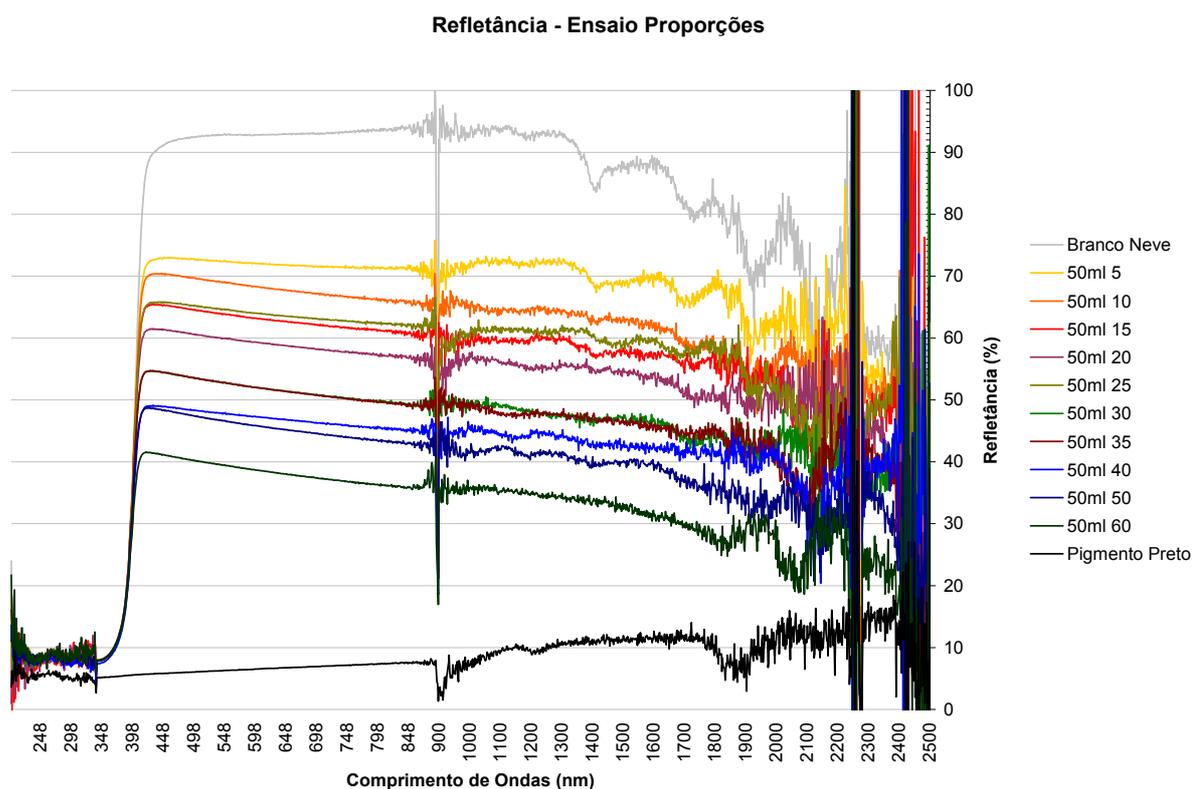


Fig. 4.55. Gráfico das refletâncias das amostras de tons de cinza, obtidos através de teste espectrofotométrico.

<sup>31</sup> O teste espectrofotométrico foi realizado no Laboratório de Espectrofotometria da EESC USP, São Carlos.

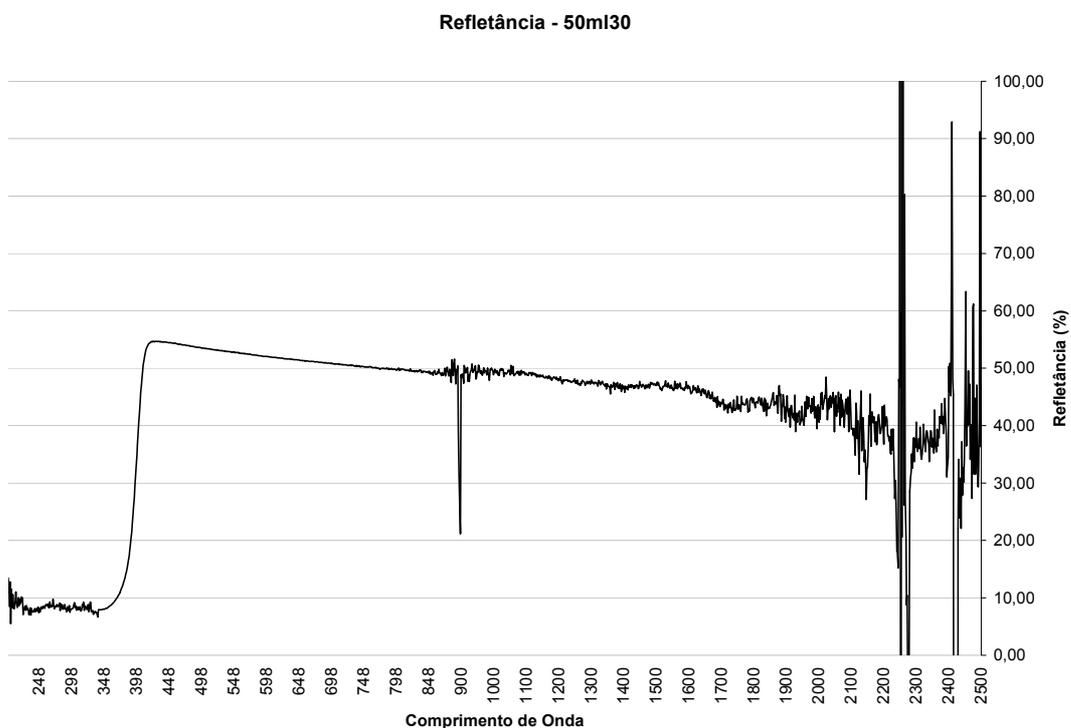


Fig. 4.56. Gráfico de refletância 50%, da amostra selecionada, diluição 50ml / 30 gotas.

Foi selecionada a cor da amostra que continha 30 gotas de pigmento preto diluído em 50ml de tinta branco neve, que apresentou uma refletância média de 50% para os comprimentos de onda da radiação solar.

#### Os protótipos na área experimental



Fig. 4.57. Vista dos protótipos finalizados, sem a instalação dos dispositivos.



Fig. 4.58. Vista dos protótipos com os dispositivos de sombreamento em ensaio na fachada norte.



Fig. 4.59. Vista dos protótipos com os dispositivos de sombreamento em ensaio instalados na fachada oeste.

Identificação dos protótipos:

- Protótipo A – Brise horizontal de concreto;
- Protótipo B – Elemento vazado (concreto);
- Protótipo C – Brise horizontal de madeira;
- Protótipo D – Referência (sem dispositivos de sombreamento);
- Protótipo E – Brise vertical de concreto;
- Protótipo F – Brise vertical de madeira.

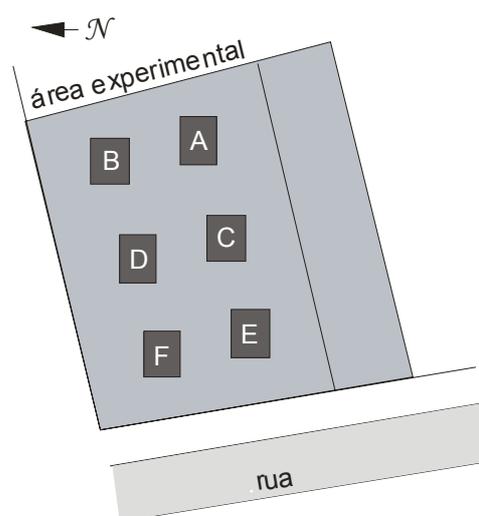


Fig. 4.60. Área experimental com identificação dos protótipos. (desenho sem escala).

#### **4.4 Períodos, horários e intervalos das medições**

##### *Período de Medição*

O período de medição foi de um ano acompanhando a variação sazonal do clima. Dessa forma, foram coletados dados nos meses de janeiro<sup>32</sup>, março, e junho de 2004, com medição das variáveis dos protótipos - temperatura do ar e temperaturas superficiais. Cada dispositivo foi testado durante uma semana, expostos nas fachadas norte ou oeste, em três estações do ano (verão, outono e inverno).

Durante cada estação monitorada, as medições foram realizadas em datas próximas aos solstícios e equinócios, visando facilitar a comparação com estudos de geometria de insolação.

##### *Horário de Medição*

Na carta solar, os horários representados são referentes ao tempo solar verdadeiro (TSV) e não o horário do tempo legal (- 3:00 horas em relação a Greenwich, no Brasil denominado horário de Brasília). Para Campinas, latitude 22° 54' S e longitude 47° 03' W, as maiores diferenças de horário observadas (meio-dia solar) para os períodos monitorados foram no dia 11/02 com + 06 minutos e 04 segundos (12:06:04 horas), e no dia 05/04 com - 05 minutos e 36 segundos (11:54:24 horas). Constatou-se que a variação é pequena, e não altera significativamente as observações realizadas no tempo legal.

No anexo III - Cálculo do horário solar, apresentam-se os valores da equação do tempo para a cidade de Campinas (latitude 22° 54', longitude 47° 03'), para os períodos monitorados no ano de 2004.

---

<sup>32</sup> Por problemas operacionais e de datas de férias da universidade, a medição de dezembro foi adiada para janeiro. Outro problema ocorrido foi a perda de dados na segunda semana para a fachada oeste. Assim, foram complementados com dados coletados nos dias 10 a 12 de fevereiro.

Na configuração do sistema de aquisição de dados, não foi considerado o horário de verão, mantendo o horário legal como padrão durante todo o período de medição.

#### *Intervalos de Medição*

A leitura dos sensores foi configurada, em intervalos pré-estabelecidos, registrando os dados a cada 30 segundos, com totalizações a cada 10 minutos, a partir desses dados foram calculadas as médias a cada 30 minutos.

#### **4.5 Equipamentos**

Para realizar as medições foi utilizado um sistema de aquisição de dados composto por duas unidades básicas que fazem a coleta automática e o armazenamento dos dados meteorológicos e das temperaturas dos protótipos:

- registrador automático (data logger CR 10X - measurement and control system);
- multiplexador<sup>33</sup> com 32 canais (AM 416), conectado ao data logger.

Acessórios:

- painel solar, 10W (suprimento energia da bateria, orientado a norte, com inclinação de 10° para a latitude de Campinas, limpo periodicamente);

---

<sup>33</sup> Multiplexador é um equipamento que possui diversas entradas e uma saída, efetuando um roteamento dos dados de saída conforme a configuração do intervalo de aquisição de dados.

- bateria recarregável 12V (PS12LA, regulador de voltagem, filtro e proteção contra raios);
- cabo serial padrão (RS 232, SC25PS);
- módulo externo de memória (SM192);
- interface serial para módulo de memória (SC32A);
- teclado externo;
- software PC 208W Data Logger Support Software, versão 3.3, Campbell Scientific.

Ambos - data logger e multiplexador, e a bateria estão abrigados numa caixa selada instalada no tripé da estação meteorológica, assim como o painel solar. Os demais acessórios são guardados no Laboratório de Conforto Ambiental e Física (LACAF) que realiza o monitoramento da estação.

A estação meteorológica (tripé e sensores), e o sistema de aquisição de dados estão instalados na área experimental da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.



Fig. 4.61. Vista dos protótipos com as tipologias em ensaio



Fig. 4.62. Estação meteorológica

### *Estação Meteorológica*

As variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar e índice pluviométrico) foram medidas por uma pequena estação meteorológica marca Campbell Scientific, composta por:

- tripé (CM 6, altura variável até o máximo de 3,50m);
- e sensores:
  - termo higrômetro CS 500 - temperatura (-34 a +50°C) e umidade relativa (0 a 90%, precisão de  $\pm 3\%$  , a 20°C), com proteção para radiação térmica (abrigo meteorológico);
  - sensor de direção ( vane - 0 a 355° e precisão 5°) e velocidade dos ventos (anemômetro wind sentry – de 0 a 60 m/s, precisão 0,5 m/s) - (conjunto 03001);
  - piranômetro SP-lite, Kipp & Zonen – radiação solar (400 a 1000 nm – compreende região do visível e infra-vermelho próximo, precisão de  $\pm 3\%$  , a 20°C), com base de nivelamento (limpo periodicamente);
  - pluviômetro TB4–L – precipitação. Sistema de balança.

Os sensores estão montados sobre o tripé de 3,5m de altura máxima, com exceção do pluviômetro que conta com apoio próprio independente dessa estrutura. Nessa estrutura também foi alocado o painel solar, um para raios com aterramento (fio terra), e uma caixa selada contendo o data logger, o multiplexador, e a bateria.

Os serviços de instalação e montagem da estação, e do sistema de aquisição de dados, bem como a configuração dos parâmetros de coleta e

registro, foram executados pelos representantes técnicos da Campbell Scientific do Brasil, e acompanhados pela equipe de pesquisa.

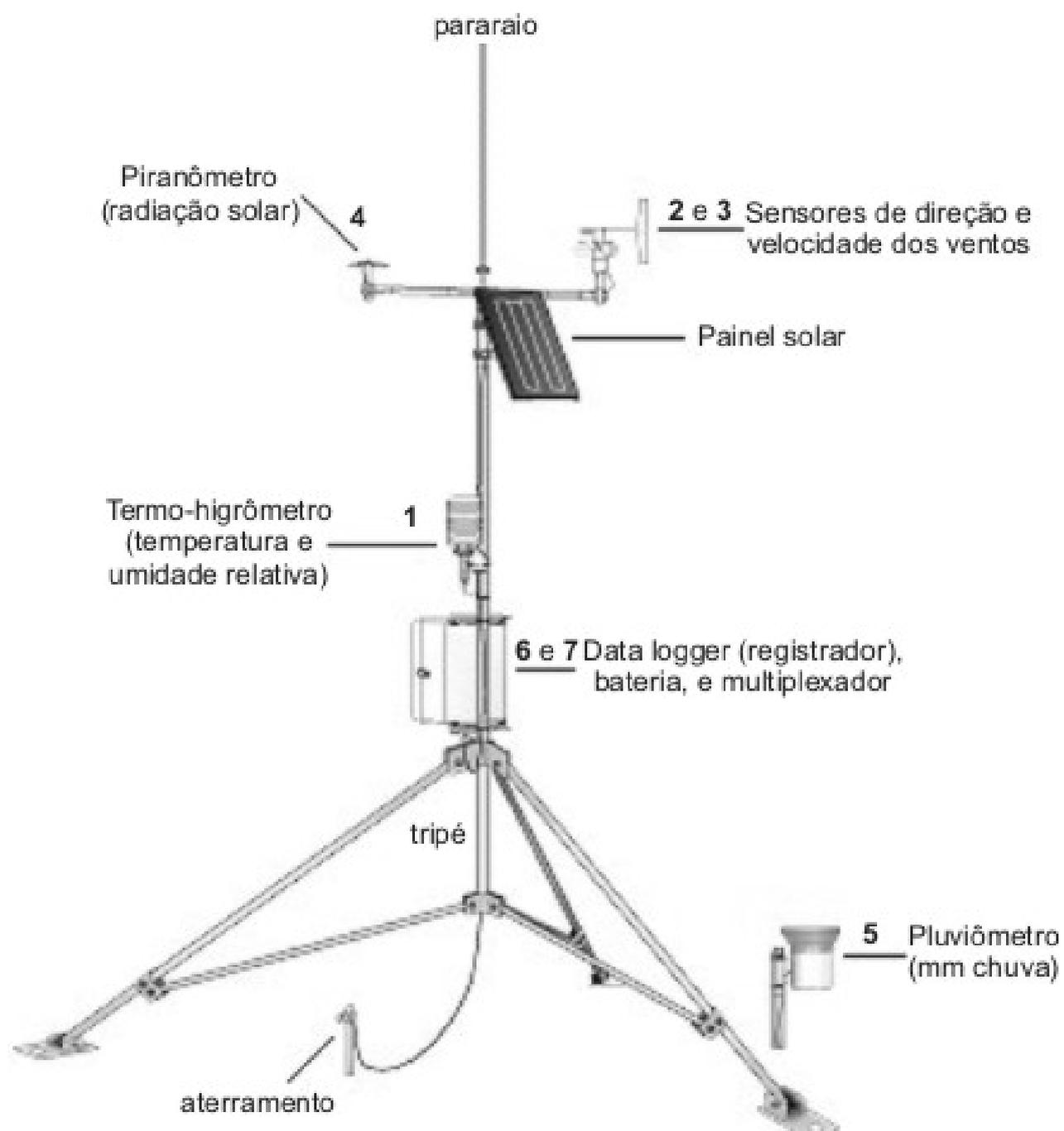
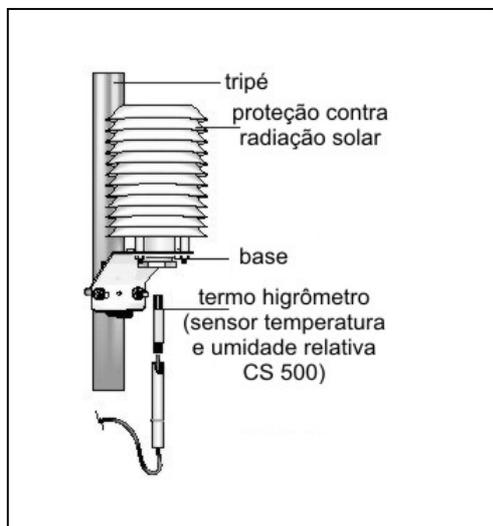
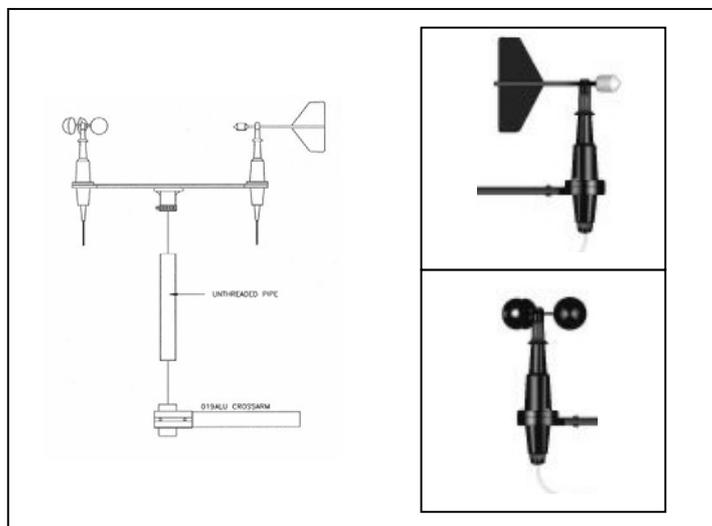


Fig. 4.63. Esquema da Estação Meteorológica Campbell Scientific.

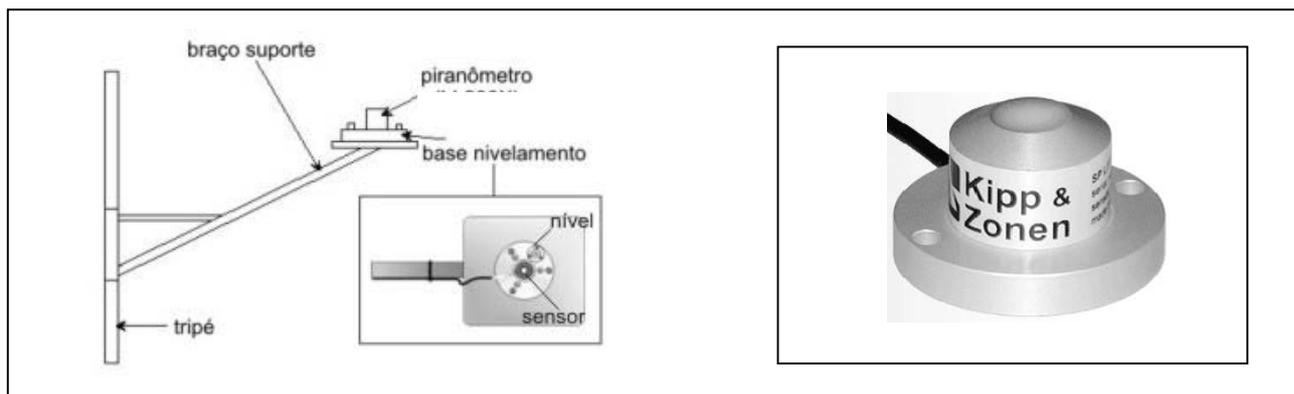
Fig. 4.64. Sensores da Estação Meteorológica Campbell Scientific



1. Temperatura e umidade relativa



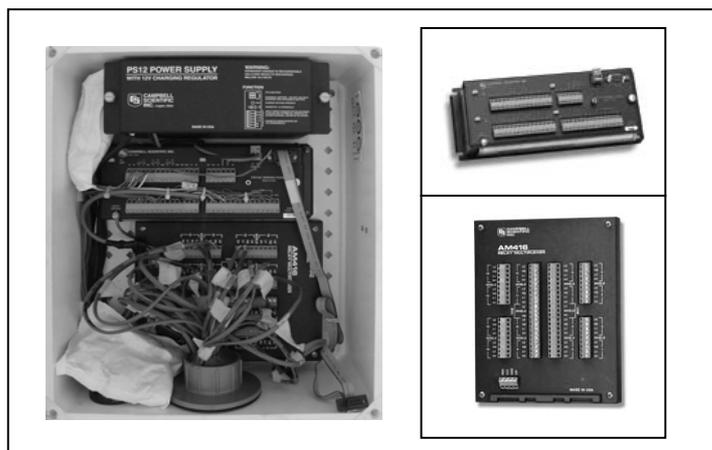
2 e 3. Direção e velocidade dos ventos



4. Radiação solar



5. Pluviômetro



6 e 7. Data logger e multiplexador

## *Termopares*

Os dados relativos aos protótipos foram coletados através de termopares tipo T (cobre-constantan), 24 awg, ANSI (padrão americano), conectados ao multiplexador (seus 32 canais possibilitam a conexão de todos os termopares instalados em cada um dos protótipos, permitindo leituras simultâneas).

## *Localização dos termopares*

Para aquisição dos dados de temperatura interna e temperaturas superficiais foram utilizados cinco termopares em cada um dos seis protótipos, estando distribuídos da seguinte forma:

- 01 termopar no centro do protótipo, a uma altura de 1,30m (altura do tórax) , para medir a temperatura do ar ambiente (bulbo seco) - n.º 1.<sup>34</sup>
- 01 termopar na superfície interna do vidro (centro), para leitura da temperatura superficial deste elemento - n.º 2.
- 01 termopar na superfície interna da parede em estudo, abaixo da janela (0,50m do piso) - n.º 3.
- 01 termopar externo ao protótipo, na superfície superior (ou esquerda) do dispositivo de sombreamento em estudo (centro da peça) - n.º 4.
- 01 termopar externo ao protótipo, na superfície inferior (ou direita) do dispositivo de sombreamento em estudo (centro da peça) - n.º 5.

Para minimizar a influência da radiação solar incidente nas leituras dos termopares foi utilizado um pequeno pedaço de isopor ( $\pm 3 \times 3$ cm e 0,5cm de espessura) para cobri-los, fixados na superfície com cola quente. Para aumentar o contato do sensor com a superfície utilizou-se pasta térmica.

---

<sup>34</sup> Este sensor permite avaliar as influências de cada configuração dos dispositivos através da medição da temperatura do ar ambiente, sendo destinado a monitoração do comportamento térmico do ar no interior da edificação (sofre influências dos mecanismos de troca de calor por condução, convecção e radiação).

Assim, coleta-se os dados do ambiente interno, e temperaturas superficiais da parede, do vidro e dos dispositivos de sombreamento.

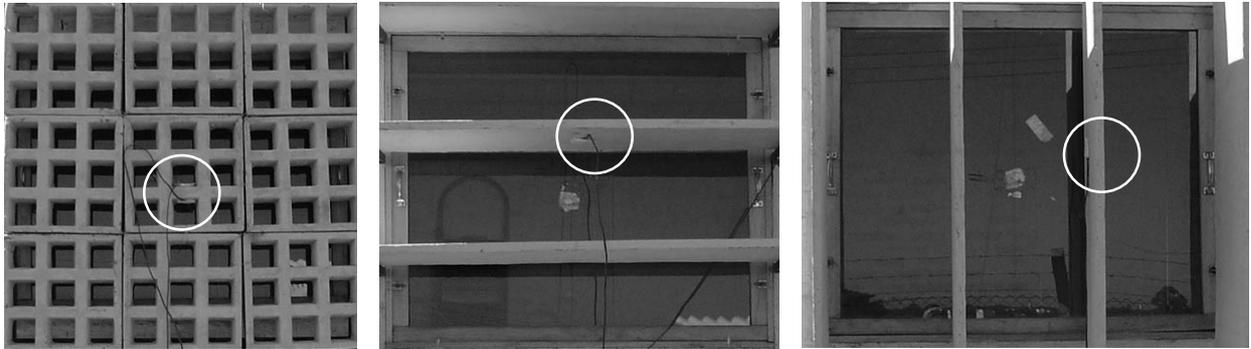


Fig. 4.65. Posicionamento dos sensores nos dispositivos.

Os sensores foram instalados nas peças mais centrais de cada dispositivo. No elemento vazado, foi colocado na peça do meio, nas superfícies superior e inferior. No brise-soleil horizontal, na placa do meio, nas superfícies superior e inferior. E no brise-soleil vertical, foi localizado na terceira placa (a partir da esquerda), e posicionado na peça nas faces esquerda e direita em relação ao observador olhando para a fachada do protótipo.



Fig. 4.66. Posicionamento dos sensores no ambiente interno, temperatura do ar e temperaturas superficiais internas do vidro e da parede.

#### **4.6 Dados coletados**

O sistema de aquisição de dados efetuou as leituras dos sensores e termopares (através do multiplexador), e armazenadas no data logger. Depois, transferidas ao módulo de memória (cabo RS 232), e descarregadas no microcomputador - software PC-208W Campbell Scientific.

Foram realizados alguns testes iniciais, como forma de treinamento dos usuários, com o sistema de aquisição de dados (modo de coleta e descarga) e uso do software com assessoria de representantes da Campbell Scientific do Brasil.

Foram adquiridos dados diários das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, índice pluviométrico, direção e velocidade dos ventos), e das variáveis medidas nos protótipos (temperatura do ar, temperatura radiante, temperaturas superficiais e umidade relativa), expostos nas fachadas norte ou oeste durante uma semana (cada orientação), por estação do ano nos períodos próximos às datas de equinócios e solstícios de verão e inverno.

Por exemplo, coletou-se dados diários em médias de 30 minutos, para cada sensor, para cada protótipo com uma das tipologias em ensaio, para uma dada orientação, durante uma semana (7 dias), em determinada estação do ano. Coletando 48 dados diários, 5 sensores, 6 protótipos, 7 dias, 2 orientações, 4 estações do ano, totalizando 80.640 dados brutos das variáveis medidas nos protótipos. Somam-se também os dados das variáveis ambientais, sendo 6 sensores, com 48 dados diários, por duas semanas (14 dias), 4 estações do ano.

Considerando válidos apenas os dados coletados em situações de incidência solar direta<sup>35</sup>, sendo descartados os dias com condições de céu encoberto ou chuvosos, uma vez que o brise-soleil tem por função interceptar os raios solares. Outras medições desprezadas foram as referentes aos dias de troca dos elementos de fachada.

---

<sup>35</sup> Embora a radiação difusa represente uma pequena contribuição, não será tratada neste estudo.

## *Dados*

Devido a razões de ordem operacional, as medições só foram iniciadas em setembro de 2003, a partir de um pré-teste. Neste momento somente o protótipo B contava com o dispositivo de sombreamento instalado (elemento vazado), os demais protótipos passavam por testes com medições com os vidros (outra pesquisa ligada ao grupo de trabalho dos protótipos).

Em janeiro de 2004 iniciaram-se as medições. Os dados brutos coletados pelo sistema de aquisição apresenta uma tabela em extensão “.dat”, padrão do programa “PC 208W Data Logger Support Software”. Este foi convertido em planilhas EXCEL (.xls), sendo classificados em vários arquivos com dados diários referentes a cada período monitorado.

Os gráficos apresentam médias diárias para as variáveis ambientais, o protótipo referência e demais protótipos, contendo as variáveis neles monitoradas.

Também foram elaborados gráficos considerando as comparações entre:

- Para temperatura do ar externo e temperaturas do ar interno dos protótipos;
- para temperaturas superficiais medidas nos protótipos por estação;
- para temperaturas superficiais por orientação da fachada.

## *Análise dos resultados*

Os dados coletados pelo sistema foram avaliados em etapas:

- 1) dados brutos sem tratamento;
- 2) seleção de dados;
- 3) gráfico dos elementos atmosféricos externos;

4) análise comparativa do comportamento térmico dos dispositivos de proteção solar, considerando:

- as variáveis ambientais monitoradas pela estação meteorológica;
- o protótipo referência e cada um dos protótipos com diferentes dispositivos;
- os protótipos e a estação do ano;
- os protótipos entre si.

5) análise estatística.

- análise da variância para os dados monitorados.

Foram elaborados planilhas e gráficos em MS Office EXCEL, apresentando os dados coletados, mostrando os resultados para cada tipologia dos dispositivos de sombreamento testados. Os resultados foram comparados com estudos gráficos de geometria de insolação para cada situação em estudo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados e discutidos resultados dos gráficos das médias dos dados diários coletados para cada horário, por estação.

No verão o período de coleta foi de 09/01 a 11/02, no outono de 17/03 a 05/04, e no inverno de 25/06 a 08/07. Entretanto, os dias 26/03 e 02/07 não foram considerados, pois os protótipos estavam sendo reconfigurados para alteração das fachadas de oeste para norte. Assim como nos dias 09/01, 11/02, 17/03, 05/04, 25/06 e 08/07, para os quais os dados coletados foram parciais, e também estavam em troca os vidros, e fixação ou retirada dos dispositivos de proteção solar em estudo. Portanto, os intervalos de dados analisados foram:

*Verão:*

- fachada norte: de 10 a 18 de janeiro;
- fachada oeste: 09 e 10 de fevereiro<sup>36</sup>.

*Outono:*

- fachada oeste: de 18 a 25 de março;
- fachada norte: de 27 de março a 04 de abril.

*Inverno:*

- fachada oeste: de 26 de junho a 01 de julho;
- fachada norte: de 03 a 07 de julho.

---

<sup>36</sup> Por problemas operacionais ocorreu uma perda de dados na segunda semana para a fachada oeste. Assim, foram coletados apenas os dias 09 a 11 de fevereiro, sendo desprezado o dia 11, por estar em troca de fachada, vidros e dispositivos em teste.

Nos intervalos definidos acima, para que as médias dos valores horários dos dias monitorados pudessem ser utilizadas como parâmetro de análise e comparação, os dias atípicos foram desprezados (condição de céu encoberto ou chuvoso, e também algum evento isolado que refletisse em alteração do padrão da temperatura do ar externo). Constam do apêndice – Dados Coletados, os gráficos diários para todas as situações monitoradas.

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 da temperatura externa por alteração das condições climáticas (chuva ou céu encoberto). No caso da temperatura interna dos protótipos, foi registrado um evento isolado denominado como “efeito jardineiro”: refere-se aos dias em que o jardineiro ia ao campo experimental para realizar a manutenção e serviços de jardinagem do gramado, nessas ocasiões as portas dos protótipos eram abertas, alterando os valores coletados. O evento ocorreu em horários próximos das 11:00 horas, nos dias 10/02, 18/03 e 27/03<sup>37</sup>.

De qualquer forma, como foi coletada uma quantidade de dados expressiva, e com o intuito de filtrar e apurar as médias, para comparar as relações entre os fatores envolvidos optou-se por desprezar os dias atípicos e eventos isolados, reduzindo o desvio padrão.

Apresentam-se a seguir os resultados obtidos e os gráficos com as temperaturas do ar médias (externo e interno dos protótipos), e as temperaturas superficiais, para comparação dos dias monitorados no verão, outono e inverno, com orientações para norte e oeste. Após esses dados, são mostrados os gráficos por fachada, visualizando as diferenças sazonais. Por fim, a análise estatística com a interação entre os fatores envolvidos.

---

<sup>37</sup> A interferência do “efeito jardineiro” também foi registrada na experiência da outra pesquisadora, Adriana Castro, que testava diferentes tipos de vidro.

Variáveis ambientais – verão: período 11 a 18 de janeiro.

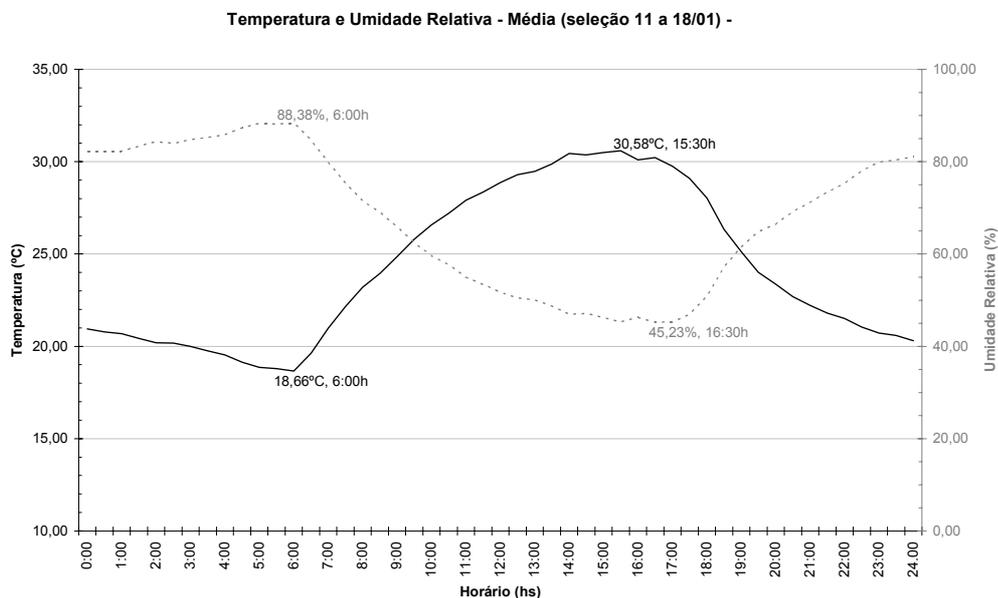


Fig. 5.67. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 11 a 18/01.

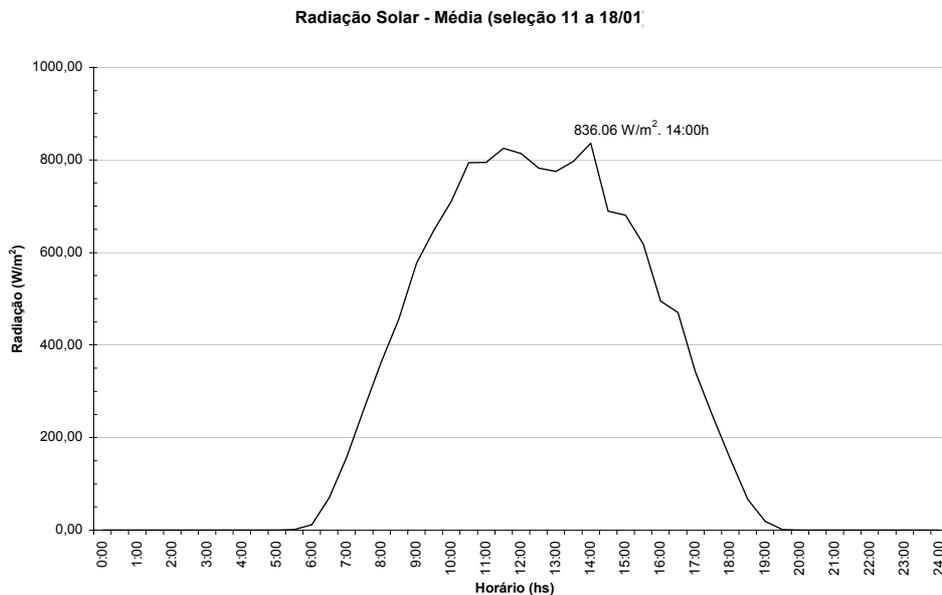


Fig. 5.68. Gráfico de radiação solar para o período de 11 a 18/01.

<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Dir.</b>	SE	SW										
<b>Vel.</b>	1,92	1,73	1,09	1,04	0,67	0,72	1,03	1,69	1,99	2,09	2,18	2,19
<b>Hora</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>Dir.</b>	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	SE	SE	SE	SE	SE
<b>Vel.</b>	2,06	2,28	2,50	2,80	2,83	3,04	3,03	3,01	3,18	3,13	2,43	2,62

Tabela 5.3. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 11 a 18/01.

Índice pluviométrico: total chuva = 3,81 mm.

Variáveis ambientais – verão: período 09 e 10 de fevereiro.

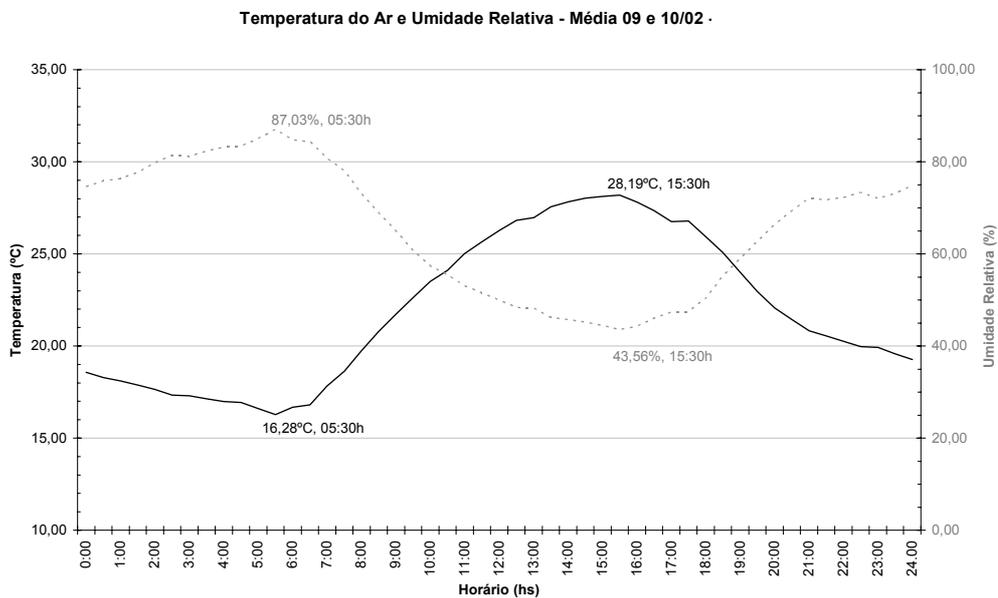


Fig. 5.69. Gráfico de temperatura e umidade relativa para os dias 09 e 11/02.

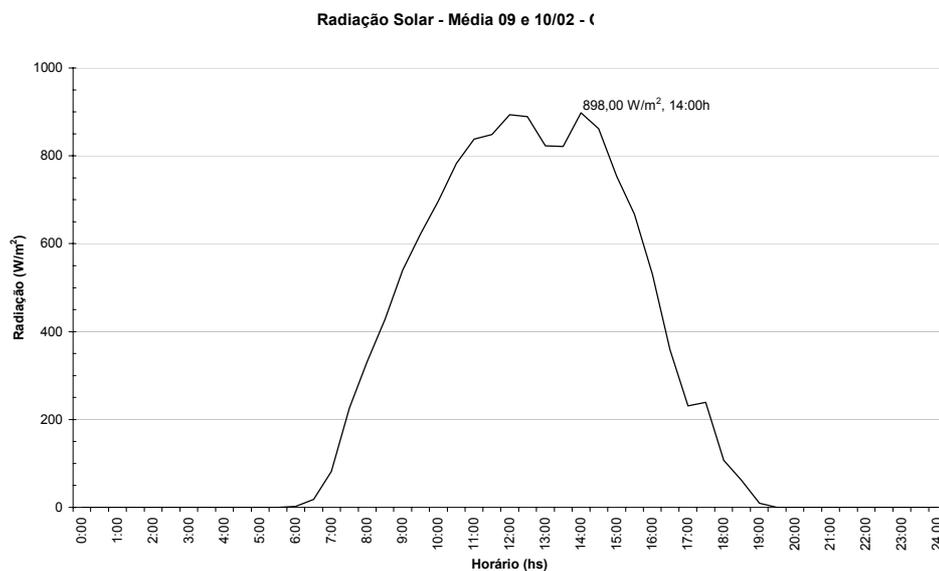


Fig. 5.70. Gráfico de radiação solar para os dias 09 e 10/02.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dir.	E	SE										
Vel.	1,72	2,18	1,96	2,06	1,99	1,02	1,56	3,00	3,56	3,64	3,25	0,95
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Dir.	SE											
Vel.	3,04	3,20	3,58	3,59	3,82	3,23	3,95	4,17	4,05	4,39	4,52	3,97

Tabela 5.4. Dados de direção e velocidade dos ventos para os dias 09 e 10/02.

Índice pluviométrico: Não houve incidência de chuva no período. Total chuva = 0.

Variáveis ambientais – outono: período 20 a 25 de março.

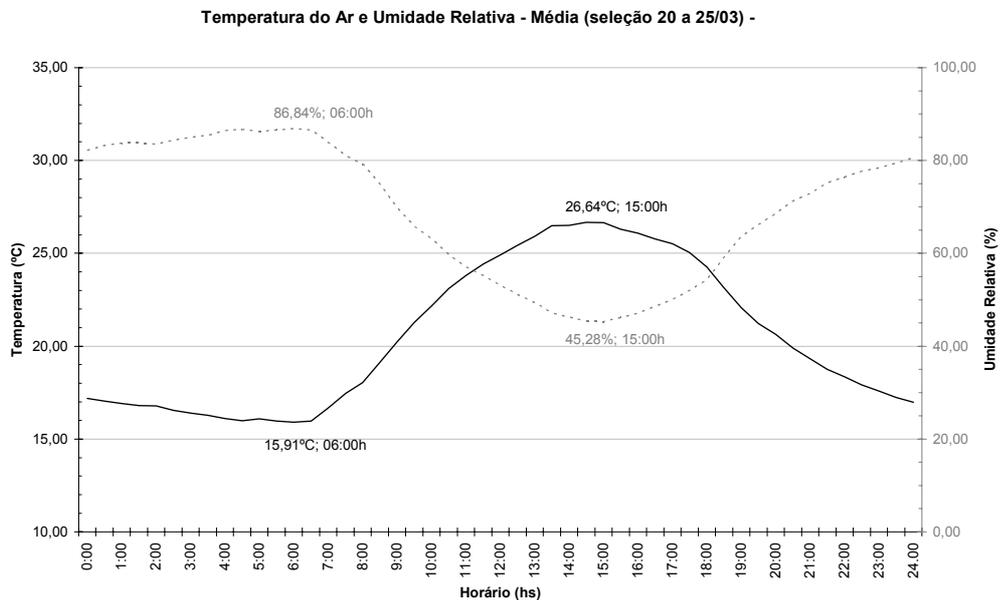


Fig. 5.71. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 20 a 25/03.

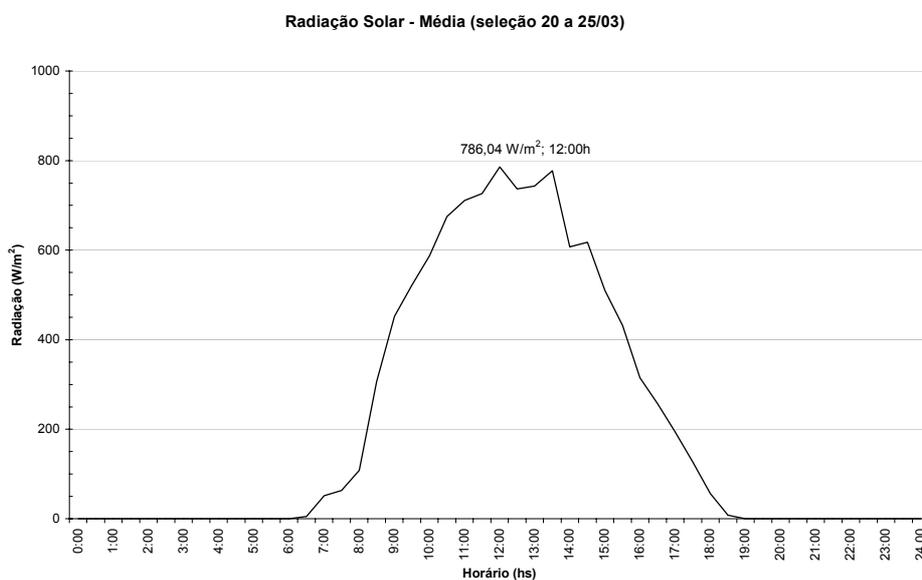


Fig. 5.72. Gráfico de radiação solar para o período de 20 a 25/03.

<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Dir.</b>	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	S	SE	SE	S
<b>Vel.</b>	2,22	1,85	1,73	1,61	1,44	1,32	1,68	2,14	2,53	2,42	2,32	2,32
<b>Hora</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>Dir.</b>	S	S	S	S	S	S	S	SE	SE	SE	SE	SE
<b>Vel.</b>	2,12	2,16	2,63	2,77	2,52	2,60	2,81	2,80	3,34	3,51	3,19	2,61

Tabela 5.5. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 20 a 25/03.

Índice pluviométrico: total chuva = 0,08 mm.

Variáveis ambientais – outono: período 28 de março a 02 de abril

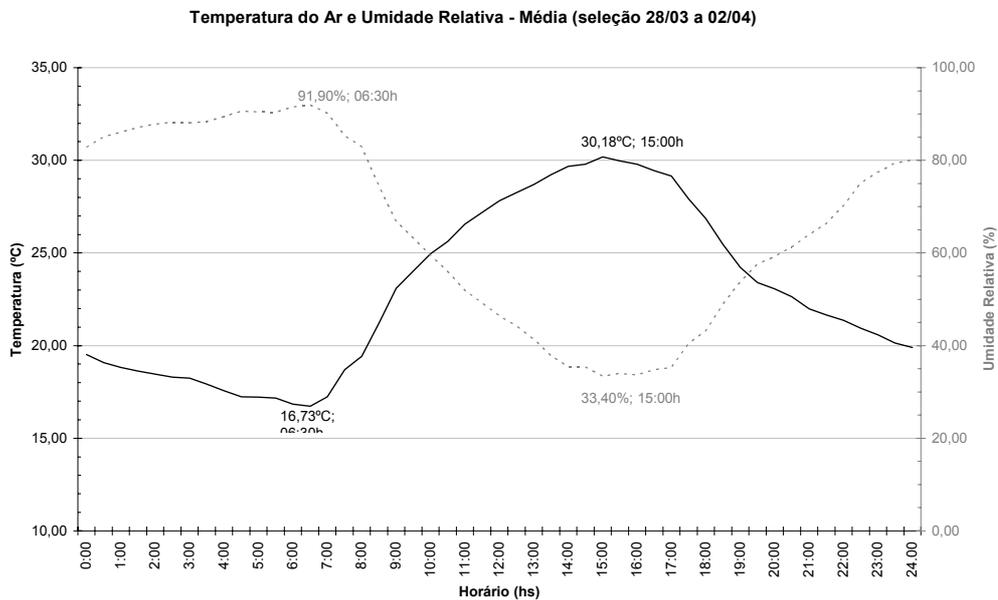


Fig. 5.73. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 28/03 a 02/04.

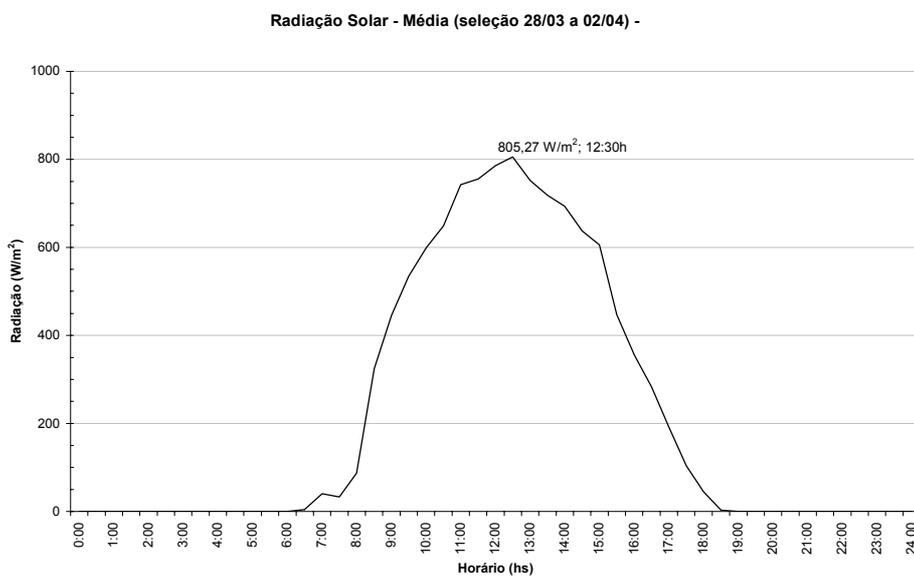


Fig. 5.74. Gráfico de radiação solar para o período de 28/03 a 02/04.

<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Dir.</b>	SE	SE	SE	E	E	E	E	SE	SE	SE	SW	SW
<b>Vel.</b>	1,38	1,17	1,01	1,07	0,82	0,57	0,70	0,77	0,84	1,44	1,52	1,62
<b>Hora</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>Dir.</b>	W	W	W	SW	S	SE						
<b>Vel.</b>	1,73	1,79	1,81	1,78	1,88	2,07	1,62	2,00	1,90	2,73	2,79	2,59

Tabela 5.6. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 11 a 18/01.

Índice pluviométrico: Não houve incidência de chuva no período. Total chuva = 0.

Variáveis ambientais – inverno: período 26 de junho a 01 de julho.

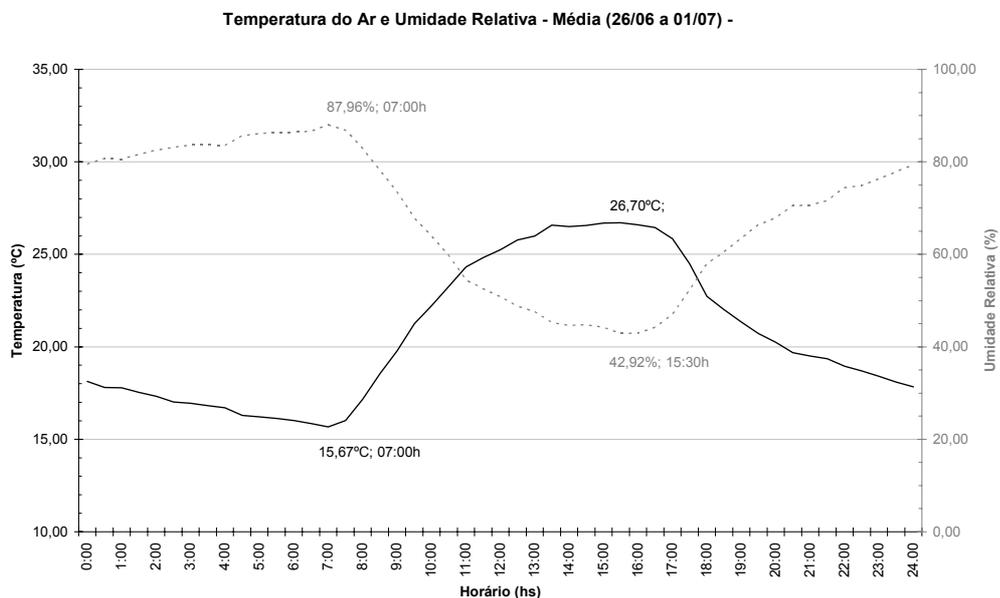


Fig. 5.75. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 26/06 a 01/07.

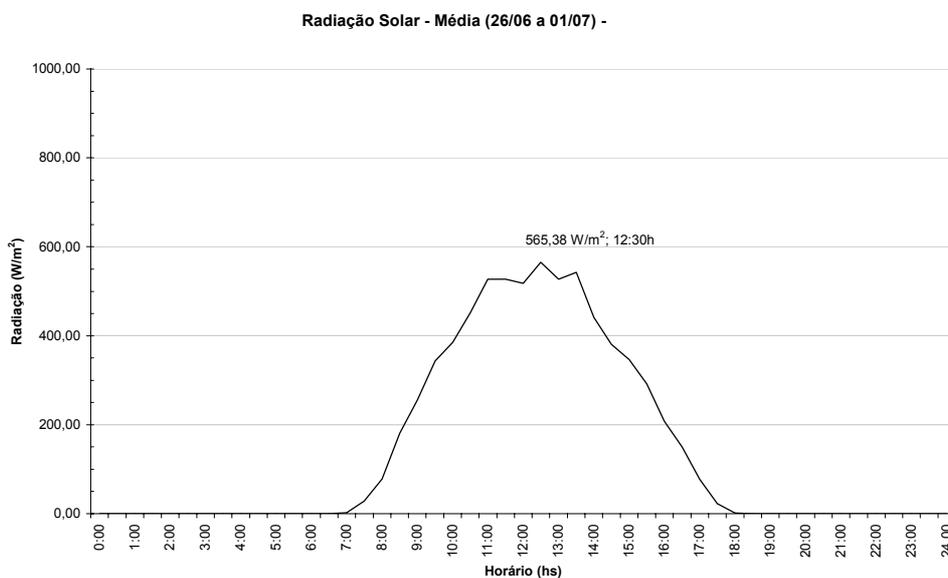


Fig. 5.76. Gráfico de radiação solar para o período de 26/06 a 01/07.

<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Dir.</b>	SE	SE	SE	SE	SE	SE	E	E	SE	NE	NE	NE
<b>Vel.</b>	2,71	2,49	1,77	1,56	2,24	1,78	2,73	2,98	1,55	1,64	1,51	1,68
<b>Hora</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>Dir.</b>	NE	NE	N	SW	NE	NE	E	E	SE	SE	SE	SE
<b>Vel.</b>	1,73	1,73	2,78	1,78	2,09	1,48	1,77	2,01	2,14	2,10	1,23	1,46

Tabela 5.7. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 26/06 a 01/07.

Índice pluviométrico: Não houve incidência de chuva no período. Total chuva = 0.

Variáveis ambientais – inverno: período 03 a 07 de julho.

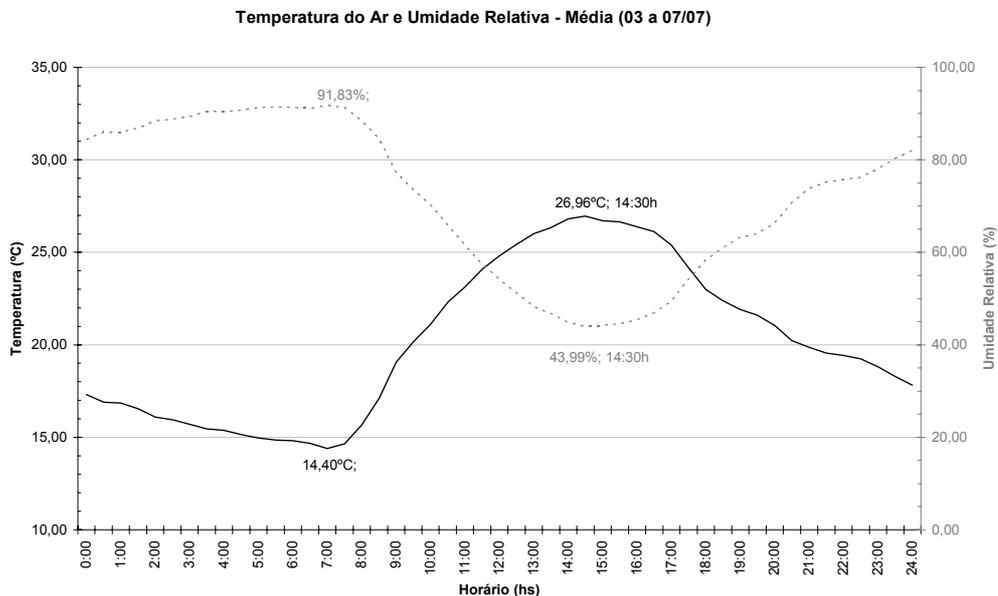


Fig. 5.77. Gráfico de temperatura e umidade relativa para o período de 03 a 07/07.

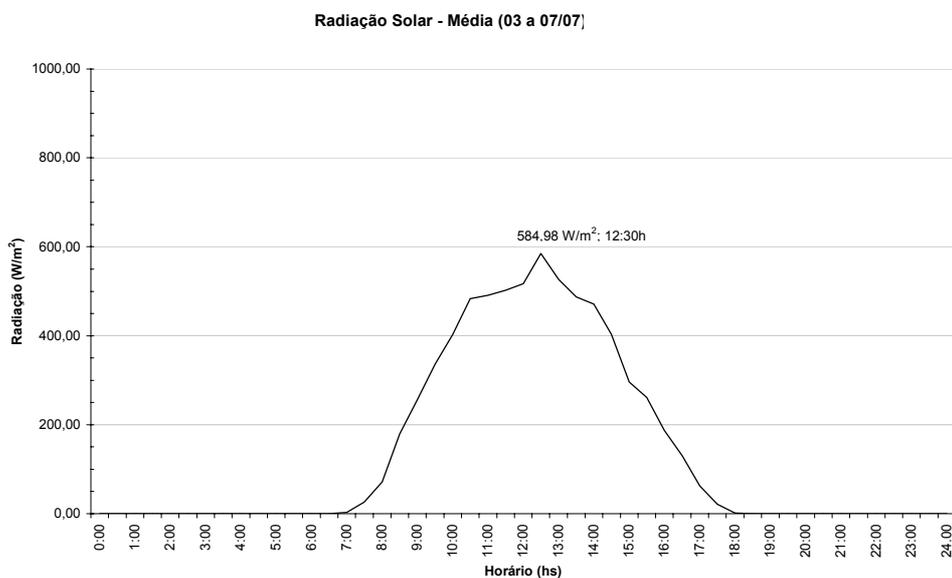


Fig. 5.78. Gráfico de radiação solar para o período de 03 a 07/07.

<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Dir.</b>	E	E	E	E	E	E	E	NE	E	S	SE	S
<b>Vel.</b>	1,99	1,29	1,78	0,87	0,26	0,57	0,77	0,78	1,09	1,30	1,80	1,69
<b>Hora</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>Dir.</b>	W	W	W	W	W	SE	SE	SE	E	E	E	E
<b>Vel.</b>	1,80	1,56	1,75	1,63	1,23	0,50	0,75	0,83	1,74	2,50	2,75	1,87

Tabela 5.8. Dados de direção e velocidade dos ventos para o período de 03 a 07/07.

Índice pluviométrico: Não houve incidência de chuva no período. Total chuva = 0.

## **5.1 Temperatura interna**

*Verão - fachada norte: de 10 a 18 de janeiro:*

Para esse intervalo foram descartados os dias atípicos: 10, 14 e 15/01. Sendo, portanto, seis dias considerados válidos para análise.

Esse intervalo apresentou as maiores diferenças nos valores das temperaturas do ar, caracterizado por uma grande variabilidade nas condições das variáveis ambientais.

As 7:00 o valor da temperatura do ar externo ultrapassou o interno, e a diferença nos valores de temperatura interna para cada protótipo se inicia por volta das 7:30, e somente após as 22:00 os valores de temperatura voltaram a ficar semelhantes.

Na figura 5.79, o gráfico mostra uma diferença entre o atraso e amortecimento térmico entre os diferentes dispositivos. Em relação à temperatura externa, houve um atraso de no mínimo duas e máximo de três horas, e variação nas diferenças de temperaturas máximas de 1,68°C a 2,71°C. O valor máximo da temperatura externa foi de 30,58°C às 15:30h e a temperatura interna máxima do protótipo de referência foi de 28,82°C às 18:00h, sendo constatado um atraso de duas e meia horas e amortecimento de 1,76°C.

Comparando as temperaturas internas dos protótipos com a referência, observou-se que ocorreu uma diferença no amortecimento da temperatura, exceto para o brise-soleil vertical de madeira, porém a diferença no atraso térmico entre os protótipos e a referência é menor. No caso do brise-soleil vertical (madeira e concreto) o atraso em relação à temperatura externa foi menor (2:00h) do que o protótipo de referência (2:30h).

Verão – Fachadas norte e oeste.

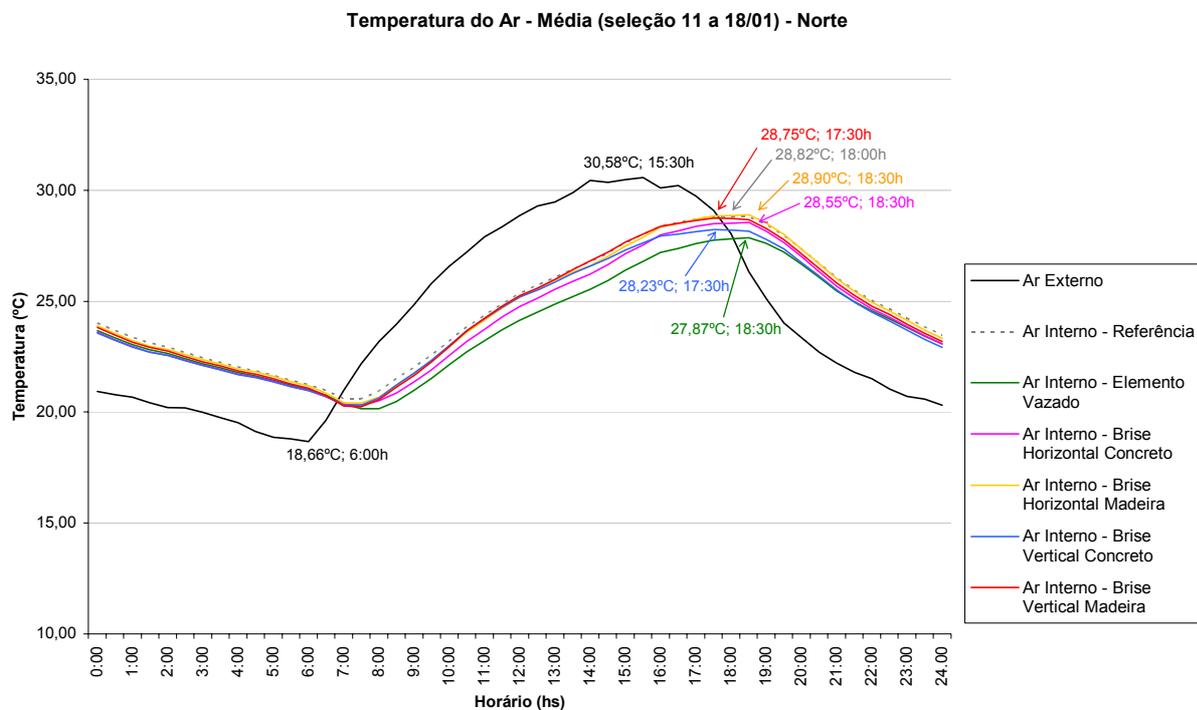


Fig. 5.79. Gráfico de temperatura do ar no período de 11 a 18/01 – fachada norte.

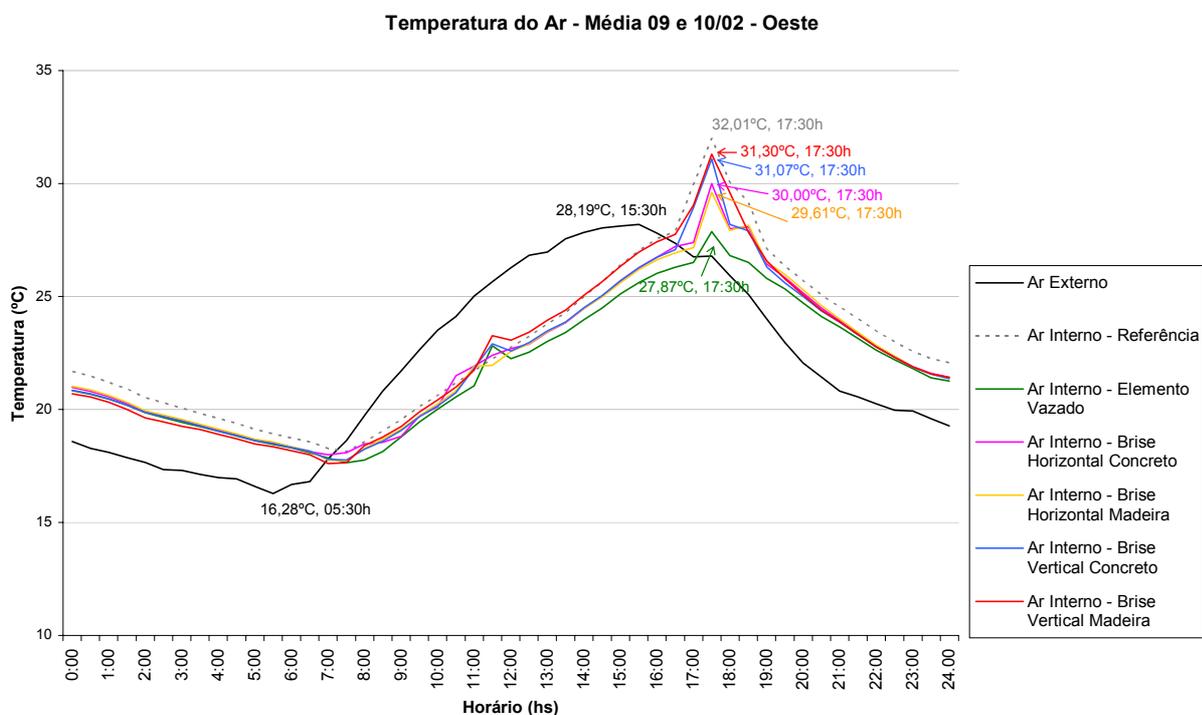


Fig. 5.80. Gráfico de temperatura do ar nos dias 09 e 10/02 – fachada oeste.

Com relação à temperatura interna, o dispositivo de proteção solar que obteve melhor desempenho foi o elemento vazado, seguido pelos brises-soleil de concreto vertical e horizontal, respectivamente. Os piores desempenhos foram dos brises-soleil de madeira, sendo que o vertical apresentou comportamento semelhante ao protótipo de referência que não contava com nenhuma proteção, apenas o vidro incolor de 4mm.

O melhor desempenho do elemento vazado era esperado, considerando que esse elemento apresentou maior obstrução dos raios solares como pode ser observado na máscara de sombra do dispositivo (fig. 4.48, pág. 75; e fig. 4.50, pág. 76).

Para as placas, as observações indicam a possibilidade de no caso do atraso térmico ter sido a tipologia que influenciou o resultado. Já para o caso da temperatura interna, é possível que o material seja responsável pela ocorrência de menores valores.

Outro aspecto observado foi a relação entre atraso térmico e amortecimento: enquanto que para o amortecimento térmico os menores valores temperatura mínima e máxima estavam próximos a 2,5°C; o atraso térmico para a mínima ficou em torno de 1:30 hora, e para a máxima houve uma diferença de 2:30 a 3:00 horas.

*Verão - fachada oeste: 09 e 10 de fevereiro:*

A comparação entre os dados ficou comprometida com o problema de perda do registro dos dados, contando com apenas dois dias de medição. Embora o dia 10/02 apresente o “efeito jardineiro”, ambos os dias foram considerados válidos para análise. Nesse caso, foram desprezadas as alterações nas temperaturas para os horários por volta das 11:30. Mesmo assim, foi possível realizar algumas comparações.

Às 7:00 o valor da temperatura do ar externo ultrapassou o interno, e também a diferença nos valores de temperatura interna para cada protótipo, e somente após as 22:00 os valores de temperatura voltam a ficar semelhantes.

Na fachada oeste, quando o sol incide perpendicular à fachada e o brise-soleil tem eficiência nula, apenas o valor da temperatura interna do protótipo com o elemento vazado (27,87°C) foi menor do que a exterior. A diferença dos valores de temperatura interna máxima entre o elemento vazado e a referência atingiu 4,14°C.

Uma característica marcante observada na fachada oeste foi o pico bastante acentuado da temperatura do ar interno (32,01°C), ultrapassando a externa (28,19°C) exatamente às 17:30h, momento em que os raios solares estavam perpendiculares à fachada, sendo que os dispositivos apresentaram eficiência nula. Nesse momento registraram-se as maiores diferenças de temperaturas sendo a maior 31,30°C no protótipo com brise vertical de madeira, e a menor 27,87°C no de elemento vazado.

Devido à ocorrência do pico de temperatura, o único protótipo que registrou valor inferior à temperatura externa máxima foi o que contava com o elemento vazado; e embora registre um pequeno pico, ainda assim, representa um atraso térmico de duas horas. Entretanto, esse mesmo intervalo de duas horas ocorreu nos demais protótipos assinalando o momento de pico, embora apresentassem temperaturas acima da externa, sendo a maior diferença de + 3,82°C.

O protótipo com dispositivo de proteção solar que obteve melhor desempenho foi o elemento vazado, seguido dos brises-soleil horizontais de madeira e concreto, respectivamente. Os de pior desempenho foram os verticais, sendo o de madeira o menos eficiente.

Para o período de verão, observaram-se diferenças entre o comportamento das temperaturas internas registradas em função da orientação das fachadas. Enquanto que para a face norte a curva tem forma de senóide, semelhante à temperatura externa, para a fachada oeste, a ocorrência do pico das 17:30 diferencia bastante a tendência da curva, sendo que, após o evento, ela retorna à forma senoidal.

Para ambas as orientações, no período do verão, o elemento vazado registrou os menores valores de temperatura interna. Entretanto, foram observadas alterações no comportamento das placas, pois para norte as menores temperaturas foram devido ao material (concreto), e a oeste devido à tipologia (horizontal).

A análise estatística confirmou a importância da influência da orientação nos resultados, indicando também interações entre estação e orientação.

*Outono* - fachada oeste: de 18 a 25 de março:

Para esse intervalo foram descartados os dias 18 e 19/03<sup>38</sup>, sendo, portanto, seis dias considerados válidos para análise.

As 8:00 o valor da temperatura do ar externo ultrapassa o interno, e também começou a registrar diferenças nos valores de temperatura interna para cada protótipo. O pico da temperatura externa ocorre as 15:00, e da interna as 17:00, representando uma diferença de duas horas. É grande a diferença observada entre os valores de pico. Somente após as 22:00 horas, os valores de temperatura voltam a ficar semelhantes.

A fachada oeste possui uma característica marcante observada também no verão: o pico bastante acentuado no momento em que os raios solares estavam perpendiculares à fachada, quando os dispositivos apresentam eficiência nula, porém, no verão tenha ocorrido no mesmo horário para todos os dispositivos em ensaio. No outono, esse fato ocorreu com uma diferença de meia hora entre alguns protótipos: para a referência, brises-soleil verticais, e brise horizontal de madeira o pico ocorreu às 17:00. Já para o brise horizontal de concreto e o elemento vazado, o pico foi registrado

---

<sup>38</sup> No dia 18/03, foi registrado o “efeito jardineiro”, e no dia 19/03 ocorreu uma queda brusca da temperatura externa.

Outono – Fachadas oeste e norte.

Temperatura do Ar - Média (seleção 20 a 25/03) - Oeste

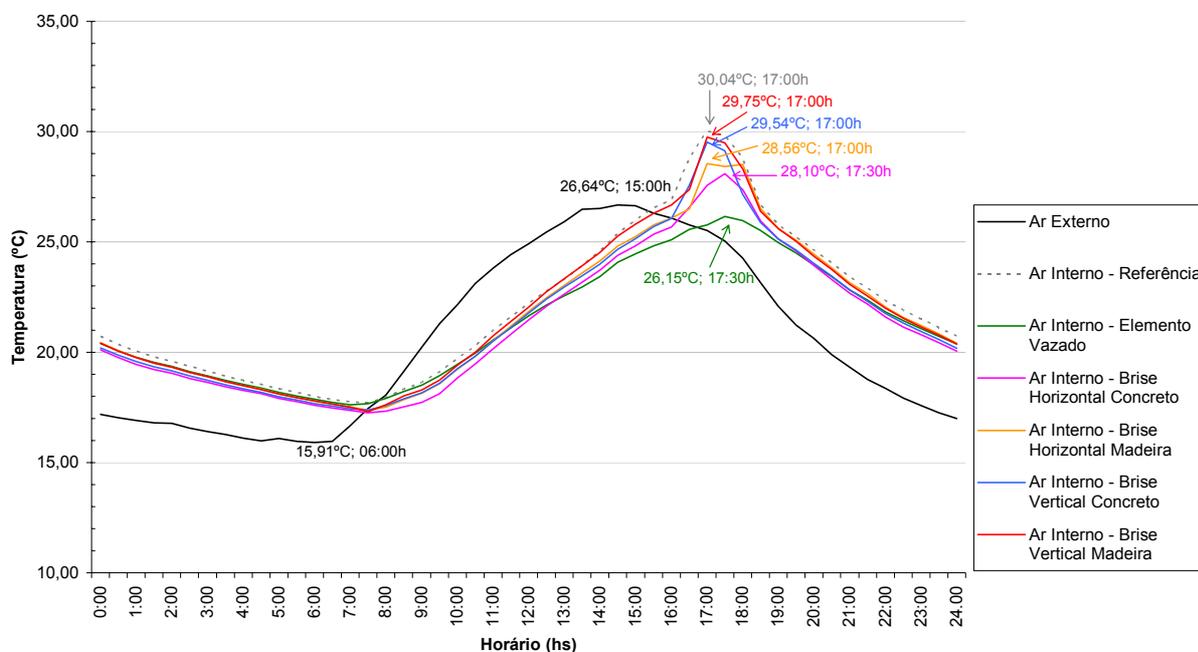


Fig. 5.81. Gráfico de temperatura do ar no período de 20 a 25/03 – fachada oeste.

Temperatura do Ar - Média (seleção 26/03 a 02/04) - Norte

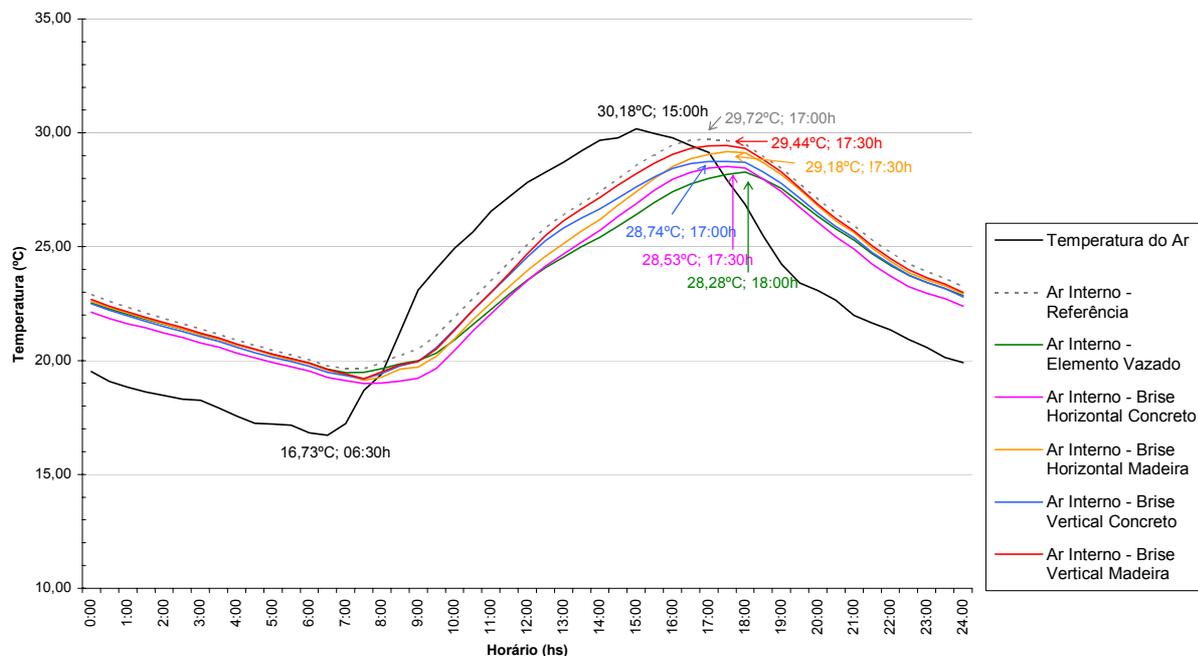


Fig. 5.82. Gráfico de temperatura do ar no período de 26/03 a 02/04 – fachada norte.

às 17:30 horas. Nota-se que mesmo com a ocorrência de picos de temperatura, no outono, existiu atraso térmico entre as diferentes tipologias.

No momento do pico, registraram-se as maiores diferenças de temperatura. O valor do pico registrado para a referência é 30,04°C, maior que no caso dos protótipos com proteção. Entre os protótipos com diferentes tipologias de brise-soleil avaliados, a maior foi de 29,81°C para o ambiente com o brise vertical de madeira e a menor 26,69°C para o elemento vazado. A diferença entre a referência e o elemento vazado foi de 3,89°C, e 3,4°C a mais do que a temperatura externa máxima (26,64°C).

Para o outono na face oeste, o protótipo com dispositivo de proteção solar que obteve melhor desempenho foi o elemento vazado, seguido pelos brises-soleil horizontais de concreto e madeira, respectivamente. Os de pior desempenho foram os verticais, sendo o menos eficiente o de madeira. Entretanto, a partir das 17:30 ocorreu uma alteração: o protótipo com brise vertical de concreto apresentou uma melhora no seu desempenho em relação aos brises-soleil horizontais de madeira e concreto, até as 19:00, quando passou a registrar valores semelhantes ao elemento vazado e ao brise horizontal de concreto.

Esse fato se deve ao atraso térmico das tipologias do elemento vazado e do brise horizontal de concreto, em meia hora. Dessa forma, o brise vertical de concreto já está em declínio de temperatura às 17:30, perdendo calor para o ambiente, e registrando um valor menor que o pico das outras duas tipologias nesse horário.

*Outono* - fachada norte: de 27 de março a 04 de abril:

Para esse intervalo foram descartados os dias 27 e 30/03, e 03 e 04/04<sup>39</sup>. Foram, portanto, cinco dias considerados válidos para análise.

---

<sup>39</sup> O dia 27/03 registrou o "efeito jardineiro", os dias 30/03 e 03/04, registraram queda brusca da temperatura externa no período da tarde, e o dia 04/04 estava com céu encoberto e pouca incidência de radiação direta. Ver Apêndice 1 – Dados Coletados.

Às 8:00 o valor da temperatura do ar externo ultrapassou o interno, e a diferença nos valores de temperatura interna para cada protótipo se inicia por volta das 7:30. O pico da temperatura externa de 30,18°C ocorreu às 15:00, e da interna de 29,72°C às 17:00 (referência), representando um atraso de 2 horas e pequeno amortecimento de 0,46°C. Somente após as 22:00 os valores de temperatura voltam a ficar semelhantes.

Nessa orientação, as temperaturas internas de qualquer tipologia, ficam sempre abaixo da temperatura máxima externa, porém com diferenças menores que 2°C, no amortecimento térmico.

A norte, observou-se uma dispersão nos horários em que ocorreu o pico da temperatura interna máxima: para a referência e o brise vertical de concreto foi às 17:00 horas. Para o brise vertical e horizontal de madeira, e horizontal de concreto o pico ocorreu meia hora depois, às 17:30 horas, e para o elemento vazado às 18:00 horas.

O protótipo com dispositivo de proteção solar que obteve melhor desempenho foi o elemento vazado, seguido pelo brise-soleil horizontais de concreto e madeira, respectivamente, até as 15:30, quando o brise vertical de concreto passou a apresentar eficiência melhor que o brise horizontal de madeira. Novamente esse fato é explicado pela diferença no horário do pico de ocorrência das temperaturas máximas entre os dispositivos citados. O dispositivo de pior desempenho foi o brise vertical de madeira. A diferença entre a melhor e pior proteção foi de 1,16°C, e entre a referência e o elemento vazado de 1,44°C.

No período da tarde, entre 12:30 até 18:30, o protótipo com proteção de melhor desempenho foi o elemento vazado. Para os demais horários, os menores valores de temperatura interna registrados foi o protótipo com o brise horizontal de concreto. Essa observação pode ser explicada ao considerar algumas características do elemento vazado, como o fato de proporcionar ao próprio elemento sombreamento, a maior massa e conseqüente resistência, e também sua inércia térmica.

*Inverno* - fachada oeste: de 26 de junho a 01 de julho:

Para esse intervalo não foi descartado nenhum dia, sendo os seis dias considerados válidos para análise.

As 8:30 o valor da temperatura do ar externo ultrapassa o interno, e também inicia a diferença nos valores de temperatura interna para cada protótipo. Somente após as 22:00 os valores de temperatura voltam a ficar semelhantes.

No inverno, a fachada oeste não apresentou o pico acentuado de temperatura máxima como os registrados no verão e outono, e aproximou-se do comportamento da fachada a norte. Nessa época do ano, embora próximos da normal, os raios solares não ficam perpendiculares à face oeste. Mesmo assim, a temperatura interna máxima na referência foi superior à máxima externa. O pico da temperatura externa ocorreu as 15:30 com 26,70°C, e da interna as 16:30 com 27,23°C, representando um atraso de uma hora, e valor máximo da temperatura interna de 0,53°C maior que da externa.

Somente a temperatura do protótipo sem proteção ou referência foi maior que a externa. Os demais protótipos protegidos ficaram abaixo, registrando a ocorrência do pico às 17:00 horas com máxima da tipologia vertical de madeira com 26,64°C, e atraso de uma e meia hora. Somente o elemento vazado teve maior atraso, o pico ocorre às 17:30 horas com menor máxima, 25,62°C. A diferença das máximas entre a interna e o elemento vazado foi de 1,61°C.

Considerando que para o inverno, o ganho de calor solar seja necessário, ainda assim, o dispositivo que oferece a menor temperatura diária registra temperatura mínima semelhante ao que admite maior insolação. O protótipo com dispositivo de proteção solar que obteve melhor desempenho na redução do ganho de calor solar foi o elemento vazado, seguido dos dispositivos de concreto, vertical e horizontal, respectivamente. Porém, a partir das 18:00 eles ficam semelhantes e apresentaram menores valores em relação ao elemento vazado. Os de pior desempenho foram os de madeira, vertical e horizontal, respectivamente.

Inverno – Fachadas oeste e norte.

Temperatura do Ar - Médias 26/06 a 01/07 - Oeste

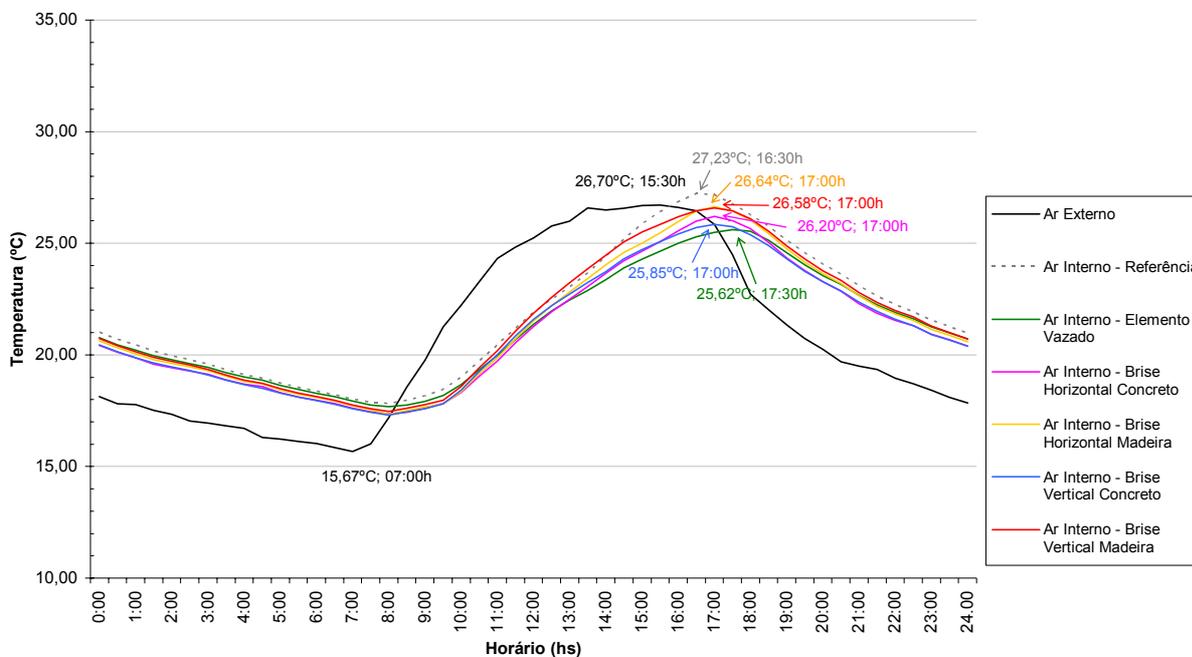


Fig. 5.83. Gráfico de temperatura do ar no período de 26/06 a 01/07 – fachada oeste.

Temperatura do Ar - Média 03 a 07/07 - Norte

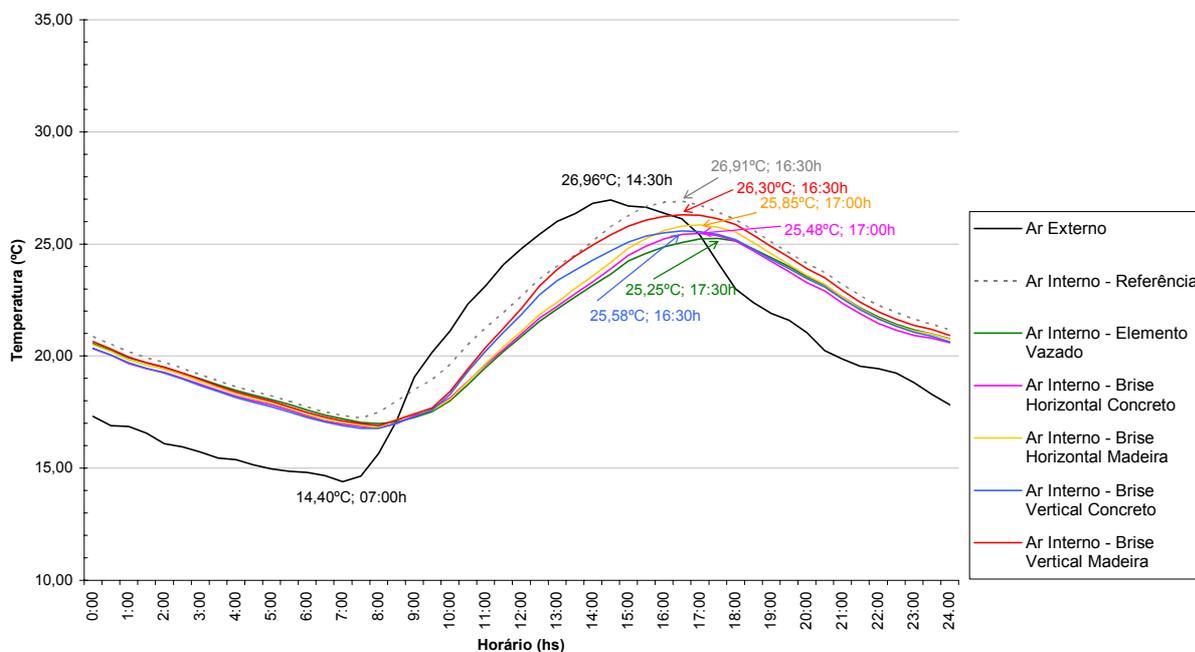


Fig. 5.84. Gráfico de temperatura do ar no período de 03 a 07/07 – fachada norte.

*Inverno* - fachada norte: de 03 a 07 de julho:

Para esse intervalo não foi descartado nenhum dia, sendo os cinco dias considerados válidos para análise.

As 9:00 o valor da temperatura do ar externo ultrapassa o interno, e a diferença nos valores de temperatura interna para cada protótipo se inicia por volta das 10:00. O maior valor da temperatura externa ocorreu as 14:30 com 26,96°C, e da interna as 16:30 com 26,91°C, representando um atraso térmico de duas horas, mas com pequena diferença nos valores de temperatura.

A temperatura interna máxima registrada foi de 26,30°C no protótipo com brise vertical de madeira, e a menor de 25,25°C, do elemento vazado. A diferença entre o melhor e pior dispositivo foi de 1,05°C, e em relação à referência a diferença foi de 1,66°C.

O protótipo com elemento vazado e os brises horizontais apresentaram valores de temperatura interna bastante próximos até as 14:00, após esse horário o protótipo com dispositivo de proteção solar que obteve melhor desempenho foi o elemento vazado, seguido dos brise-soleil horizontais de concreto e madeira, respectivamente, até às 16:00, quando o brise vertical de concreto apresentou eficiência melhor que o brise horizontal de madeira.

O protótipo com elemento que apresentou o pior desempenho foi o brise vertical de madeira, sendo que às 13:30 hora, os valores de temperatura desse dispositivo se igualaram ao protótipo sem proteção (referência – vidro incolor de 4mm). Essa observação pode ser explicada comparando esses dados com a máscara de sombra dessa tipologia para a orientação norte: a eficiência do sombreamento é praticamente nula.

## *Comparação entre orientação e estação do ano*

### Fachada Norte:

Na fachada norte a temperatura interna máxima não ultrapassa a externa em nenhuma estação. Observou-se que os valores das temperaturas externas máximas foram muito próximos para o verão, 30,58°C, e outono, 30,18°C, ocorrendo às 15:30 e 15:00 horas, respectivamente. A diferença da temperatura externa máxima entre verão e outono foi de apenas 0,40°C.

Entretanto, existe diferença em relação à temperatura interna máxima: no verão a referência registrou 28,82°C e no outono 29,72°, ou seja, no outono foi maior que no verão. Essa diferença pode ser explicada por duas razões: o ângulo de altura solar ser menor, pois o sol estava mais baixo, incidindo num ângulo não tão oblíquo sobre a superfície vertical como no verão, e a intensidade da radiação: nos períodos monitorados notou-se que os valores de radiação solar para o verão e equinócio foram próximos, devido à nebulosidade característica do verão quente e úmido e condições de céu limpo e umidade relativa menor no equinócio. Outro ponto foi que para alguns dispositivos ocorreu a situação de proteção parcial da janela. No verão houve uma diferença maior no amortecimento da temperatura interna com mínimo de 1,76°C (referência) e máximo de 2,71°C (externa).

Com relação à ocorrência da temperatura interna máxima, o atraso térmico independe da estação do ano. Variou de duração entre os dispositivos distintos, mas manteve o intervalo entre as estações para cada tipologia.

Tanto no verão quanto no outono e inverno, o atraso térmico variou entre duas a até três horas de diferença da ocorrência do valor de temperatura interna máxima entre as tipologias, porém adiantava em meia hora por estação: no verão o máximo da temperatura interna registrado ocorreu às 17:30 horas, no outono às 17:00 horas e no inverno às 16:30 horas, assim como a temperatura máxima externa: no verão às 15:30 horas, no outono às 15:00 horas e no inverno às 14:30 horas.

# Fachada Norte

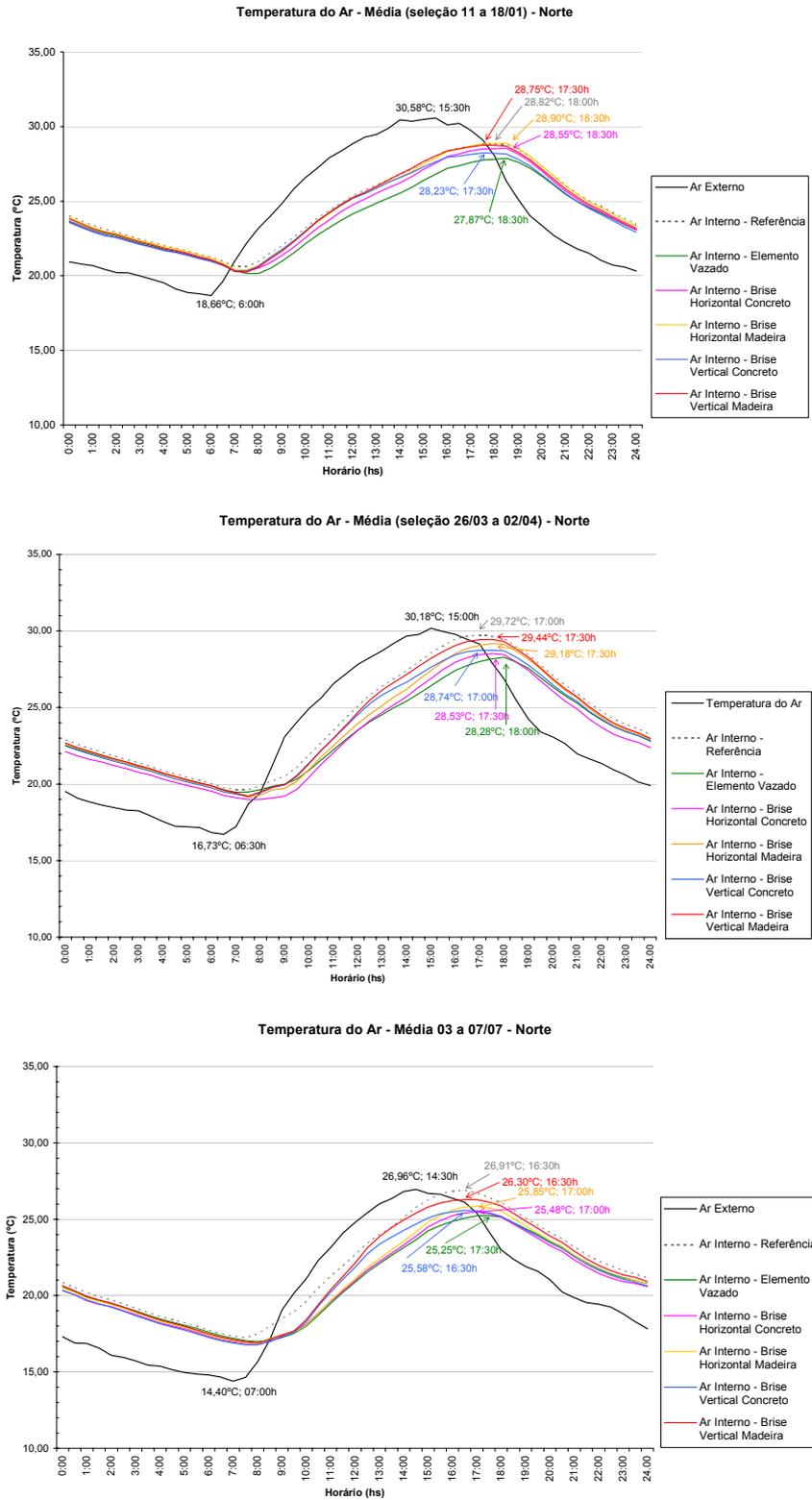


Fig. 5.85. Gráficos de temperatura do ar, aberturas situadas na fachada norte (verão, outono, inverno).

Fachada Oeste:

Na face oeste, a observação que mais se destaca é o pico das temperaturas máximas internas registradas no verão e outono. No verão esse pico é acentuado e agudo, ocorrendo no mesmo horário (17:30h) em todas as tipologias. No outono, o pico é acentuado, porém suave, durando um intervalo de 30 minutos aproximadamente, e há diferença nos horários de pico da temperatura máxima: às 17:00 horas para a referência, os brises verticais, e o horizontal de madeira, e às 17:30 horas para o brise-soleil horizontal de concreto e o elemento vazado.

No inverno não houve essa ocorrência, e a curva desse registro é semelhante à da fachada norte, em forma senoidal. O registro da temperatura máxima interna variou entre os protótipos em até uma hora: 16:30 horas na referência, 17:00 para os protótipos com brises-soleil verticais e horizontais, e às 17:30 para o elemento vazado.

Para essa fachada, o pico da temperatura máxima interna não está associado ao atraso térmico dos componentes construtivos, mas a perpendicularidade dos raios solares em relação à abertura. No outono e verão o pico registrado (17:00 e 17:30, respectivamente) é devido a incidência da radiação solar direta na superfície vertical. No inverno esse pico não ocorreu, embora houvesse incidência da radiação solar direta, sendo que as curvas das temperaturas internas máximas se distribuíram similarmente a forma registrada na fachada norte. Nesse caso, o fato poderia ser explicado pelo baixo ângulo de altura solar e menor intensidade da radiação, no horário em que ocorreu a temperatura interna máxima.

Ainda em relação à incidência dos raios solares perpendiculares a fachada, um outro aspecto que interferiu bastante foi a área de obstrução de cada tipologia. Enquanto os brises-soleil horizontal e vertical possuíam apenas duas placas com 0,025 de espessura na frente da superfície envidraçada, o elemento vazado possuía uma trama bastante grande, evidenciando uma relação díspar entre as áreas dessas tipologias. O protótipo com elemento vazado foi o único que registrou temperaturas internas máximas abaixo da externa máxima nessa orientação, no verão.

## Fachada Oeste

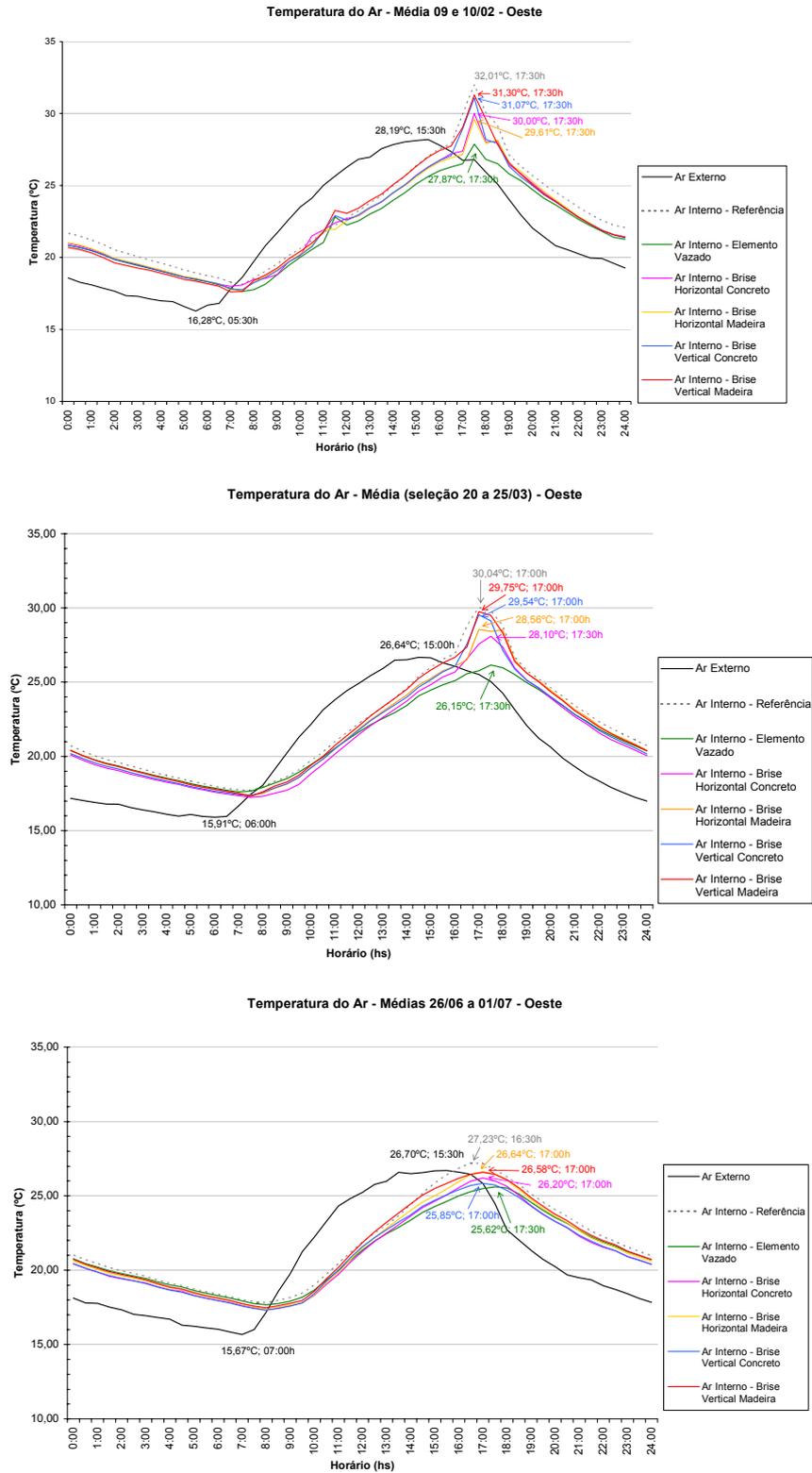


Fig. 5.86. Gráficos de temperatura do ar, aberturas situadas na fachada oeste (verão, outono, inverno).

## 5.2 Temperaturas Superficiais

Foram medidas as temperaturas superficiais de ambas as faces do dispositivo: a face que recebeu a incidência da insolação – superior (elemento vazado e brise-soleil horizontal), esquerda e direita<sup>40</sup> (brise-soleil vertical). Com relação à face oposta, para o elemento vazado e brise-soleil horizontal, a face inferior não recebeu incidência de radiação solar. No caso dos dispositivos verticais ambas as faces receberam insolação em situações distintas: quando posicionado na fachada norte, tanto a face esquerda quanto a direita receberam a mesma duração de insolação – até as 12:00h na esquerda, e após as 12:00h na direita. Já para a face oeste, existiram diferenças entre as estações: a situação diferenciada foi no verão quando a face direita do brise-soleil vertical também recebe insolação, já no outono e inverno não houve incidência de radiação solar nessa face do dispositivo.

*Verão - fachada norte: de 10 a 18 de janeiro:*

A característica mais marcante que apareceu nos gráficos das temperaturas superficiais foi a diferença do comportamento das tipologias horizontal e vertical.

Na fachada norte as placas verticais apresentaram dois picos, um mais elevado que o outro, sendo relativos à posição do sensor. A temperatura superficial mais alta ocorreu em função da face que recebeu a incidência da radiação solar direta em determinado período do dia: pela manhã registrada pelo sensor da face esquerda, e à tarde na face direita. No meio do dia, quando a incidência dos raios solares foi bastante oblíqua em relação à superfície vertical, foi registrada uma queda na temperatura superficial. O pico da face oposta à que recebeu insolação se deve à transmissão de calor pelo componente, sendo sempre menor que a face insolada.

---

<sup>40</sup> A localização dos sensores esquerda e direita da placa vertical, se refere a superfície esquerda e direita em relação ao observador olhando para a fachada externa do protótipo. No caso da orientação norte, a esquerda é a face voltada a leste, e direita voltada a oeste. Para a orientação oeste, esquerda está com a face voltada a norte, e direita com a face voltada a sul.

O elemento vazado e o brise-soleil horizontal de concreto não registraram picos acentuados, possuindo uma curva suave. A temperatura superficial mais elevada ocorreu meia hora após a máxima da temperatura do ar externo. O brise-soleil horizontal de madeira também apresentou uma curva suave, porém registrou um pico às 17:30 horas, distinguindo-se do outro elemento horizontal. Exceto por esse pico, as placas horizontais de concreto e madeira tiveram valores de temperatura bastante próximos.

No verão, as temperaturas superficiais dos dispositivos verticais foram maiores que as demais tipologias.

Outro aspecto que também significativo foi em relação ao material do dispositivo vertical. A madeira se aqueceu mais rápido e registrou temperaturas máximas superiores às do concreto. Também a diferença entre as temperaturas dos sensores à esquerda e direita da placa foi maior no caso da madeira, sendo a maior temperatura registrada no sensor da direita às 15:00 horas.

O elemento vazado foi o que apresentou as menores temperaturas superficiais, fato devido à maior massa desse material, bem como do sombreamento proporcionado pelo próprio elemento. A temperatura máxima registrada por essa tipologia foi levemente superior à máxima da temperatura do ar externo.

*Verão - fachada oeste: 09 e 10 de fevereiro:*

Assim como na face norte, na fachada oeste a característica mais marcante que apareceu nos gráficos das temperaturas superficiais foi a diferença entre as tipologias horizontal e vertical. Os dispositivos verticais formaram três picos distintos, sendo um mais acentuado que os demais. O primeiro pico, no caso do concreto é bastante discreto em relação ao de madeira, porém só ocorreu para essa tipologia.

Verão – Fachadas norte e oeste.

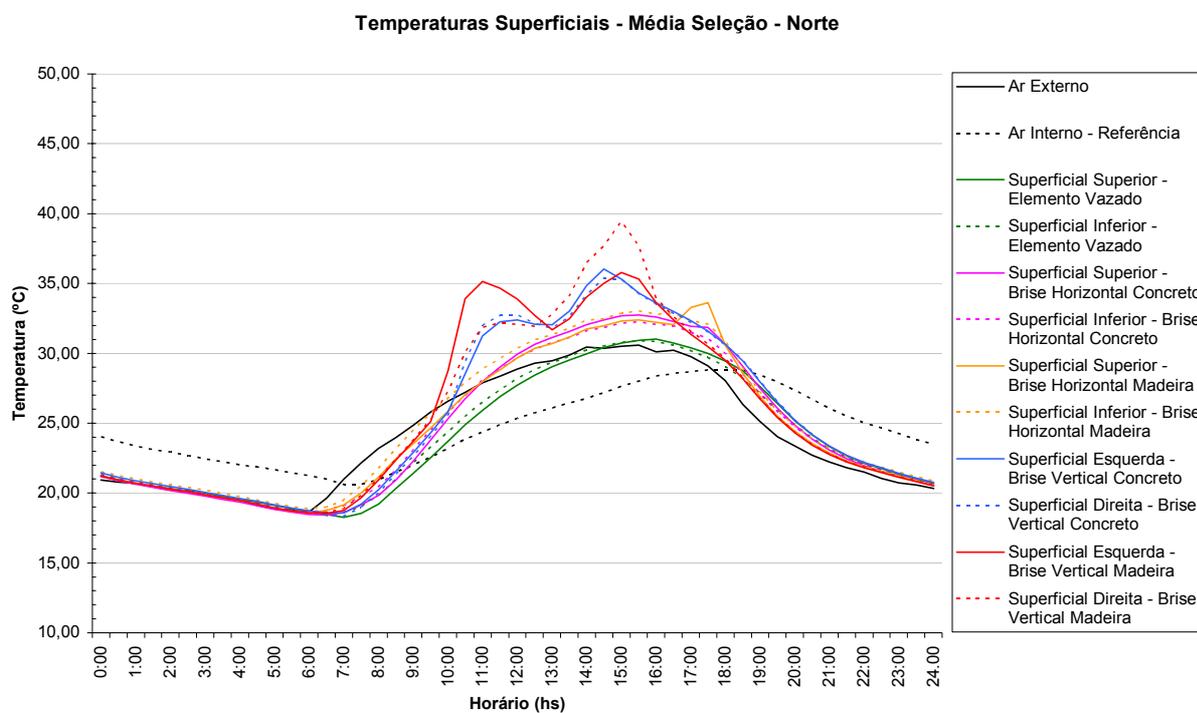


Fig. 5.87. Gráfico de temperaturas superficiais no período de 11 a 18/01 – fachada norte.

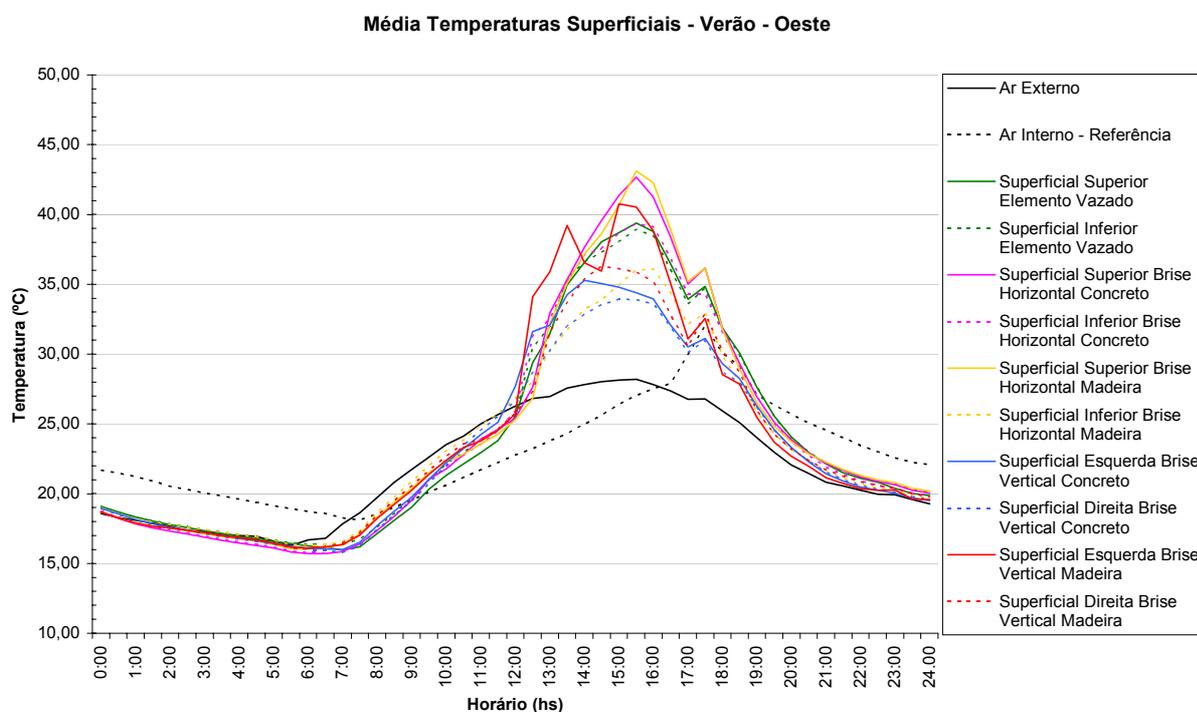


Fig. 5.88. Gráfico de temperaturas superficiais nos dias 09 e 10/02 – fachada oeste.

O elemento vazado e os dispositivos horizontais registraram apenas dois picos, porém mais elevados e acentuados que a ocorrência nas verticais. O mais significativo aconteceu no mesmo horário da temperatura máxima do ar externo, às 15:30 horas. E o último às 17:30 horas ocorreu ao mesmo tempo em que os sensores do ar interno dos protótipos registraram a temperatura interna mais elevada. Observa-se que a queda registrada às 17:00 horas, anterior a essa última elevação corresponde ao momento em que os raios solares estavam perpendiculares à fachada, atingindo a menor superfície exposta dos dispositivos.

Na fachada oeste as temperaturas superficiais mais elevadas pertencem à tipologia horizontal. Essa tipologia recebeu o sol mais alto nas superfícies superiores, que estava praticamente perpendicular ao ângulo de incidência dos raios solares nesses horários. Nessa orientação o material construtivo não foi tão significativo para as placas horizontais. Ocorreram diferenças maiores em relação à superfície superior e a inferior do que na face norte.

*Outono* - fachada oeste: de 18 a 25 de março:

No outono o perfil do comportamento das temperaturas superficiais dos dispositivos se alterou, não registrando mais vários picos ao longo do dia, apenas um pico, sendo mais acentuado para a tipologia horizontal.

Para os elementos verticais a curva foi mais suave, alterando sua inclinação, que a partir do meio dia tornou-se levemente acentuada, atingindo seu ápice às 14:30 horas com 33,86°C (madeira), e às 15:00 horas com 33,62°C (concreto).

No caso das placas horizontais, o pico foi bastante acentuado, sendo a temperatura superficial da madeira a mais elevada, com 36,60°C às 15:30 horas. A diferença entre esse pico e a temperatura do ar externo foi de 9,96°C.

Outono – Fachadas oeste e norte.

Temperaturas Superficiais - Médias Outono - Oeste

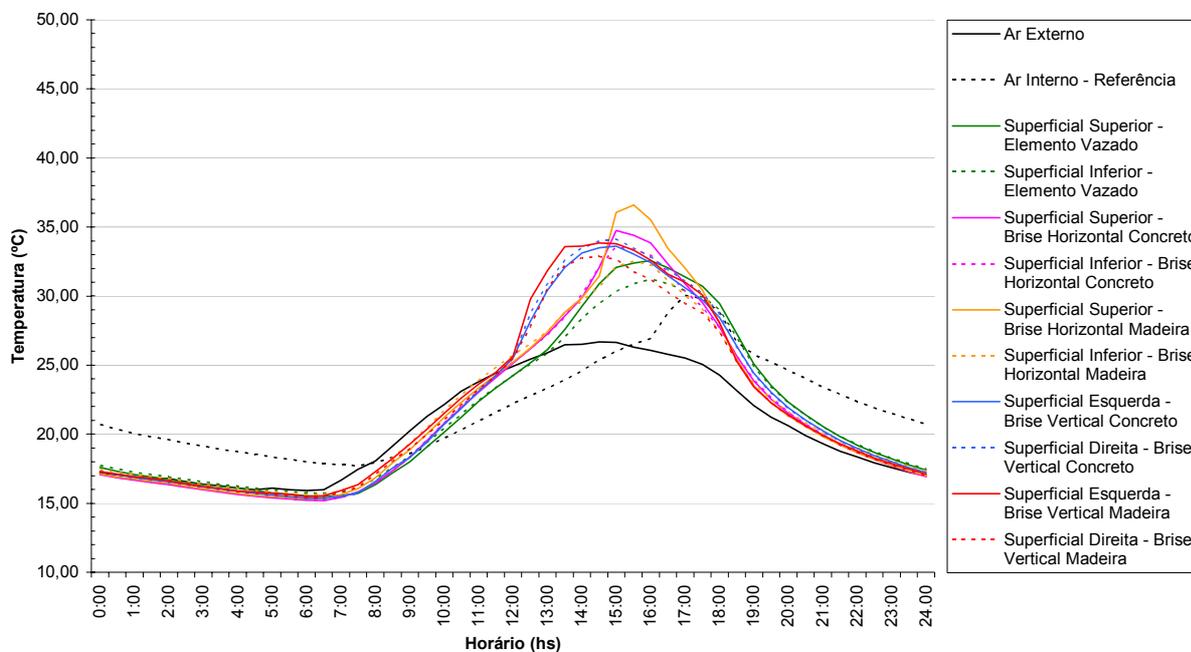


Fig. 5.89. Gráfico de temperaturas superficiais no período de 20 a 25/03 – fachada oeste.

Temperatura Superficial - Média Outono - Norte

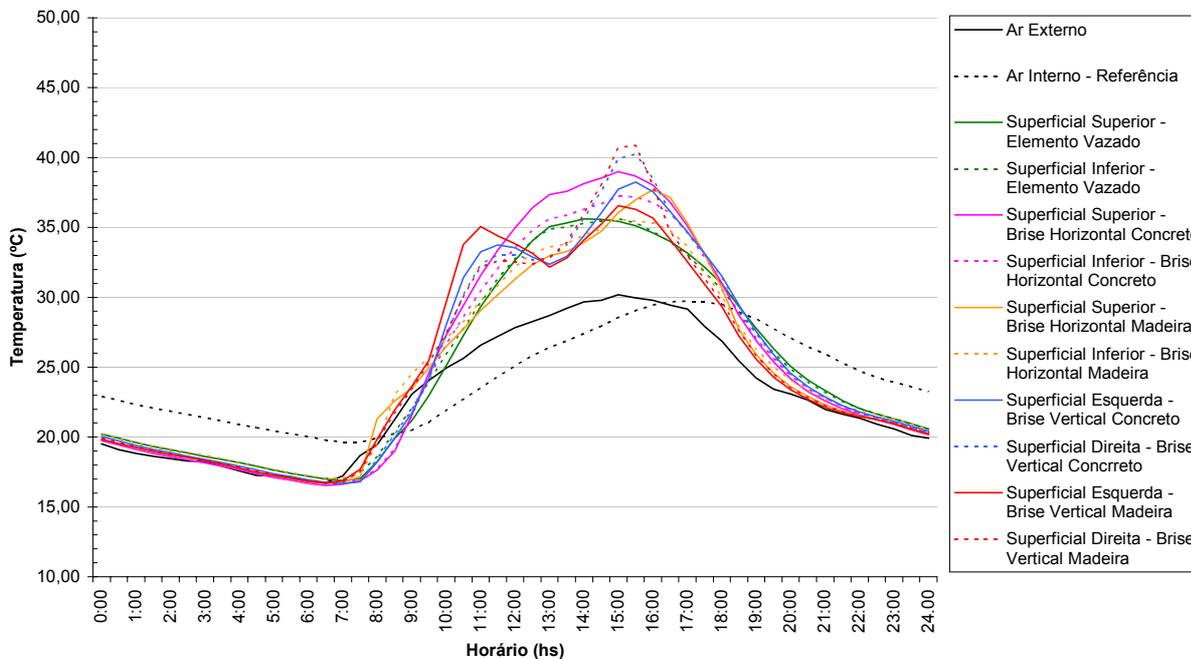


Fig. 5.90. Gráfico de temperaturas superficiais no período de 26/03 a 02/04 – fachada norte.

Embora os dispositivos horizontais ganhassem calor elevando sua temperatura superficial com valores semelhantes, as placas de concreto perderam calor mais rapidamente, possivelmente devido a sua alta condutividade térmica.

O elemento vazado registrou a menor temperatura superficial, sendo que para essa orientação foi notada uma diferença entre os valores das temperaturas das faces superior e inferior.

*Outono* - fachada norte: de 27 de março a 04 de abril:

Para essa estação, as placas verticais registraram apenas dois picos para as temperaturas superficiais.

Nas peças verticais, o valor máximo da temperatura superficial esquerda ocorrido pela manhã foi menor que a temperatura máxima das placas horizontais, e bastante próximo do pico registrado pelo elemento vazado, embora em horários distintos. Já a temperatura superficial direita do brise-soleil vertical, independente do material, foi superior às das demais tipologias.

*Inverno* - fachada oeste: de 26 de junho a 01 de julho:

Para essa orientação a influência do material construtivo dos dispositivos de proteção solar foi mais significativa que a sua tipologia. As peças de madeira registraram as maiores temperaturas superficiais, atingindo seu ápice antes da temperatura máxima do ar externo e das superficiais das demais tipologias. As peças de madeira foram as que demoraram mais para perder calor.

Os perfis das curvas foram bastante próximos até as 14:00 horas, quando nitidamente se notou a elevação acentuada das peças de madeira. Embora as outras

Inverno – Fachadas oeste e norte.

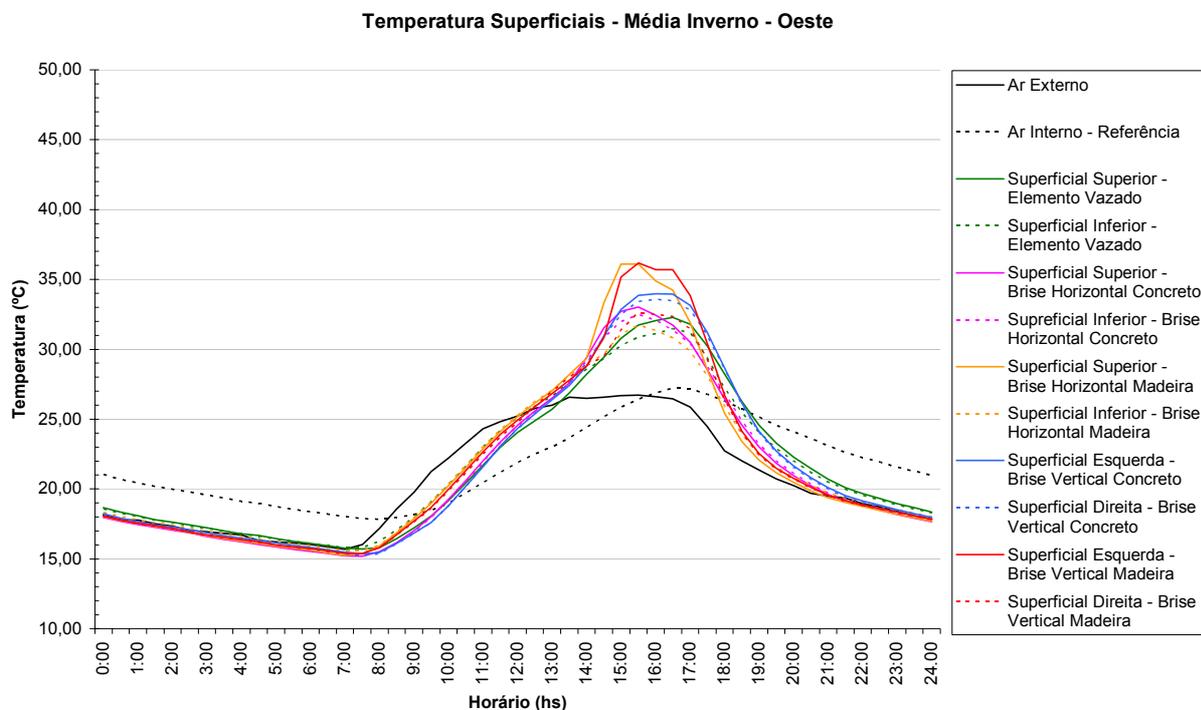


Fig. 5.91. Gráfico de temperaturas superficiais no período de 26/06 a 01/07 – fachada oeste.

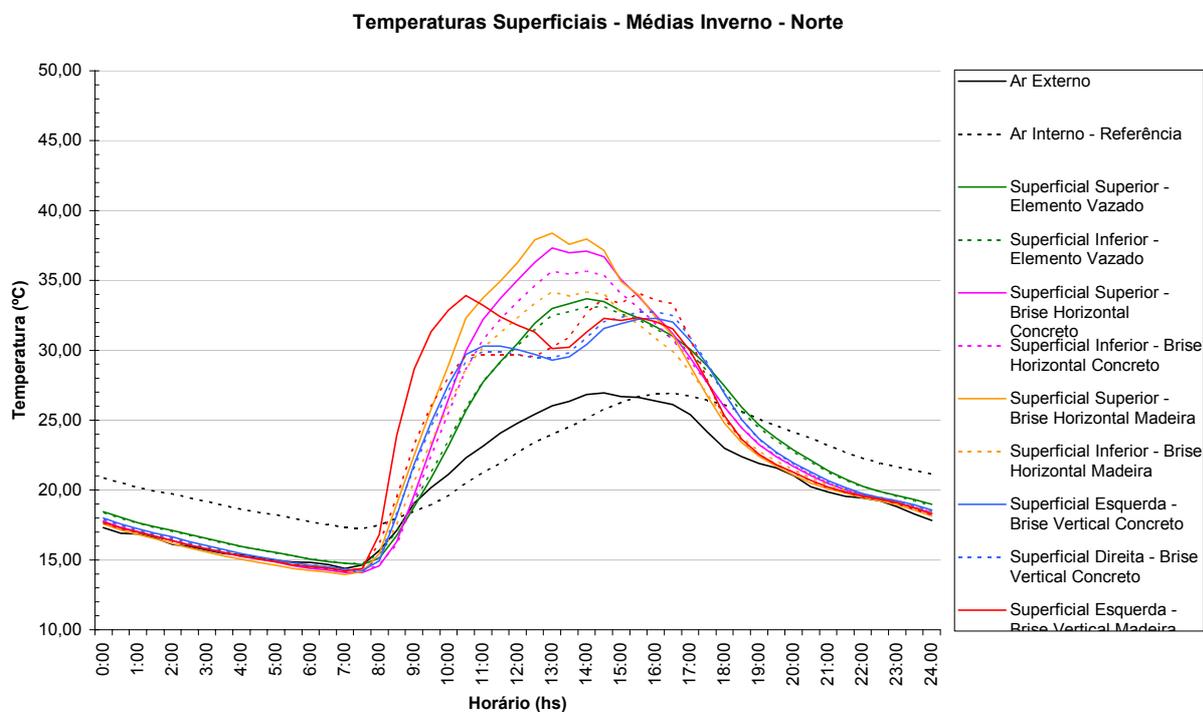


Fig. 5.92. Gráfico de temperaturas superficiais no período de 03 a 07/07 – fachada norte.

peças diferenciasssem seus valores, as curvas foram mais suaves que as de madeira. Após as 17:00 horas elas voltaram a ter comportamento semelhante, com valores das temperaturas superficiais próximos.

*Inverno* - fachada norte: de 03 a 07 de julho:

Assim como no outono, para essa estação as placas verticais registraram apenas dois picos para as temperaturas superficiais, entretanto não houve diferença expressiva nos valores de temperatura superficial máxima, seja na face esquerda ou direita. A diferença que se observou no comportamento dessa tipologia foi que no período da manhã os valores dos sensores à esquerda e direita das peças verticais possuíram diferenças maiores que no período da tarde.

Os maiores valores de temperaturas superficiais ocorreram nas placas horizontais, sendo que a temperatura superficial máxima foi registrada pelo brise-soleil horizontal de madeira, atingindo 37,95°C às 14:00 horas.

Observou-se também que as temperaturas registradas pelos sensores da face inferior das peças horizontais foram maiores que os valores do elemento vazado e das peças verticais.

#### *Comparação entre orientação e estação do ano*

Comparando as temperaturas superficiais com as temperaturas internas do protótipo de referência, observou-se que as superficiais, independente da orientação ou estação do ano, foram sempre maiores que a do ar interno.

Existiram diferenças significativas entre as duas orientações, bem como para as estações do ano. Para as temperaturas superficiais, a influência da tipologia e do material é bastante significativa na interação dos fatores (tipologia e material), fato confirmado pela análise estatística.

#### Fachada Norte:

Na fachada norte, as diferenças entre as tipologias foram mais representativas, tendo sido bastante expressivas as diferenças entre as temperaturas superficiais das placas horizontais e verticais. As placas verticais foram as peças que registraram as maiores temperaturas superficiais.

No outono foi observada uma diferença maior no horário de ocorrência da temperatura superficial máxima entre as diferentes tipologias, coisa que não foi tão evidente para o verão e inverno.

No inverno, o material assume maior importância independente da tipologia, registrando as temperaturas superficiais superiores mais elevadas.

O melhor e mais regular desempenho térmico foi o do elemento vazado.

#### Fachada Oeste:

A característica mais marcante na orientação oeste foi a grande diferença entre as tipologias vertical e horizontal. As placas verticais apresentaram dois picos distintos, um mais elevado que o outro, sendo que o maior correspondeu ao horário de incidência da radiação solar naquela face. Os valores registrados para a superfície direita foram maiores que a da esquerda, podendo ser explicado pelo fato de ocorrerem no período da tarde quando a placa já estava aquecida pela incidência na outra face e conseqüente transferência de calor através do elemento.

O elemento vazado possuiu comportamento próximo às placas verticais, sendo que registrou os menores valores de temperaturas superficiais.

Diferentemente da orientação norte, a oeste foram as placas horizontais que apresentam as temperaturas superficiais mais elevadas.

## Fachada Norte

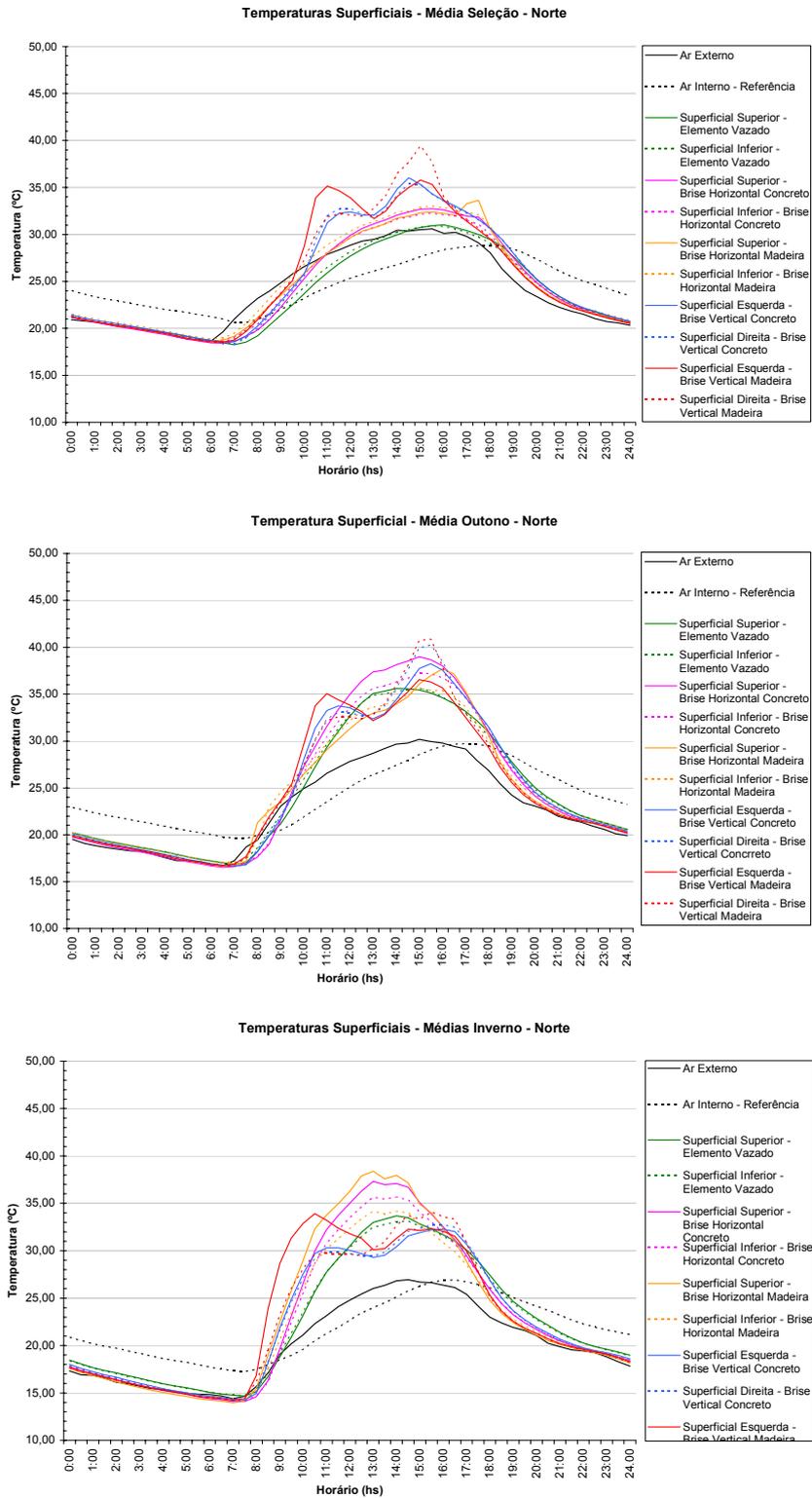


Fig. 5.93. Gráficos de temperaturas superficiais, aberturas situadas na fachada norte (verão, outono, inverno).

# Fachada Oeste

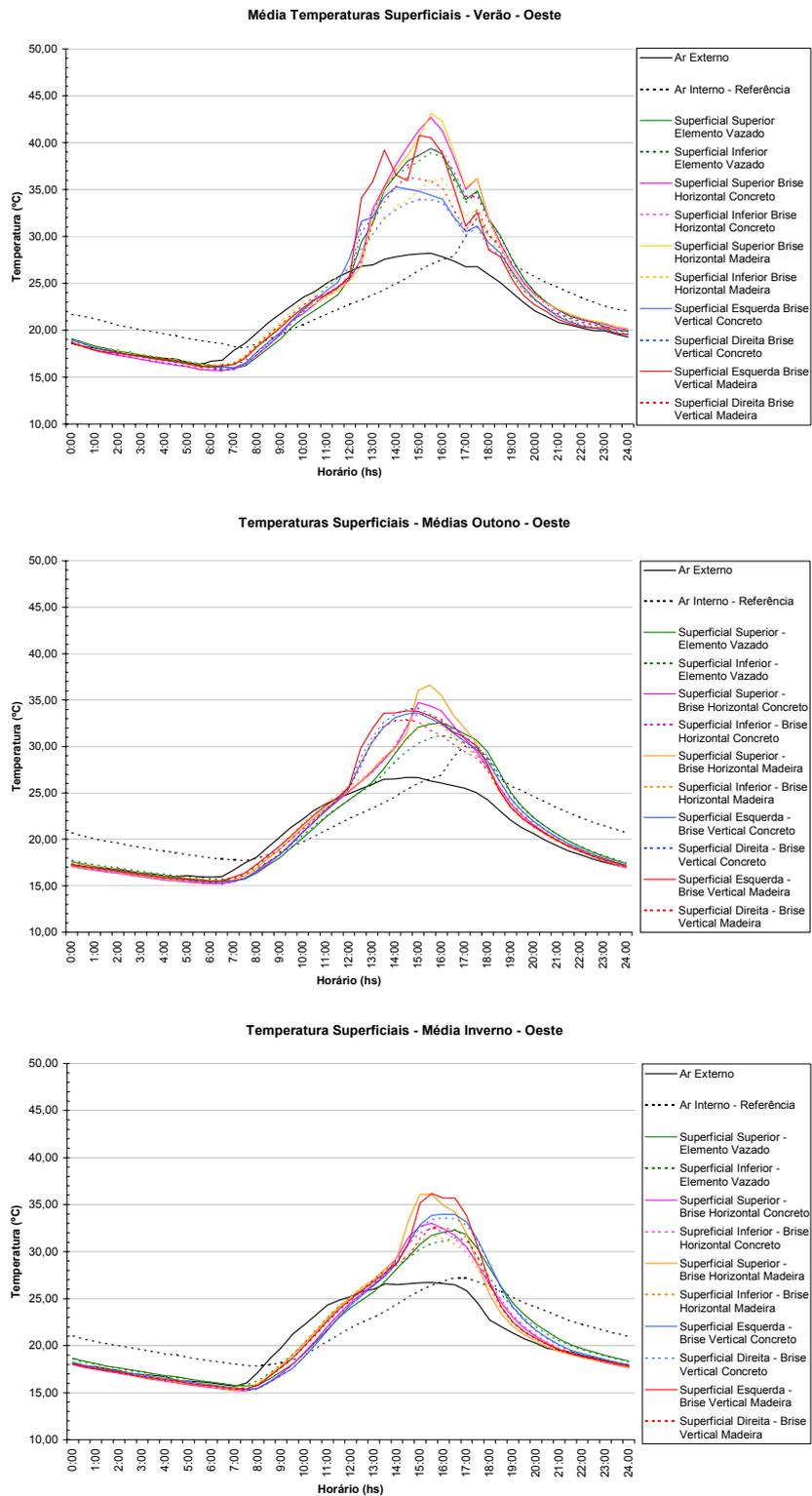


Fig. 5.94. Gráficos de temperaturas superficiais, aberturas situadas na fachada oeste (verão, outono, inverno).

Comparando os dados coletados entre os protótipos e entre as estações do ano, nota-se que o dispositivo que apresentou o pior desempenho foi o brise-soleil vertical de madeira, chegando a apresentar temperaturas semelhantes ao protótipo de referência (sem proteção). Os brises verticais fixos, madeira e concreto, apresentaram comportamento menos eficiente mesmo na fachada oeste, para a qual geralmente são recomendados nos livros de arquitetura brasileira. Nessa face, a tipologia vertical seria apropriada se as placas forem inclinadas ou móveis.

O atraso observado em relação as maiores temperaturas registradas do ar externo e interno, varia de 3,5 a 2 horas para o verão e inverno respectivamente. A diferença da temperatura externa em relação à interna, que é de 1,5°C, se anula no inverno na fachada norte. Para a fachada oeste o valor máximo da temperatura externa ficava sempre menor que a interna, sendo que no verão as diferenças registradas chegaram à 3,82°C e no inverno 0,53°C.

Notou-se que para a fachada norte, as diferenças entre os dispositivos foram menores que a oeste, porém a curva da temperatura do ar foi mais regular e não apresentou nenhum pico acentuado como no caso das fachadas oeste no verão e outono. No inverno, a fachada oeste não apresentou esse pico, aproximando-se do comportamento da fachada a norte.

No verão e equinócio, o protótipo que registrou as menores temperaturas do ar interno foi aquele com proteção do elemento vazado, porém no inverno, após o ocaso, as menores temperaturas foram as dos protótipos com dispositivos de concreto.

Outro aspecto que deve ser considerado é que embora o elemento vazado apresente desempenho térmico melhor que os demais dispositivos, essa tipologia reduz sensivelmente a quantidade de luz natural do ambiente interno, e também a visibilidade para o externo. Faz-se necessário também um estudo do nível de iluminação do ambiente para verificar sua eficiência em ambos os parâmetros.

### 5.3 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com auxílio do software SAS (*Statistical Analysis System*). A entrada de dados foi realizada da seguinte forma:

Unidades experimentais: 06 protótipos, denominados A, B, C, D, E, e F.

*Fatores (ou tratamento em ensaio):*

*Tipologia (T):*

quatro tipologias distintas

- horizontal (H);
- vertical (V);
- combinado (C);
- referência ou sem proteção (R).

*Material (M):*

três materiais em ensaio

- concreto (C) e vidro;
- madeira (M) e vidro;
- apenas vidro (V).

*Estação do ano (E):*

três estações:

- Verão – solstício de verão (V);
- Outono - equinócio (março) (O);
- Inverno - solstício de inverno (I).

*Orientação (O):*

duas orientações

- Norte (N);
- Oeste (O).

### *Repetições:*

A princípio, os dias seriam considerados como repetição, porém as condições ambientais embora semelhantes, não poderiam ser consideradas homogêneas (condição essencial para um delineamento inteiramente aleatorizado - DIA). Dessa forma optou-se por considerar os dias como blocos, configurando um delineamento aleatorizado em bloco (DAB), assegurando o controle do local. Mesmo assim, ainda foi efetuada uma seleção dos dias com o objetivo de aumentar a precisão, evitando os desvios verificados nos gráficos de temperatura do ar e radiação.

$$\text{Modelo matemático: } y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

onde:

$y_{ij}$  – valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$  e se encontra no bloco  $j$ ;

$\mu$  - média da população, sem considerar o efeito do tratamento;

$t_i$  – efeito devido ao  $i$ -ésimo tratamento, que foi aplicado na parcela;

$b_j$  – efeito devido ao bloco  $j$ , em que se encontra a parcela;

$e_{ij}$  – efeito devido aos fatores não controlados, na parcela.

O erro experimental máximo admitido foi  $\alpha$  de 5%, devido aos fatores não controlados. Ou seja, a precisão de resultados obtidos foi acima de 95%.

### *Variáveis*

Foram selecionadas três variáveis para análise estatística, sendo:

- temperatura do ar (ambiente interno);
- temperatura superficial do elemento (superior ou esquerda);
- temperatura superficial do elemento (inferior ou direita).

No caso do protótipo D (controle ou referência), não existiu dispositivo de sombreamento instalado, sendo assim, os dados em análise foram as temperaturas superficiais externa e interna do vidro, além da temperatura do ar interno.

As comparações foram simuladas para cada horário, os dias como repetição, e todos os fatores comparados entre si e em combinação de fatores. Como resultado foi possível estabelecer comparações entre as fontes de variação.

A comparação entre tipologias considerou quatro níveis: brise-soleil horizontal (H), brise-soleil vertical (V), elemento vazado ou brise-soleil combinado (C), e o protótipo sem proteção (R). Foram analisadas as relações entre os protótipos com proteção, e também em relação à referência, comparando as três variáveis em análise: temperatura do ar interno, e temperaturas superficiais superior (esq.) e inferior (dir.)<sup>41</sup>.

Da mesma maneira, foram analisadas as relações entre os materiais, sendo dois relativos aos dispositivos propriamente (concreto e madeira), e mais um, o vidro, do protótipo sem proteção (referência).

Também foi analisada a influência de cada estação do ano e a variação entre elas. Foram três as estações monitoradas: verão (V), outono (O) e inverno (I).

E por fim, as duas orientações simuladas: norte (N) e oeste (O), estabelecendo comparações entre ambas.

Além dessas comparações foram analisadas as interações entre os fatores: considerando comparações duplas (tipologia x material; tipologia x estação; tipologia x orientação; material x estação; material x orientação; e estação x orientação); triplas (tipologia x material x estação; tipologia x material x orientação; tipologia x estação x orientação; e material x estação x orientação); e quádruplas (tipologia x material x estação x orientação), para cada variável: temperatura do ar interno, temperaturas superficiais superior ou esquerda e temperaturas superficiais inferior ou direita.

Para facilitar a análise dos resultados estatísticos, as interações foram apresentadas em quadros para cada variável, considerando:

		Fatores			
		T	M	E	O
Fatores	T	T	TM	TE	TO
	M	-	M	ME	MO
	E	-	-	E	EO
	O	-	-	-	O

Quadro 5.5. Comparações simples e duplas.

		Fatores			
		T	M	E	O
Fatores	TM	-	-	TME	TMO
	TE	-	-	-	TEO
	TO	-	-	-	-
	ME	-	-	-	MEO
	MO	-	-	-	-
	EO	-	-	-	-
	TME	-	-	-	TMEO
	TMO	-	-	-	-

Quadro 5.6. Comparações triplas e quádruplas.

Para resultados com  $\alpha$  (erro experimental máximo) de 5%, o programa SAS identificou como interações significativas entre os fatores, ou seja, como variáveis interdependentes.

A seguir, as interações significativas para cada variável simulada.

*Variável: Temperatura do ar no ambiente interno dos protótipos (V1):*

As interações mais significativas foram estabelecidas entre as estações do ano, confirmando os efeitos da sazonalidade sobre os parâmetros monitorados, identificando relações para a totalidade dos horários dos dados coletados.

<sup>41</sup> Para a placa horizontal e para o elemento vazado, os sensores foram posicionados na face superior e inferior da peça. Na placa vertical, o sensor foi posicionado na superfície esquerda ou direita da peça em relação ao observador olhando para a fachada.

### Interações entre os fatores: Temperatura Interna

Fator Hora	T	M	T x M	E	T x E	M x E	T x M x E	O	T x O	M x O	T x M x O	E x O	T x E x O	M x E x O	T x M x E x O
0:30				X				X				X			
1:00				X				X				X			
1:30				X				X				X			
2:00				X				X				X			
2:30				X				X				X			
3:00				X				X				X			
3:30				X				X				X			
4:00				X				X				X			
4:30				X				X				X			
5:00				X				X				X			
5:30				X				X				X			
6:00				X				X				X			
6:30				X				X				X			
7:00				X				X				X			
7:30				X				X				X			
8:00				X				X				X			
8:30				X				X				X			
9:00				X				X				X			
9:30				X				X				X			
10:00				X				X				X			
10:30				X				X				X			
11:00				X				X				X			
11:30	X			X				X				X			
12:00	X			X				X				X			
12:30	X			X				X				X			
13:00	X			X				X				X			
13:30	X			X				X				X			
14:00	X	X		X				X				X			
14:30	X	X		X				X				X			
15:00	X	X		X				X				X			
15:30	X	X		X				X				X			
16:00	X	X		X				X				X			
16:30				X				X				X			
17:00	X			X											
17:30	X			X				X							
18:00		X		X											
18:30				X				X				X			
19:00		X		X				X				X			
19:30		X		X				X				X			
20:00				X				X				X			
20:30				X				X				X			
21:00				X				X				X			
21:30				X				X				X			
22:00				X				X				X			
22:30				X				X				X			
23:00				X				X				X			
23:30				X				X				X			
24:00				X				X				X			
<b>Total</b>	12	8	0	48	0	0	0	46	0	0	0	45	0	0	0

Quadro 5.7. Interação entre os fatores para as temperaturas internas dos protótipos.

Não menos expressivas foram as interações entre as orientações das fachadas, indicando 46 casos em 48 possibilidades. A interação entre estação e orientação também foi extremamente importante, com 45 casos em 48.

Outras interações que foram apontadas pela análise foram em relação à tipologia do dispositivo e ao material construtivo, evidenciando diferenças observadas no comportamento dos dados coletados.

Comparando esses resultados para a tipologia com os gráficos das temperaturas médias do ar interno dos protótipos e com os dados das variáveis ambientais, bem como os horários em que foram registradas interações entre as tipologias (das 11:30 até às 17:30 horas), notou-se a interferência da incidência da radiação solar sobre os dispositivos e a resposta diferenciada de cada tipologia, confirmando as observações descritas na análise dos dados.

No caso dos materiais, a interferência foi um pouco menor do que a tipologia, e percebe-se que apareceram no período da tarde entre as 14:00 até as 19:30, indicando a inércia e atraso térmico em função do material.

#### *Variável: Temperaturas Superficiais:*

Diferentemente da temperatura interna dos protótipos, as temperaturas superficiais indicaram que há outros fatores que interferiram no seu comportamento.

#### *- Temperatura Superficial Superior ou Esquerda (V2)*

As interferências mais significativas foram a estação do ano (43 casos), a orientação (45 casos) e a interação de ambas estação e orientação (47 casos). Para essa variável a orientação foi mais significativa que a própria diferença entre as estações do clima, informação que reforçou as observações geradas na análise dos gráficos.

Entretanto, como havia sido notado anteriormente, também a análise estatística apontou para as interações entre tipologias (16 casos); material (10 casos); na relação da tipologia x estação (8 casos); em menor escala, na relação do material x estação (3 casos); na relação tipologia x orientação (11 casos); em menor escala, do material x orientação (3 casos); relação tripla tipologia x estação x orientação (11 casos); e em menor escala, material x estação x orientação (3 casos).

No caso dos materiais, os horários de ocorrência das interações apontaram para algo que não aparece com clareza nos gráficos das médias das temperaturas superficiais superior ou esquerda: de acordo com os horários de ocorrência – início da manhã e ao anoitecer, dando indícios que a inércia térmica dos materiais é mais significativa no início do processo de aquecimento pela radiação solar, e também na perda de calor ao final do dia. Nas interações em que o material foi um dos fatores, há uma menor incidência, porém se manifestou principalmente no início da manhã.

A influência da tipologia nos resultados monitorados foi mais significativa que o material, apontando um número maior de ocorrências, não somente entre os dispositivos, mas na interação entre outros fatores, como estação, orientação, e estação x orientação. Em todas essas situações as alterações se concentraram nos horários do intervalo das 8:30 até as 16:00 horas.

Não houveram interações interdependentes entre tipologia x material; tipologia x material x estação; tipologia x material x orientação; ou tipologia x material x estação x orientação. Com esses resultados, notou-se que a relação dos materiais para essa variável só foi significativa se analisada entre eles, não influenciando os demais aspectos.

- Temperatura Superficial Inferior ou Direita (V3)

As interferências mais significativas foram a estação do ano (48 casos), a orientação (41 casos) e a interação de ambas estação e orientação (46 casos). Para essa variável a estação do ano foi mais significativa que a orientação da fachada, informação que reforçou as observações geradas na análise dos gráficos.

**Interações entre os fatores: Temperatura Superficial Superior / Esquerda**

Fator Hora	T	M	TxM	E	TxE	MxE	TxMxE	O	TxO	MxO	TxMxO	ExO	TxExO	MxExO	TxMxExO
0:30				X				X				X			
1:00				X				X				X			
1:30				X				X				X			
2:00				X				X				X			
2:30				X				X				X			
3:00				X				X				X			
3:30				X				X				X			
4:00				X				X				X			
4:30				X				X				X			
5:00				X				X				X			
5:30				X				X				X			
6:00				X				X				X			
6:30				X				X				X			
7:00				X				X				X			
7:30				X				X				X			
8:00		X		X				X				X			
8:30	X	X		X				X		X			X		
9:00	X	X		X	X	X		X	X	X		X	X	X	
9:30	X	X		X		X		X	X	X		X	X	X	
10:00	X	X				X		X	X			X			
10:30	X	X						X	X			X			
11:00	X							X	X			X			
11:30	X			X	X			X				X	X		
12:00	X			X	X			X				X	X		
12:30	X				X			X	X			X		X	
13:00	X				X			X	X			X	X		
13:30	X			X	X			X	X			X	X		
14:00	X			X	X			X				X	X		
14:30	X			X	X							X	X		
15:00	X			X				X	X			X	X		
15:30	X			X				X	X			X	X		
16:00	X			X				X	X			X			
16:30				X				X				X			
17:00				X								X			
17:30				X				X				X			
18:00				X								X			
18:30		X		X								X			
19:00		X		X				X				X			
19:30		X		X				X				X			
20:00		X		X				X				X			
20:30				X				X				X			
21:00				X				X				X			
21:30				X				X				X			
22:00				X				X				X			
22:30				X				X				X			
23:00				X				X				X			
23:30				X				X				X			
24:00				X				X				X			
<b>Total</b>	16	10	0	43	8	3	0	45	11	3	0	47	11	3	0

Quadro 5.8. Interação entre fatores para temperaturas superficiais superiores ou esquerda dos dispositivos.

**Interações entre os fatores: Temperatura Superficial Inferior / Direita**

Fator Hora	T	M	T x M	E	T x E	M x E	T x M x E	O	T x O	M x O	T x M x O	E x O	T x E x O	M x E x O	T x M x E x O
0:30				X				X				X			
1:00				X				X				X			
1:30				X				X				X			
2:00				X				X				X			
2:30				X				X				X			
3:00				X				X				X			
3:30				X				X				X			
4:00				X				X				X			
4:30				X				X				X			
5:00				X				X				X			
5:30				X				X				X			
6:00				X				X				X			
6:30				X				X				X			
7:00				X				X				X			
7:30				X				X				X			
8:00		X		X				X				X			
8:30		X		X				X				X			
9:00		X		X				X				X	X		
9:30		X		X				X				X	X		
10:00		X		X				X	X			X	X		
10:30	X	X		X				X	X			X			
11:00				X				X	X			X			
11:30				X				X				X	X		
12:00				X	X			X				X	X		
12:30				X	X			X	X			X			X
13:00			X	X	X			X	X			X	X		X
13:30			X	X	X			X	X			X	X		X
14:00			X	X	X			X				X	X		X
14:30	X			X				X				X	X		
15:00	X		X	X								X	X		X
15:30	X		X	X								X			
16:00				X								X			
16:30				X								X			
17:00				X								X			
17:30				X				X				X			
18:00		X		X											
18:30		X		X								X			
19:00		X		X				X				X			
19:30		X		X				X				X			
20:00				X				X				X			
20:30				X				X				X			
21:00				X				X				X			
21:30				X				X				X			
22:00				X				X				X			
22:30				X				X				X			
23:00				X				X				X			
23:30				X				X				X			
24:00				X				X				X			
<b>Total</b>	4	10	5	48	5	0	0	41	6	0	0	46	10	0	5

Quadro 5.9. Interação entre fatores para temperaturas superficiais inferiores ou direita dos dispositivos.

Embora a ocorrência de interações seja menor que para a variável anterior, essas interações se distribuem entre várias relações entre fatores: tipologia (4 casos); material (10 casos); tipologia x material (5 casos); tipologia x estação (5 casos); tipologia x orientação (6 casos); tipologia x estação x orientação (10 casos); e tipologia x material x estação x orientação (5 casos).

Conforme foi observado, a relação de interdependência da orientação com a tipologia e mais algum fator foi significativa para essa variável.

Confirmando a análise dos gráficos, o material do dispositivo foi mais importante para essa variável, principalmente para os dispositivos horizontais e o combinado, a face inferior depende diretamente da capacidade térmica do material construtivo.

Para os verticais, esse dado não foi tão expressivo, pois recebem insolação em ambas as faces em períodos distintos do dia.

O quadro a seguir ilustra os resultados da interação entre fatores obtidos pela análise estatística para as três variáveis em estudo.

Fator	T	M	T x M	E	T x E	M x E	T x M x E	O	T x O	M x O	T x M x O	E x O	T x E x O	M x E x O	T x M x E x O
<b>V1</b>	12	8	-	48	-	-	-	46	-	-	-	45	-	-	-
<b>V2</b>	16	10	-	43	8	3	-	45	11	3	-	47	11	3	-
<b>V3</b>	4	10	5	48	5	-	-	41	6	-	-	46	10	-	5

Quadro 5.10. Comparação entre os resultados da interação entre fatores para cada variável analisada. V1 – Temperatura do Ar Interno dos Protótipos; V2 – Temperatura Superficial Superior ou Esquerda; e V3 – Temperatura Superficial Inferior ou Direita.

#### **5.4. Considerações finais**

No decorrer deste trabalho, entre as informações analisadas na revisão bibliográfica e comparação com os métodos gráficos, foram considerados alguns aspectos sobre os dispositivos de sombreamento, que somados a investigação experimental podem contribuir na análise do desempenho dos diferentes dispositivos testados.

As recomendações existentes em livros de arquitetura brasileira pesquisadas na revisão bibliográfica, divulgam diretrizes muito genéricas para o projeto de brise-soleil. Não incluem a influência da latitude, e necessidade ou não de mobilidade ou inclinação das placas.

Na comparação das máscaras de sombra, verificou-se que tanto a leste como a oeste, a tipologia vertical deve ser móvel ou inclinada para ter uma resposta melhor na redução da temperatura interna. Placas perpendiculares e fixas não oferecem proteção total, e seu desempenho fica próximo ao vidro sem proteção, conforme os resultados obtidos expressaram.

Embora o brise-soleil vertical tenha apresentado os piores resultados, essa tipologia facilita a circulação do ar, e a conseqüente perda de calor do dispositivo, por diferença de temperatura, tanto a norte como a oeste.

Diferentes dispositivos de mesmo material construtivo que possuam máscaras de sombra iguais, não resultam necessariamente na mesma eficiência: dependendo da área de obstrução em relação à superfície transparente e o percentual que representam nessa relação, a interferência será diferenciada nos resultados da temperatura máxima interna, bem como no atraso térmico do componente, principalmente para a fachada oeste. Essa relação não aparece nos estudos de geometria de insolação, mesmo quando se acopla o nomograma de radiação.

Com relação a tipologia de brise-soleil combinado, que obteve os melhores resultados, algumas observações precisam ser consideradas. Este elemento proporcionou um sombreamento maior que as demais, pois possui maior área de trama posicionada na frente da superfície envidraçada. Além de reduzir a transmissão, aumenta a inércia térmica do sistema e conseqüentemente, o atraso térmico. Porém, reduz muito a luz natural no ambiente, e interfere significativamente na visibilidade para o exterior. Outro problema desse elemento é o contraste de luz e sombra, gerado pela trama. É possível que outra tipologia combinada formada por placas nos limites da superfície transparente resolva com mais propriedade os aspectos negativos supracitados, porém irá resultar em incidência direta dos raios normais à fachada quando posicionada na face oeste.

Nas edificações residenciais do modernismo brasileiro entre os anos 30 e 60, era comum a utilização da trama do elemento vazado em ambientes que não tinham uma exigência grande de visibilidade externa. Entretanto, em edifícios de escritório que possuem tramas em painéis, na sua maioria, os arquitetos utilizaram tramas mais finas e fechadas, ou aumentaram as áreas de vazio gerando uma trama mais aberta. Porém, essa escolha do dispositivo considerando a atividade do ambiente interno, assim como o conhecimento e aplicação da geometria de insolação, se perderam.

## 6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa contribui para a discussão dos limites dos métodos gráficos, para o projeto de dispositivos de sombreamento demonstrando a necessidade de considerar, além da latitude e orientação da fachada, outros aspectos como as relações entre tipologias e características físicas dos materiais construtivos.

Nos testes realizados em protótipos sob condições climáticas reais, os resultados obtidos confirmam a grande influência da orientação das aberturas no comportamento térmico do ambiente.

Em relação à orientação da fachada, foram observados melhores resultados à norte devido ao material do dispositivo, e à oeste em função da tipologia.

O dispositivo com a melhor eficiência térmica foi o elemento vazado. Esse resultado era esperado, considerando a máscara de sombra mais abrangente gerada por essa tipologia. Entre as outras duas tipologias em ensaio, o melhor comportamento foi do brise-soleil horizontal. Seu comportamento demonstrou regularidade em ambas fachadas e estações do ano.

A tipologia horizontal apresentou bons resultados para o oeste, sendo melhores que a vertical, geralmente recomendada para essa orientação nos livros de projeto de arquitetura.

Na fachada norte, a tipologia vertical se mostrou importante, barrando os raios do início e final do dia, quando o sol está mais baixo no horizonte e a incidência da radiação direta é mais representativa no plano vertical do que para o horizontal.

Para ambos os parâmetros, temperatura interna e superficial, o fator que tem maior influência é a orientação da fachada e estação do ano. Com relação à temperatura interna dos protótipos, durante o dia a tipologia e material se destacam, sendo significativas entre 11:30 e 17:30, e das 14:00 às 19:30, respectivamente. Para as temperaturas superficiais, a tipologia passa a ser significativa durante o período de insolação, seguida pelo material construtivo do elemento, embora este se destaque no início da manhã e no final da tarde.

Verificou-se a existência de diferenças no aporte de calor solar entre distintas tipologias de dispositivos de proteção solar de mesmo material construtivo. Os resultados também mostraram diferenças entre tipologias idênticas e mesma máscara de sombra, mas com materiais construtivos distintos, madeira e concreto.

Era esperado um comportamento mais eficiente da madeira em relação ao concreto, devido a sua menor condutividade térmica. Entretanto, esse resultado não se confirmou nas medições, pois o concreto obteve um desempenho superior à madeira.

Há a possibilidade dos dados coletados terem registrado a influência da umidade presente no material construtivo do dispositivo, considerando que a madeira é um material higroscópico e que a umidade relativa do ar é elevada, principalmente no verão, no local onde ocorreram os ensaios.

Em relação às placas, no verão, os resultados para as temperaturas internas indicam a possibilidade de o material dos dispositivos ser responsável pelo maior amortecimento térmico. Entretanto, os mesmos apontam que a tipologia possivelmente influenciou mais o resultado do atraso térmico.

A influência da tipologia nos resultados monitorados foi mais significativa que o material, apontando um número maior de ocorrências, não somente entre os dispositivos, mas na interação entre outros fatores, como estação, orientação, e estação x orientação. Esse resultado confirma a importância da geometria de insolação, ferramenta adequada à definição da tipologia.

No caso dos materiais, a interferência foi um pouco menor do que a tipologia, e concentrou-se no período da tarde.

Para a tipologia, o aspecto mais importante a ser considerado na sua definição é o ângulo de altura solar. Entretanto, esta influencia também na absorção de calor pelo elemento, pois o ângulo de incidência da radiação solar direta no dispositivo definirá a relação absorvância/refletância.

Com relação ao material, a relação absorvância/refletância (depende do acabamento superficial) e suas características termo-físicas (inerentes ao material) influenciam o desempenho térmico.

São poucas as pesquisas que consideram a influência do material construtivo no desempenho do dispositivo de sombreamento. Geralmente a abordagem se limita ao estudo da orientação e tipologia desses elementos.

A interação entre a estação do ano e orientação da fachada é importante para os parâmetros monitorados, temperatura interna e superficial.

As interações entre orientação, estação, tipologia e material construtivo também se confirmam nos dados estatísticos. Para esses parâmetros a estação do ano altera bastante os valores registrados, mas não é significativa na relação do perfil de comportamento das curvas de temperaturas ao longo do dia.

Observou-se a influência da área de obstrução do dispositivo em relação à abertura, indicando que mesmas máscaras de sombra provenientes de dispositivos com

áreas de obstrução distintas não resultaram em mesmo desempenho térmico, havendo interferência nos dados da temperatura máxima interna, bem como no atraso térmico do componente, principalmente para a fachada oeste.

É necessário um estudo mais detalhado acerca das eficiências parciais, explicitando percentuais de proteção. Nos resultados obtidos, além do percentual de área sombreada, há uma interferência relativa à proporção entre as áreas do dispositivo e da superfície transparente.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Normalização em Conforto Ambiental, Projeto de norma nº.02:135.07-002 – **Desempenho térmico de edificações**– parte 1: Definições, símbolos e unidades, e – parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. ABNT, 1998.

ALBERNAZ, M. P.; LIMA, C. M. *Dicionário Ilustrado de Arquitetura*. São Paulo: Pro Editores, 2000.

AROSZTEGUI, J. M. **Cuantificacion del impacto de las sombras de los edificios**. In.: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. 1995, Gramado. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 1995. p. 341-346.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE - handbook of fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 2001.

ATEM, C. G. **Apropriação e eficiência dos dispositivos de proteção solar utilizados na arquitetura moderna: o caso de Londrina PR**. São Carlos SP, 2003. Dissertação de mestrado EESC USP.

ATEM, C. G.; BASSO, A. **Uma metodologia de avaliação da necessidade de proteção solar para edificações da cidade de Londrina, PR**. São Paulo, SP. 2004. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído.

BAKER, G. **Le Corbusier – uma análise da forma**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

BANHAM, R. **La arquitectura del entorno bien climatizado**. Buenos Aires: Infinito, 1975.

BARDOU, P; ARZOUMANIAN, V. **Sol y arquitectura**. Barcelona: Gustavo Gilli, 1980.

- BEHLING, S. **Sol power**. Munich: Prestel, 1996.
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares – diretrizes para arquitetos**. Maceió: Edufal, 1996.
- BRUAND, Y. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2002.
- BONDUKI, N. **Afonso Eduardo Reidy**. Lisboa: Blau, 2000.
- CARAM, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações**. Campinas SP, 1998. Tese de doutorado, UNICAMP.
- CAVALCANTI, Lauro. **Quando o Brasil era moderno: guia de arquitetura 1928-1960**. Rio de Janeiro: Aeroplano, 2001.
- CAVALLERO E SILVA, A. ; MALATO, J. J. **Geometria de insolação dos edifícios**. Lisboa: Lab. Nacional de Engenharia Civil, 1969.
- CHING, D. K. **Dicionário visual de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1998. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1998.
- CONDURU, R. **Vital Brazil**. São Paulo: Cosac & Naify, 2000.
- CORBELLA, O.; CASTANHEIRA, R. G. **Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°**. In Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: ANTAC, 2001.
- CORONA, E.; LEMOS, C. A. C. **Dicionário da arquitetura brasileira**. São Paulo: Edart, 1972.
- CROISSET, M. **Humedad y temperatura en los edificios**. Barcelona: Ed. Técnicos, 1976.
- DATTA, G. **Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation**. Renewable Energy 23, 2001, 497-507.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal process**. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- DUTRA, L. **Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas**. Florianópolis, 1994. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

EDMONDS, I. R.; GREENUP, P. J. **Daylighting in tropics**. In Solar energy, v 73, n 2, pp. 11-121. London: Elsevier, 2002.

FANGER, P. O. **Thermal comfort, analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1972.

FATHY, H. **Natural energy and vernacular architecture**. Chicago: University of Chicago, 1986.

FONSECA, M. R. **Desenho solar**. São Paulo: Projeto, 1983.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, A. B, SCHIFFER, S. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Nobel, 1987.

GERBI, A. **O novo mundo: história de uma polêmica (1750-1900)**. São Paulo: Cia das Letras, 1996. (apud SEGAWA, 2001).

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied, 1981.

----- **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

GÓES, C. A. O. **Cálculo de radiação solar sobre brise-soleil e janela**. In Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado RS: ANTAC, 1995.

GOODWIN, P. L. **Brazil Builds**. New York: The Museum of Modern Art, 1943.

HAYMAN, S. Limits of accuracy of graphical solar access and shadow studies. **Architectural Science Review**, v. 32, n. 1, p. 15-20, Mar. 1989.

HARRIS, E. D. **Le Cobusier: riscos brasileiros**. São Paulo: Nobel, 1987.

HOLANDA FERREIRA, A. B. **Novo Aurélio do século XXI: dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HUMPHREYS, M. A. **Field studies of thermal comfort compared and applied**. Building Services Engineer, v.44, 1976.

IZARD, J. L; GUYOT, A. **Arquitetura bioclimática**. México: Gustavo Gilli, 1980.

JAN, J. **Rayonnement solaire: aspects geometriques et astronomiques**. Paris, Ministère des Transports, 1983. (apud BITTENCOURT, 1996)

JORGE, J.; PUIGDOMÈNECH, J.; CUSIDÓ, J. A. **A practical tool for sizing optimal shading devices**. In *Building and Environment*, v. 28, n1, pp. 69-72. London: Elsevier, 1993.

KAPUR, N.K. **A comparative analysis of the radiant effect of external sunshades on glass surface temperatures**. In *Solar Energy* 77, pp. 407-419. London: Elsevier, 2004.

KOENIGSBERGER, O. H. **Manual of tropical housing and building**. London: Paperback, 1974.

KABRE, C. **Winshade: a computer design tool for solar control**. In *Building and Environmental*, v. 34, pp. 263-274. London: Elsevier, 1999.

KENSEK, K. et al. **Shading Mask: a teaching tool for sun shading devices**. *Automation in Construction*, 5, 1996, 219-231.

KUHN, T. E.; BÜHLER, C.; PLATZER, W. J. **Evaluation of overheating protection with sun-shading systems**. In *Solar Energy*. v. 69, n1-6, pp. 59-74. London: Elsevier, 2001.

LAAR, M. **Brise soleil – classical elements of tropical modernism**. In *Proceedings Building simulation of VII International IBPSA Conference*. Rio de Janeiro BR, august 13-15, 2001.

LABAKI, L. C., CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. Os vidros e o conforto ambiental. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. 1995, Gramado. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 1995. pp. 215-220.

LABAKI, L. C., KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Bioclimatic and vernacular design in urban settlements of Brazil**. In *Building and Environment*. v. 33, n1, pp 63-77. London: Elsevier, 1998.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as formgiver for architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LECHNER, N. **Heating, cooling and lighting: design methods for architects**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

LEE, E. S.; DIBARTOLOMEO, D. L.; SELKOWITZ, S. E. **Thermal and daylighting performance of an automated venetian blind and lighting system in a full-scale private office**. In *Energy and buildings*, v. 29, pp. 47-63. London: Elsevier, 1998.

LEITE, J.; ARAÚJO, V. **Análises de elementos arquitetônicos de proteção solar em edificações institucionais na cidade de Natal/RN**. São Paulo, SP. 2004. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído.

- LEMOS, Carlos A. C. **Casa Paulista**. São Paulo: EDUSP, 1999.
- LENGEN, J. V. **Manual del arquitecto descalzo: como construir casas y otros edificios**. México: Ed. Concepto, 1980.
- MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS**. Porto Alegre RS, 2000. Dissertação de mestrado, UFRGS.
- MINDLIN, H. E. **Arquitetura Moderna no Brasil**. Rio de Janeiro: Aeroplano, 2000.
- MORAN, E. F. **Adaptabilidade humana**. São Paulo: EDUSP, 1994.
- OLGAY, V. **Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.
- OLGAY, V.; OLGAY, A. **Solar control and shading devices**. Princeton: Princeton University Press, 1957.
- PERDIGÃO, A. K. A. V. **Beiral quebra-sol / quebra-chuva: um estudo comparativo da resposta térmica no ambiente construído em zonas equatoriais úmidas**. São Carlos, 1994. Dissertação de Mestrado EESC USP.
- PRIANTO, E.; DEPECKER, P. **Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach**. In Energy and buildings, v. 35, pp. 273-280. London: Elsevier, 2003.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima, acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Luzzatto/UFRGS, 1986.
- RIVERO, R. **Factor solar de los vidrios**. Servicio de Climatología Aplicada, Facultad de Arquitectura, Universidad de la Republica, Montevideo, 1993.
- SÁ, Paulo. **A orientação dos edifícios nas cidades brasileiras**. Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Tecnologia, 1942.
- SANTOS, J.C.P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. São Carlos SP, 2002. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, J.C.P.; et al. **Reavaliação do fator solar através do estudo da interação da radiação solar com os componentes dos vidros**. Fortaleza, CE. 1999. In: II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.
- SEGAWA, H. **Arquiteturas no Brasil: 1900-1990**. São Paulo: EDUSP, 1997.
- \_\_\_\_\_. **Clave de Sol**. In Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: ANTAC, 2001.

SERRA FLORENSA, R.; COCH ROURA, H. **Arquitectura y energía natural**. Barcelona: UPC, 1995.

SILVA, F. C. **Comprovação da eficiência, em clima tropical de altitude, de protetores solares exteriores sobre vidros de baixa transmitância térmica, disponíveis no mercado nacional para edifícios do setor terciário**. São Paulo, 2001. Tese de doutorado FAU USP.

SZOKOLAY, S. E. **Energia solar y edificación**. Barcelona: Blume, 1978.

TIPLER, P. A. **Física – para cientistas e engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

UNDERWOOD, D. **Oscar Niemeyer and the architecture of Brazil**. New York: Rizzoli, 1994.

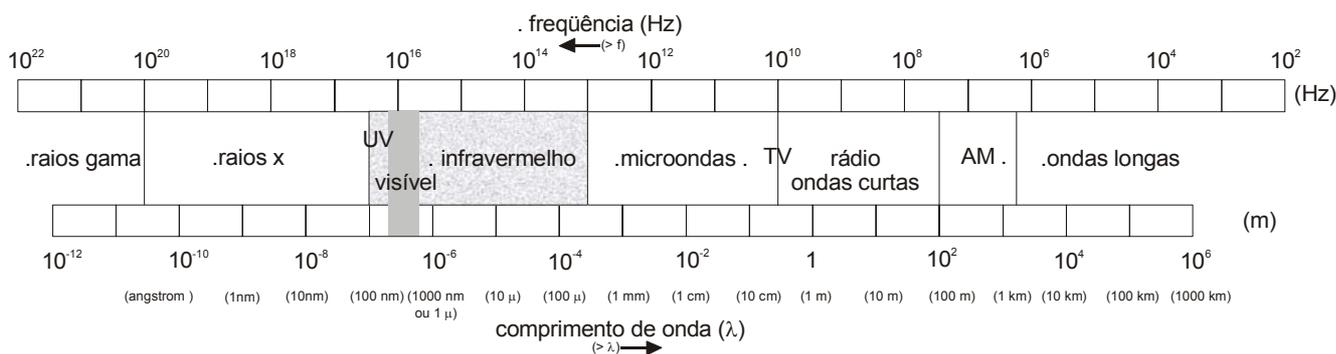
VIANNA, N. S., GONÇALVES, J. C. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus Ltda, 2001.

## **ANEXOS**

## ANEXO I – Radiação Solar

Considerando que a função essencial dos dispositivos de sombreamento é interceptar os raios solares incidentes na edificação, é imprescindível compreender a radiação solar.

Denomina-se radiação solar à energia emitida pelo sol e que se propaga sob a forma de ondas eletromagnéticas, no espaço ou num meio material. Compõe o espectro eletromagnético, representado em função do comprimento de onda (fig.).



<b>RADIAÇÃO SOLAR</b> ondas curtas (290 a 2500 nm)							
ultravioleta			visível	infravermelho			
UV C	UV B	UV A		Onda curta	Onda média	Onda longa	
100-280 nm	280-315 nm	315-380 nm	380-780 nm	780-1400 nm	1400-3000nm	3000-7000nm	7000-10000nm

Tabela 9. Espectro da radiação solar.

A faixa correspondente à radiação solar, considerada radiação de onda curta, compreende um intervalo definido de frequência e comprimento de onda (290 a 2500 nm), entre as radiações ultravioleta e infravermelha (ver tabela).

O espectro solar é subdividido em três faixas de acordo com seu comprimento de onda, estando associadas a diferentes fenômenos ou propriedades que interferem no meio ambiente e afetam o homem<sup>1</sup> de forma distinta:

- radiação ultravioleta (290 a 380nm):
  - desbotamento / descoloração dos materiais;
  - pigmentação da pele;
  - efeito bactericida / germicida;
  - melhora a síntese de vitamina D pela pele.
- luz visível (380 a 780nm):
  - sensação de visão ao olho humano;
  - percepção de cores;
  - intensidade de luz branca;
  - grau de iluminação natural de um ambiente.
- radiação infravermelha (780 a 2500nm):
  - fonte de calor;
  - interfere na condição térmica do ambiente.

Essa energia que chega à superfície terrestre é composta por comprimentos de ondas compreendidos pelas três faixas acima apresentadas, porém com diferente intensidade conforme mostram as figuras nn. Observa-se que há maior quantidade de energia na estreita região do visível, porém a região do infravermelho também é expressiva, embora não tenha um pico acentuado possui ampla faixa de comprimento de onda que somada atinge valores proporcionais aos do visível.

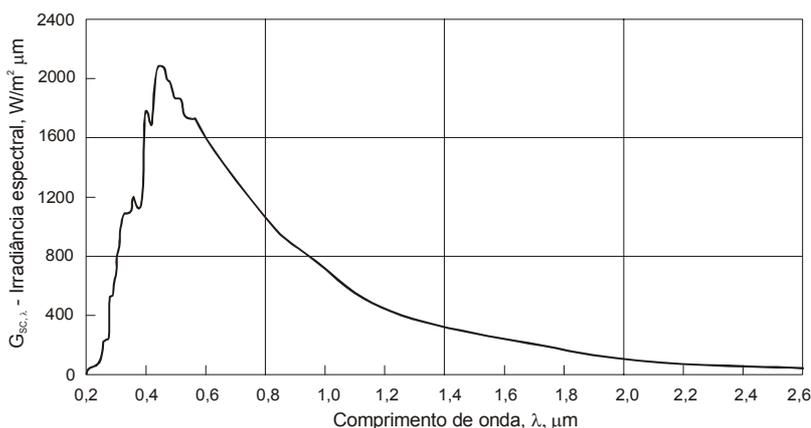


Fig. 96 - Irradiância espectral padrão da NASA/ASTM, na distância média entre o Sol e a Terra, e constante solar de 1353 W/m<sup>2</sup>. (Fonte: DUFFIE & BECKMAN, 1980. p.5)

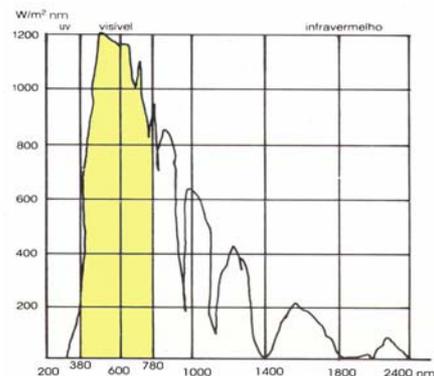


Fig. 97 - Distribuição espectral da energia solar, atmosfera nível do mar. (Fonte: CARAM 1998, modificada de ASHRAE Handbook of Fundamentals, Chapter 27, Fenestration, 1993).

<sup>1</sup> No anexo nn, informações acerca da influência de cada faixa de comprimento de onda das radiações UV, visível e IV.

Devido à excentricidade da órbita terrestre, a energia solar que incide no topo da atmosfera varia em função da distância entre a Terra e o Sol, entretanto adota-se um valor médio de constante solar<sup>2</sup> de  $1353 \text{ W/m}^2$ . A intensidade dessa radiação será menor do que o valor da constante solar caso não seja perpendicular à direção de propagação (fig.). Dessa forma, a latitude do local, a época do ano e o horário do dia apresentam variações nos ângulos de incidência dos raios solares (fig.).

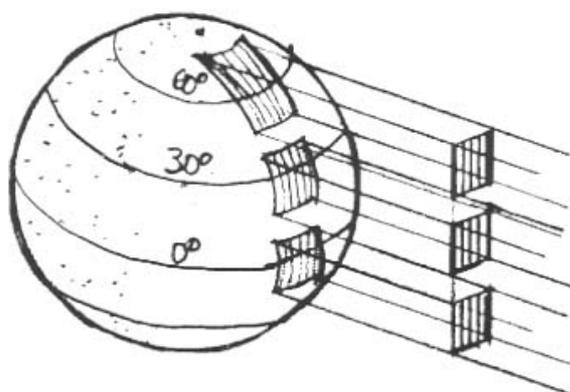
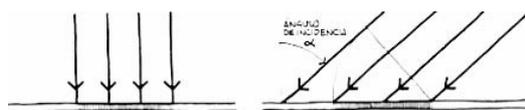
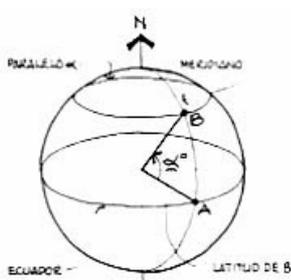


Fig. 98. (esquerda). A radiação solar incidindo sobre as latitudes de  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $60^\circ$ . (Fonte: FROTA, 2004)

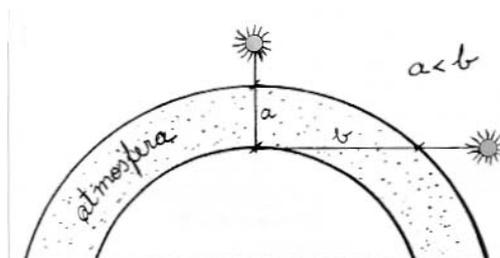
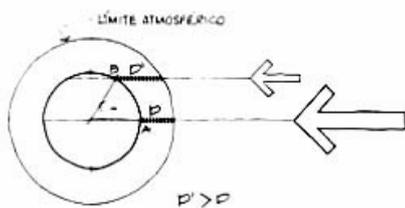
Fig. 99. (abaixo). Intensidade da radiação solar incidente, lei dos cosenos. (Fonte: BARDOU & ARZOUMANIAN, 1980).



Outro aspecto que também reduz a intensidade da radiação solar é sua passagem pela atmosfera. Quanto maior a latitude do local e/ou quanto menor o ângulo de altura solar em função da época do ano ou da hora do dia, maior será a camada atmosférica atravessada, e portanto, menor o fluxo energético que à superfície do solo terrestre (fig.).



(a) Em função da latitude (Fonte: BARDOU & ARZOUMANIAN, 1980).

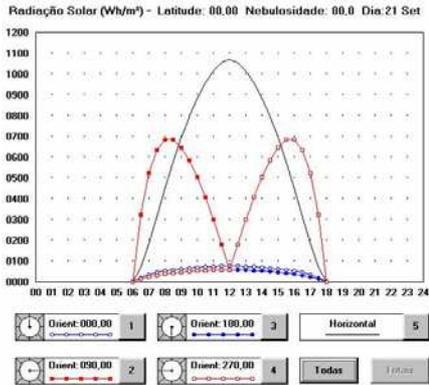


(b) devido ao horário do dia. (Fonte: FROTA, 2004)

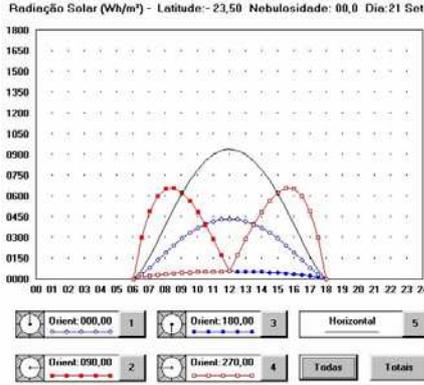
Fig. 100. Radiação solar que atravessa diferentes espessuras da camada atmosférica.

<sup>2</sup> **Constante Solar:** é definida como "... a energia vinda do sol, por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área de superfície perpendicular à direção de propagação da radiação, a uma distância média entre a Terra e o Sol, fora da atmosfera." Seu valor é  $1353 \text{ W/m}^2$ , obtido em medições com precisão de  $\pm 1,5\%$  pela NASA/ASTM.

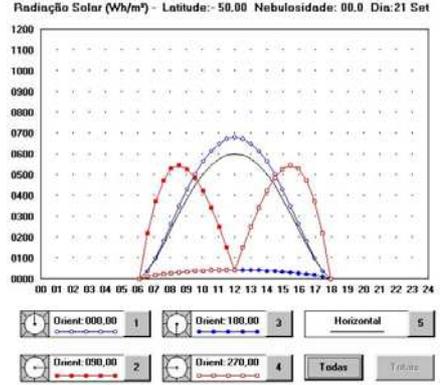
### Gráficos de radiação solar<sup>3</sup>



(a) Latitude 0°

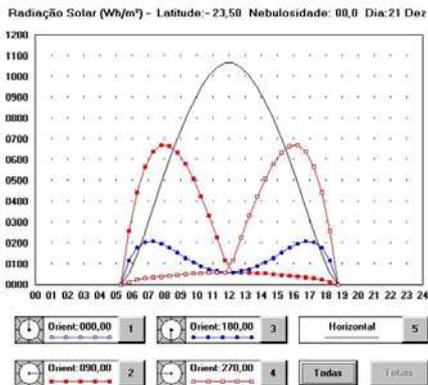


(b) Latitude 23° 30' S

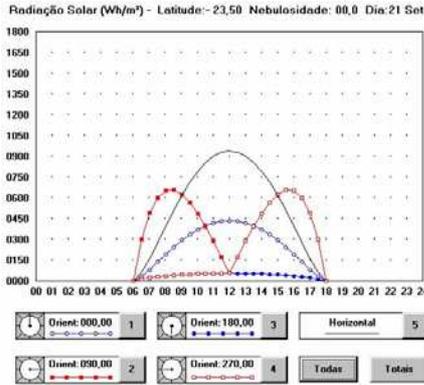


(c) Latitude 50° S

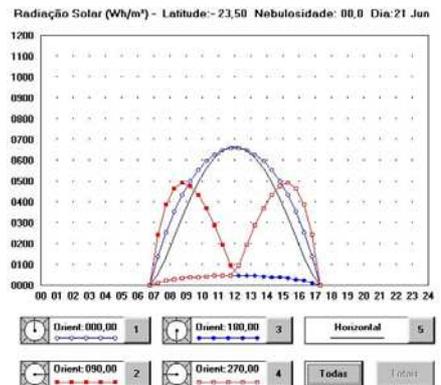
Fig. Variação dos valores de radiação solar em diferentes latitudes. Hemisfério Sul, Equinócio de primavera, Céu limpo.



(a) Solstício de verão

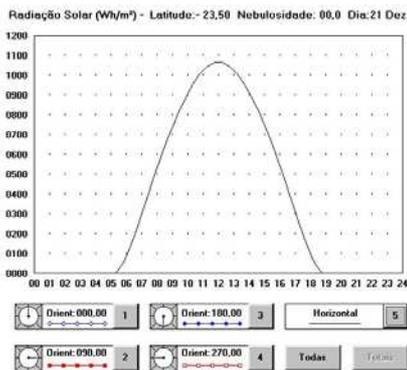


(b) Equinócio

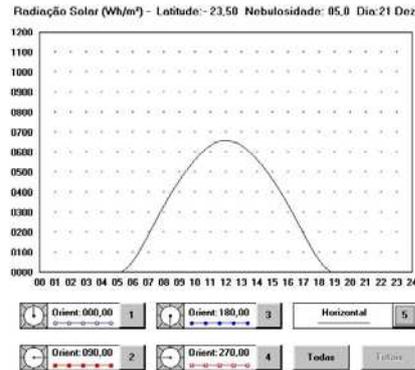


(c) Solstício de Inverno

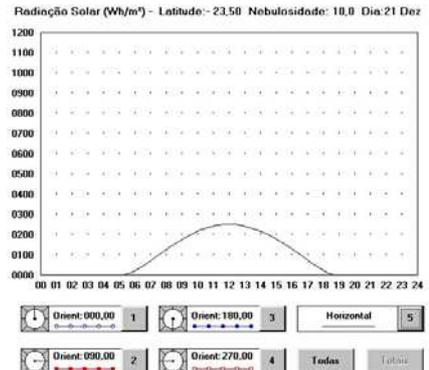
Fig. Variação dos valores de radiação solar em diferentes estações do ano. Latitude 23° 30' S, Céu limpo.



(a) Nebulosidade 0 – céu limpo



(b) Nebulosidade 5 – nublado



(c) Nebulosidade 10 – encoberto

Fig. 101. Variação dos valores de radiação solar direta no plano horizontal, com diferentes condições de nebulosidade. Latitude 23° 30' S.

Nas figuras acima, observa-se a variação da radiação em diferentes horários, com máxima intensidade ao meio dia e tendendo a zero no nascente e poente.

<sup>3</sup> Resultados simulados pelo software Luz do Sol, de Maurício Roriz.

Essa energia sofre os fenômenos de reflexão, absorção e dispersão ou difusão, por causa dos elementos químicos que a compõe (ozônio, dióxido de carbono, e vapor d'água), das partículas e outros materiais em suspensão, bem como das condições atmosféricas como a nebulosidade (fig).

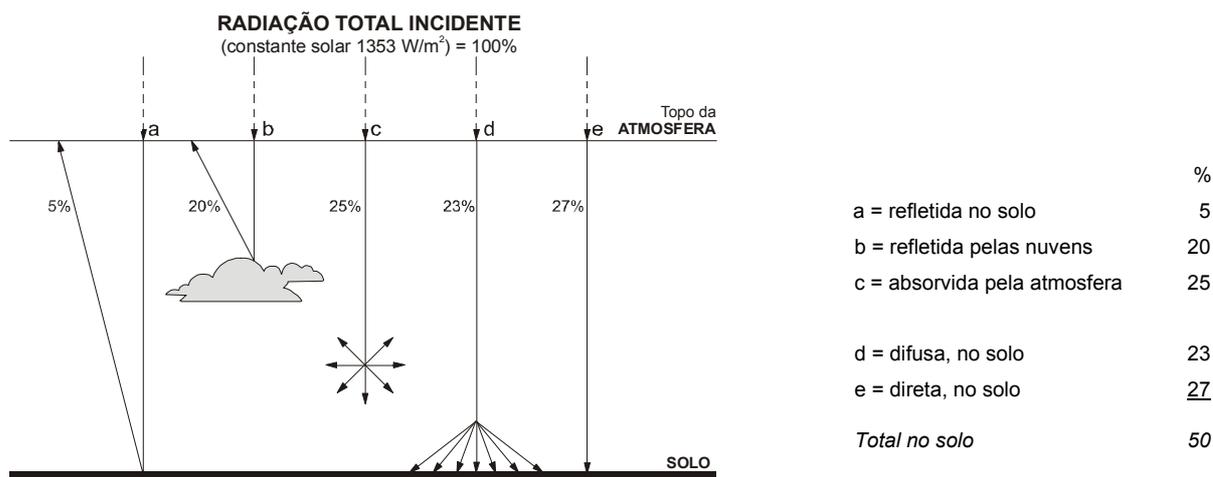


Fig. 102. Passagem da radiação solar pela atmosfera. (Fonte: adaptado de KOENIGSBERGER et al., 1980. p.7)

Comparando os valores apresentados por Bardou & Arzoumanian (1984) com Koenigsberger et al. (1980), observa-se que chegam ao solo mais da metade da radiação solar que atinge a superfície terrestre, variando entre 50 a 53%. E a parcela relativa a radiação solar direta tem o percentual de 27% do total, de acordo com Koenigsberger et al. (1980).

	radiação solar que chega à atmosfera – 100%					
	devolvida ao espaço	refletida pelas nuvens	absorvida na atmosfera	chega ao solo		
BARDOU & ARZOUMANIAN (1984)	32%	-	15%	refletida no solo	absorvida no solo	
				6%	47%	
KOENIGSBERGER et al. (1980)	-	20%	25%	5%	difusa	direta
				23%	27%	

Tabela 10. Radiação solar que chega a Terra.

Segundo Givoni (1981), conforme a radiação solar penetra na atmosfera sua intensidade decresce e a distribuição espectral sofre alterações provocadas pela absorção, reflexão e dispersão.

Existem divergências com relação à distribuição das proporções da energia solar que atingem a superfície do solo, entre as três faixas que a compõe (fig). Caram (1998) propõe um intervalo que admite uma variação nesses percentuais.

	ULTRAVIOLETA	VISÍVEL	INFRAVERMELHO
BARDOU & ARZOUMANIAN (1984)	3 %	44 %	53 %
CARAM (1998)	1 a 5 %	41 a 45 %	52 a 60 %

Tabela 11. Proporção da distribuição espectral da energia solar.

Para Olgyay & Olgyay (1957) a questão do controle da radiação solar deve considerar sua composição espectral, pois suas características particulares demandam diferentes estratégias de controle. Assim, a radiação ultravioleta com comprimento de onda acima de 290nm que atravessa a camada de ozônio, embora apresente vantagens terapêuticas, é barrada também pelo vidro comum que é opaco ao seu comprimento de onda. Já os referentes a descoloração dos materiais podem ser minimizados e até eliminados com a utilização de películas poliméricas aplicadas aos vidros. No caso da luz visível, a função da janela é admitir luz suficiente e reduzir o brilho e contraste. Segundo os autores, é fácil realizar seu controle no interior do ambiente construído. Com relação ao infravermelho, alertam para a vulnerabilidade da envoltória, pois essa radiação é considerada de difícil controle e seu impacto no ambiente é o mais representativo ao desempenho da edificação.

Sendo a radiação infravermelha responsável pelo aquecimento da edificação, seja de ondas curtas provenientes do sol ou de ondas longas advindas de corpos em temperatura ambiente<sup>4</sup>, é importante apresentar algumas de suas características físicas.

<sup>4</sup> Radiação de onda curta: tem seu espectro compreendido entre 300 e 3000nm, e inclui os componentes direto e difuso.

## Radiação Infravermelha

A radiação infravermelha, seja de ondas curtas, médias ou longas, é invisível ao olho humano, porém é percebido como fonte de calor. Segundo a mecânica quântica as moléculas absorvem energia eletromagnética. A absorção das radiações ultravioleta, visível e infravermelha atuam em processos distintos. Enquanto as duas primeiras quando absorvidas podem alterar o estado de um elétron, a radiação infravermelha interfere na vibração da molécula aumentando sua energia cinética, ou seja, aquecendo-a.

Duffie & Beckman (1980), lembram que embora os limites do infravermelho não sejam bem definidos são considerados num intervalo entre 780 e 10.000nm, dividido em três faixas de acordo com seu comprimento de onda e de sua fonte de origem.

INFRAVERMELHO			
Onda curta (próximo)	Onda média	Onda longa (longínquo)	
780-1400 nm	1400-3000nm	3000-7000nm	7000-10000nm
<i>Radiação solar infravermelha 780 a 2500nm</i>		<i>Radiação térmica – corpos em temperaturas ordinárias</i>	

Tabela 12. Espectro da radiação infravermelha.

A radiação infravermelha (IV) se propaga no vácuo e atravessa o ar limpo sem perda sensível de energia. Porém, a presença de vapor d'água e de dióxido de carbono na atmosfera é responsável pela absorção de parte dessa energia. Segundo Labaki et al. (1995) do total da radiação solar, entre 290 a 1800nm, que atinge o topo da atmosfera os comprimentos de onda superiores a 1500nm são absorvidos pelo vapor d'água e pelo CO<sub>2</sub>, chegando de forma reduzida à superfície do sol, mesmo assim, corresponde a mais da metade do espectro solar.

---

Radiação de onda longa: valores acima de 3000nm compõe seu espectro e originasse em fontes com temperaturas próximas à ambiente. (DUFFIE & BECKMAN 1980)

Características do infravermelho a serem consideradas:

- é uma onda eletromagnética, e se propaga no vácuo sem perda de energia;
- possui ampla faixa espectral que compreende comprimentos de onda curtas (radiação solar), e longas (corpos com temperatura próxima à ambiente);
- o infravermelho de ondas curtas corresponde a mais da metade do espectro solar;
- o ar limpo é transparente à ela, porém é absorvida em presença de vapor d'água e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera;
- é invisível ao olho humano;
- percebida como fonte de calor;
- sua absorção depende da cor das superfícies no caso das ondas curtas, mas não para as ondas longas;
- interfere na condição térmica do ambiente.

## ANEXO II – Cálculo do Painel Equivalente

Para definir a espessura mínima equivalente para o painel de fechamento da abertura que não estivesse sendo ensaiada, foi necessário calcular a resistência térmica e atraso térmico da parede de tijolos de barro maciço. Dado o valor encontrado, foi a referência para o cálculo e definição da espessura e materiais que comporão o painel equivalente. Estes necessitariam resistir a exposição às intempéries, e ter acabamento em pintura branca igual a parede. Dada a disponibilidade de materiais e custos, as opções encontradas foram o compensado de madeira de virola com placa de poliestireno expandido (isopor).

Para o referido cálculo foi seguida a metodologia do projeto de norma 02:135.07-002 – *Desempenho térmico de edificações – parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações.*

Características da parede:

Parede de tijolos de barro maciços assentados com argamassa comum de cimento, e pintada externa e internamente com tinta pva acrílica na cor branco neve (suvinil).

Dados dos materiais:

Material	Dimensões				$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C$ (kJ/(kg.K))
	L (m)	C (m)	e (m)	A (m <sup>2</sup> )			
Tijolo de barro maciço	0,22	0,045	0,10	0,0099	0,90	1600	0,92
Argamassa comum (cimento)	0,22 0,015	0,015 0,06	0,10	0,0042	1,15	2000	1,00

Tabela 13. Propriedades térmicas de materiais – tijolo e argamassa. (Fonte: Tabela B3 – Propriedades térmicas de materiais. Projeto de Norma 02:135.07-002 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Dezembro 1998, pg. 13-15.)

Resistências térmicas dos materiais:  $R = e/\lambda$

- tijolo de barro maciço:

$$R_{\text{tij}} = 0,10 / 0,90 = 0,11 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- argamassa comum (cimento):

$$R_{\text{arg}} = 0,10 / 1,15 = 0,087 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica da parede (componente de seção heterogênea, camadas homogêneas)

$$R_t = \frac{A_{\text{tij}} + A_{\text{arg}}}{\frac{A_{\text{tij}}}{R_{\text{tij}}} + \frac{A_{\text{arg}}}{R_{\text{arg}}}} = \frac{0,0099 + 0,0042}{\frac{0,0099}{0,11} + \frac{0,0042}{0,087}}$$

$$R_t = 0,1114 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,1114 + 0,04$$

$$R_T = 0,2814 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Transmitância térmica

$$U = 1 / R_T = 1 / 0,2814$$

$$U = 3,55 \text{ W / (m}^2\text{.K)}$$

Capacidade térmica do material:

$$C_T = \Sigma e \cdot \rho \cdot c$$

- tijolo de barro maciço:

$$C_{T_{\text{tij}}} = 0,10 \cdot 1600 \cdot 0,92 = 147,2 \text{ kJ / (m}^2\text{.K)}$$

- argamassa comum (cimento):

$$C_{T_{\text{arg}}} = 0,10 \cdot 2000 \cdot 1,00 = 200,0 \text{ kJ / (m}^2\text{.K)}$$

Capacidade térmica da parede (componente heterogêneo)

$$C_T = \frac{A_{tij} + A_{arg}}{\frac{A_{tij}}{C_{tij}} + \frac{A_{arg}}{C_{arg}}} = \frac{0,0099 + 0,0042}{\frac{0,0099}{147,2} + \frac{0,0042}{200}}$$

$$C_T = 174,60 \text{ kJ / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

Atraso térmico

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,114 \cdot 174,60}$$

$$\varphi = 3,21 \text{ horas}$$

ou seja, um atraso de 3 horas, 12 minutos e 36 segundos.

Fator de calor solar

$$FS = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \cdot 3,55 \cdot 0,20$$

$$FS = 2,84 \%$$

Para a construção de um painel equivalente, era preciso primeiramente definir os materiais a serem utilizados. Nessa etapa foi considerado algumas características como a resistência do material a exposição em condições reais, com incidência direta da radiação solar, da ação dos ventos e das chuvas. Também, foram avaliadas a disponibilidade do material no mercado, o custo, e a facilidade de trabalho e manuseio, uma vez que os alunos e técnicos do laboratório de Conforto Ambiental que os manipulariam. Optou-se pelo esquema de painel sanduíche, com o uso de madeira compensada (várias espessuras encontradas no mercado 4, 6, 8, 10, 12, 15, e 20mm), e recheio de lã de vidro ou isopor, pois possuem um coeficiente de condutibilidade térmica muito próximos (ver tabela), neste caso optou-se pelo isopor, pelo custo do material, a facilidade de trabalho e manuseio, e a disponibilidade de espessuras no mercado (5, 10, 15, 20, 25, 30 e 50mm).

Dados dos materiais:

Material	Dimensões				$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c$ (kJ/(kg.K))
	L (m)	C (m)	e (m)	A (m <sup>2</sup> )			
Madeira compensada	1,04	0,84	?	0,8736	0,15	450-550	2,30
Poliestireno expandido (isopor)	1,04	0,84	?	0,8736	0,04	15-35	1,42
Lã de vidro	1,04	0,84	?	0,8736	0,045	10-100	0,70

Tabela 14. Propriedades térmicas da madeira, poliestireno expandido e lã de vidro. (Fonte: Tabela B3 – Propriedades térmicas de materiais. Projeto de Norma 02:135.07-002 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Dezembro 1998, pg. 13-15.)

Valores de resistência térmica e atraso térmico desejados para o painel:

$$R_t = 0,1114 \text{ (m}^2\text{.K) / W} \quad \varphi = 3,21 \text{ horas}$$

Considerando somente o uso da madeira:

$$R_{\text{mad}} = R_{\text{par}} = 0,1114 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$R = e/\lambda \quad 0,114 = e / 0,15 \quad e = 0,017\text{m}$$

como não há chapa de compensado nessa espessura, adotou-se a medida de 0,02 m.

Resistências térmicas dos materiais:  $R = e/\lambda$

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,020 / 0,15 = 0,1333 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Capacidade térmica:

$$C_T = (0,02 \cdot 500 \cdot 2,30) = 23 \text{ kJ / (m}^2\text{.K)}$$

Atraso térmico

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,1333 \cdot 23}$$

$$\varphi = 1,27 \text{ horas}$$

Ou seja, apesar da madeira compensada de 20mm oferecer uma resistência térmica próxima do valor desejado, seu atraso térmico ( $\varphi = 1,27$  horas) fica muito defasado em relação ao da parede de tijolos ( $\varphi = 3,21$  horas).

Reiniciou-se os cálculos considerando um elemento composto de madeira e isopor, da seguinte forma, uma chapa de 10mm de madeira e verificando a espessura de isopor necessário para satisfazer as condições desejadas.

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,010 / 0,15 = 0,0667 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$$

- poliestireno expandido (isopor):

$$R_{\text{iso}} = e / 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$$

Resistência térmica do painel (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

Espessura da placa de isopor:

$$R_t = R_{\text{mad}} + R_{\text{iso}}$$

$$R_t = 0,114 = 0,0667 + \frac{e}{0,04}$$

$$0,114 - 0,0667 = \frac{e}{0,04}$$

$$e = 0,0473 \cdot 0,04$$

$$e = 0,0018 \text{ m}$$

Como não há placa de poliestireno expandido nessa espessura, foi considerada uma espessura de 5mm.

Resistências térmicas dos materiais:  $R = e/\lambda$

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,010 / 0,15 = 0,0667 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$$

- poliestireno expandido (isopor):

$$R_{\text{iso}} = 0,005 / 0,04 = 0,125 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$$

Resistência térmica do painel:

$$R_t = R_{\text{mad}} + R_{\text{iso}} = 0,0667 + 0,125$$

$$R_t = 0,1917 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$$

Capacidade térmica do painel:

$$C_T = \sum e \cdot \rho \cdot c$$

$$C_T = (0,01 \cdot 500 \cdot 2,30) + (0,005 \cdot 25 \cdot 1,42)$$

$$C_T = 11,5 + 0,18 = 11,68 \text{ kJ / (m}^2\cdot\text{K)}$$

Atraso térmico (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

onde,

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{((\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}})}{R_t} \cdot (R_{\text{ext}} - \frac{(R_t - R_{\text{ext}})}{10})$$

Então:

$$B_0 = 11,68 - 11,5 = 0,18$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{0,18}{0,1917} = 0,21$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{(0,15 \cdot 500 \cdot 2,30)}{0,1917} \cdot \left(0,0667 - \frac{(0,1917 - 0,0667)}{10}\right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 899,84 \cdot 0,0542 = 9,998$$

Portanto,

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,1917 \cdot \sqrt{0,21 + 9,998}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,1917 \cdot 3,195 = 0,85 \text{ horas}$$

Nessa simulação, o atraso térmico ficou muito abaixo dos valores da parede de tijolos.

Novamente foram reiniciados os cálculos, considerando um elemento composto de madeira e isopor, da seguinte forma, duas chapas de 10mm de madeira e uma placa de isopor de 25mm:

- madeira compensada:

$$R_{\text{mad}} = 0,010 / 0,15 = 0,0667 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- poliestireno expandido (isopor):

$$R_{\text{iso}} = e / 0,04 = 0,025 / 0,04 = 0,625 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Resistência térmica do painel (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

Resistência térmica do painel:

$$R_t = R_{\text{mad}} + R_{\text{iso}} = (2 \times 0,0667) + 0,625$$

$$R_t = 0,7584 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

Capacidade térmica do painel:  $C_T = \sum e \cdot \rho \cdot c$

$$C_T = (0,02 \cdot 500 \cdot 2,30) + (0,025 \cdot 25 \cdot 1,42)$$

$$C_T = 23,0 + 0,8875 = 23,8875 \text{ kJ / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

Atraso térmico (componente de uma única seção, camadas heterogêneas)

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

onde,

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{((\lambda, \rho, c)_{\text{ext}})}{R_t} \cdot (R_{\text{ext}} - \frac{(R_t - R_{\text{ext}})}{10})$$

$$B_0 = 23,8875 - 11,5 = 12,3875$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{12,3875}{0,7584} = 3,6914$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{(0,15 \cdot 500 \cdot 2,30)}{0,7584} \cdot (0,0667 - \frac{(0,7584 - 0,0667)}{10})$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 227,45 \cdot -0,00247 = -1,15$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,7584 \cdot \sqrt{3,6914 - 1,15}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,7584 \cdot 1,59 = 1,67 \text{ horas}$$

Embora a resistência térmica do painel tenha sido maior, o atraso térmico ainda ficou abaixo do valor da parede de tijolos.

## ANEXO III – Cálculo do Horário Solar

### *HORÁRIO SOLAR*

Para encontrar o horário solar verdadeiro para a longitude de Campinas e para os dias monitorados nos ensaios em campo, foi necessário calcular a longitude de Campinas traduzida em horas ( $\lambda$ ), e a equação do tempo (ET).

A equação do tempo expressa a diferença<sup>1</sup> entre o tempo solar local e o tempo solar médio (rotação uniforme da Terra em torno do sol), com variação máxima de 16 minutos (BITTENCOURT, 1996).

Cálculo da longitude de Campinas 47° 03' (ou - 47,05) traduzida em horas ( $\lambda$ ), sendo cada 15° = 1 hora, e 1° = 4 minutos, então:

$$- 47,05 = -(45/15 + 2,05*4)$$

$$\lambda = -3 \text{ horas e } 08,2 \text{ minutos}$$

E o tempo universal (TU) é calculado pela expressão:

$$TU = TSV + ET - \lambda$$

onde:

TU é a hora universal (tempo universal);

TSV é a hora local (tempo solar verdadeiro);

$\lambda$  =é a longitude traduzida em horas;

ET é a equação do tempo, com  $ET \leq 16$  minutos. Dados obtidos sob consulta ao gráfico(fig.) ou calculado (fig.).

---

<sup>1</sup> resultado da irregularidade da rotação terrestre, sobretudo as variações de velocidade angular em torno do sol.

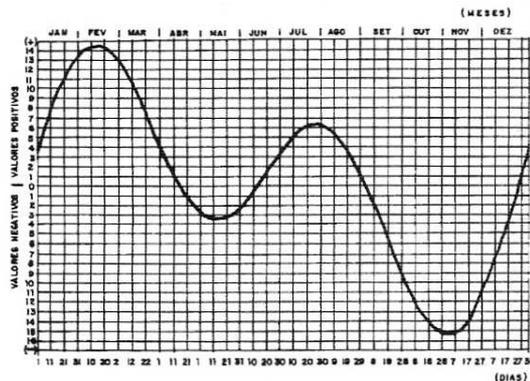


Fig.103. – Valores da equação do tempo, em minutos. (Fonte: JAN, 1983 apud BITTENCOURT, 1996)

## Calculadora Solar

Escolha a sua cidade <input type="text" value="Entre com a Lat/Long"/>	-	Graus	min	s	Hora local	
	Latitude	-22	54	0	Hora local = UTC	Horário de verão?
	Longitude	-47	3	0		

Mês	Dia	Ano (ex: 2003)
Janeiro <input type="checkbox"/>	13	2004

Equação do tempo (minutos)	Declinação solar (graus)	Nascer do Sol	Meio-dia real	Pôr do Sol	Hora local
-8.3	-21.63	5:18AM	12:00:14	6:43PM	Local
-	-	2:18	9:00:14	15:43	UTC

Fig.104. – Calculadora Solar ([http://darwin.futuro.usp/site/sky/atividades/c\\_calculadora](http://darwin.futuro.usp/site/sky/atividades/c_calculadora)).

No quadro abaixo apresentam-se os valores da equação do tempo para a cidade de Campinas (latitude 22° 54', longitude 47° 03'), para os períodos monitorados no ano de 2004. Calculado com auxílio do programa “calculadora solar” disponível no site [http://darwin.futuro.usp/site/sky/atividades/c\\_calculadora](http://darwin.futuro.usp/site/sky/atividades/c_calculadora).

Época	Fachada	data	minutos ET	meio-dia local	diferença
Verão	Norte	09/01	-6,68	11:58:38	- 01min, 22 seg
		10/01	-7,10	11:59:02	- 58 seg
		11/01	-7,51	11:59:27	- 33 seg
		12/01	-7,91	11:59:51	- 9 seg
		13/01	-8,30	12:00:14	+ 14 seg
		14/01	-8,68	12:00:36	+ 36 seg
		15/01	-9,05	12:00:58	+ 58 seg
		16/01	-9,41	12:01:19	+ 01 min, 19 seg
		17/01	-9,75	12:01:19	+ 01 min, 19 seg
		18/01	-10,09	12:02:00	+ 02 min
	19/01	-10,41	12:02:19	+ 02 min, 19 seg	
	Oeste	09/02	-14,22	12:06:01	+ 06 min, 01 seg
		10/02	-14,25	12:06:03	+ 06 min, 03 seg
11/02		-14,27	12:06:04	+ 06 min, 04 seg	
Outono	Oeste	17/03	-8,38	12:00:04	+ 04 seg
		18/03	-8,09	11:59:46	- 14 seg
		19/03	-7,80	11:59:29	- 31 seg
		20/03	-7,50	11:59:11	- 49 seg
		21/03	-7,21	11:58:35	- 01 min, 25 seg
		22/03	-6,91	11:58:35	- 01 min, 35 seg
		23/03	-6,61	11:58:17	- 01 min, 43 seg
		24/03	-6,31	11:57:59	- 02 min, 01 seg
		25/06	-6,00	11:57:41	- 02 min, 19 seg
		26/03	-5,70	11:57:23	- 02 min, 37 seg

	Norte	27/03	-5,40	11:57:04	- 02 min, 56 seg
		28/03	-5,10	11:56:46	- 03 min, 14 seg
		29/03	-4,79	11:56:28	- 03 min, 32 seg
		30/03	-4,49	11:56:10	- 03 min, 50 seg
		31/03	-4,19	11:55:52	- 04 min, 08 seg
		01/04	-3,90	11:55:34	- 04 min, 26 seg
		02/04	-3,60	11:55:17	- 04 min, 43 seg
		03/04	-3,31	11:54:59	- 05 min, 01 seg
		04/04	-3,01	11:54:42	- 05 min, 18 seg
		05/04	-2,73	11:54:24	- 05 min, 36 seg
Inverno	Oeste	25/06	-2,60	11:54:28	- 05 min, 32 seg
		26/06	-2,81	11:54:41	- 05 min, 19 seg
		27/06	-3,02	11:54:53	- 05 min, 07 seg
		28/06	-3,23	11:55:05	- 04 min, 55 seg
		29/06	-3,43	11:55:17	- 04 min, 43 seg
		30/06	-3,63	11:55:29	- 04 min, 31 seg
		01/07	-3,82	11:55:41	- 04 min, 19 seg
	Norte	02/07	-4,01	11:55:52	- 04 min, 08 seg
		03/07	-4,20	11:56:03	- 03 min, 57 seg
		04/07	-4,38	11:56:14	- 03 min, 46 seg
		05/07	-4,56	11:56:24	- 03 min, 36 seg
		06/07	-4,73	11:56:35	- 03 min, 25 seg
		07/07	-4,89	11:56:44	- 03 min, 16 seg
		08/07	-5,05	11:56:54	- 03 min, 06 seg

Quadro 12. Valores da equação do tempo para os dias monitorados, meio-dia local e a diferença em minutos entre o horário legal e o horário solar verdadeiro.

As maiores diferenças de horário observadas para os períodos acima foram para o dia 11/02 com + 06 minutos e 04 segundos (12:06:04 horas), e para o dia 05/04 com - 05 minutos e 36 segundos (11:54:24 horas). Constatou-se que a variação é pequena, e não alterou significativamente as observações realizadas no tempo legal.

## APÊNDICE

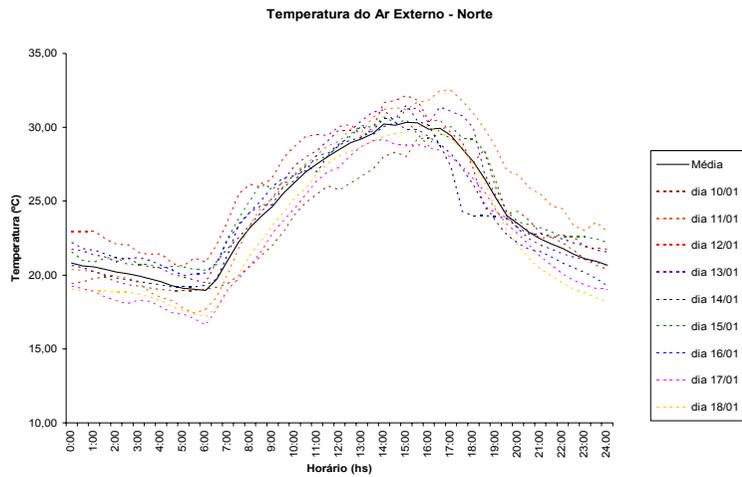


Fig. 105 - Temperatura do ar externo - média e dias do intervalo de 10 a 18/01/2004.

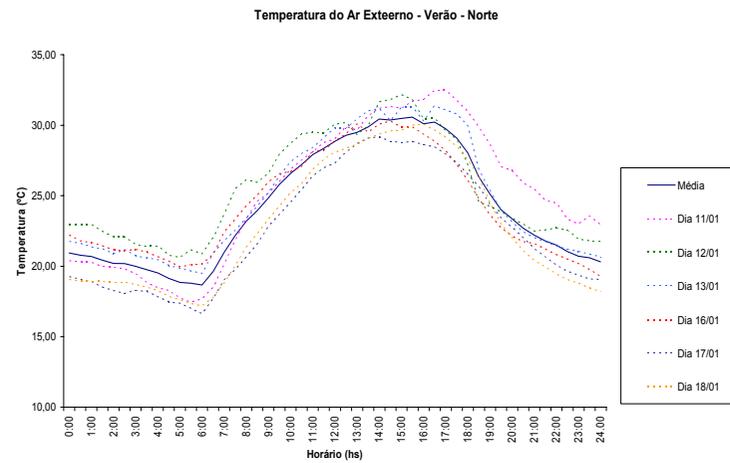


Fig. 107 - Temperatura do ar externo - média da seleção de dias do intervalo de 10 a 18/01/2004. (dias 11, 12, 13, 16, 17, e 18/01)

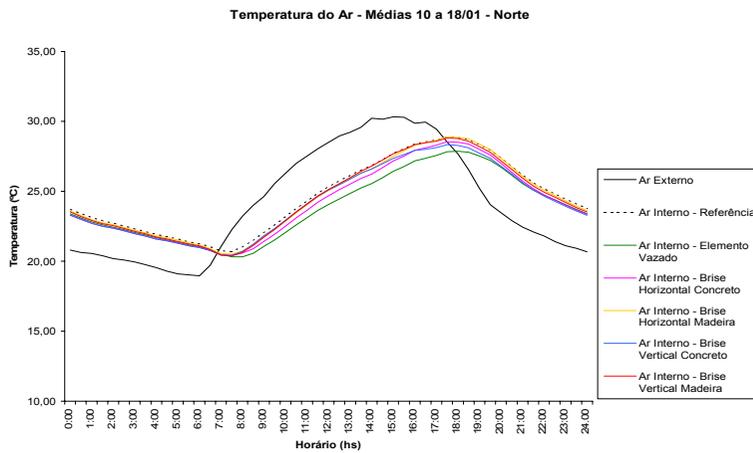


Fig. 106 - Temperaturas médias do ar, externo e interno dos protótipos.

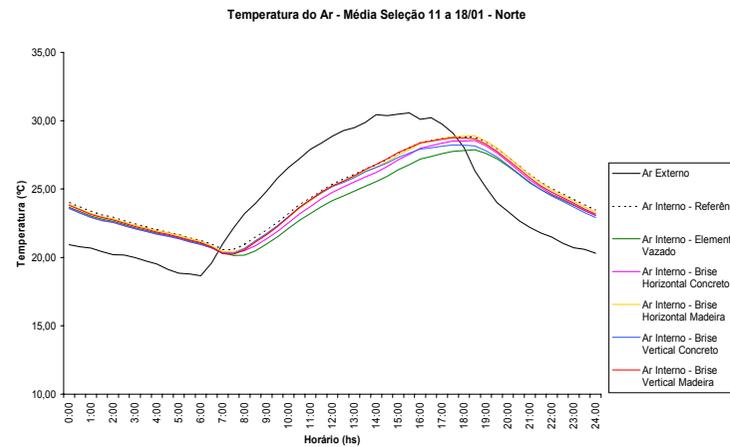


Fig. 108. Temperaturas médias do ar externo e interno dos protótipos (seleção de dias).

Verão - fachada norte: de 10 a 18 de janeiro:

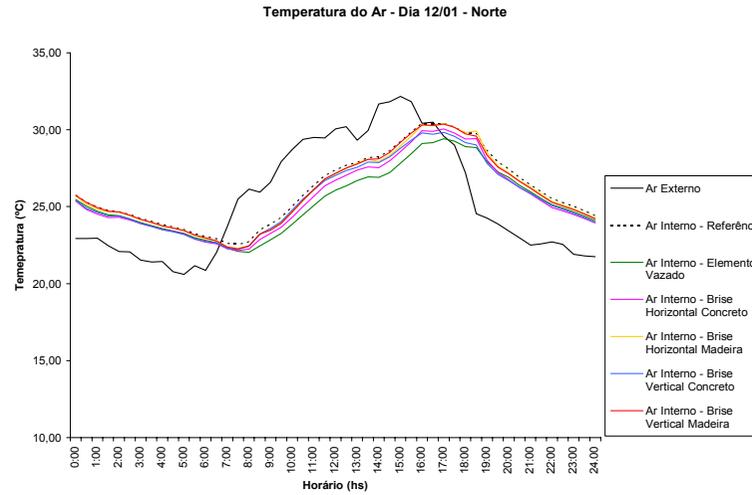
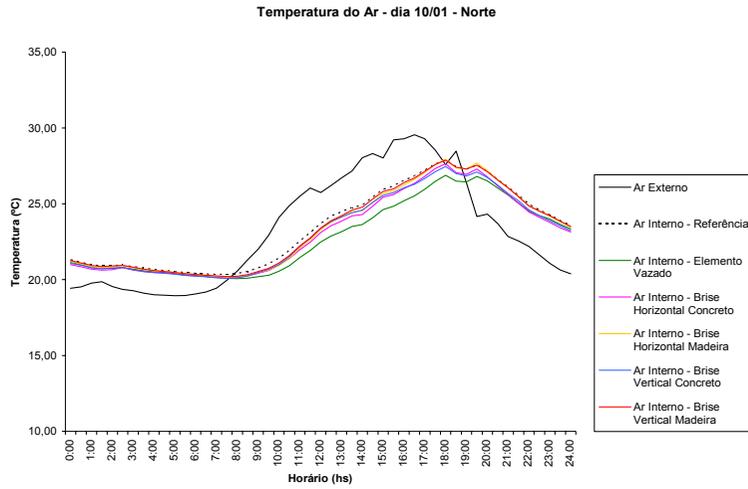


Fig. 109. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 10/01. (não selecionado)

Fig. 111. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 12/01.

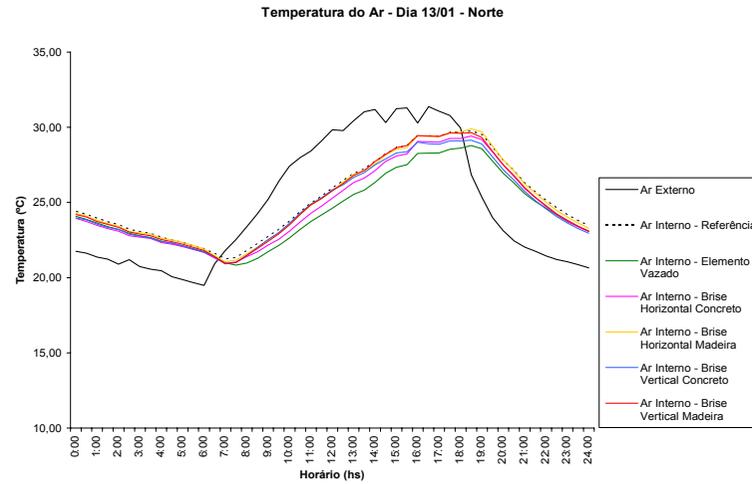
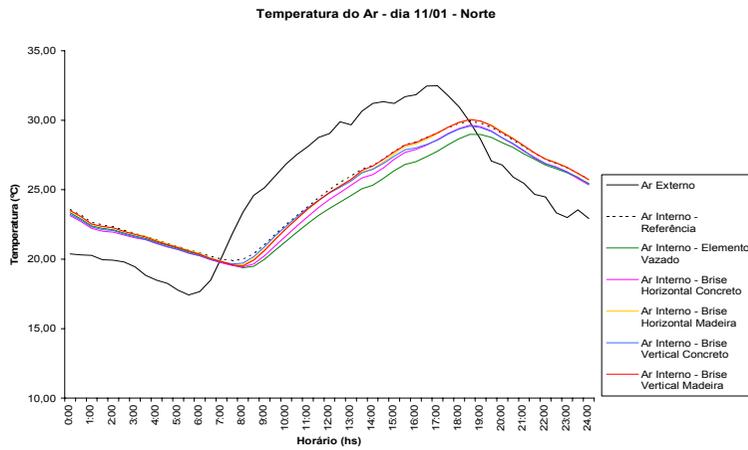


Fig. 110.. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 11/01.

Fig. 112. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 13/01.

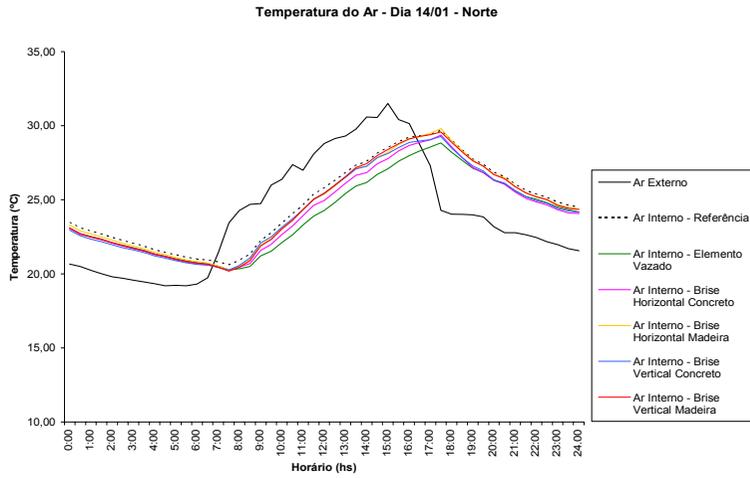


Fig. 113. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 14/01. (não selecionado)

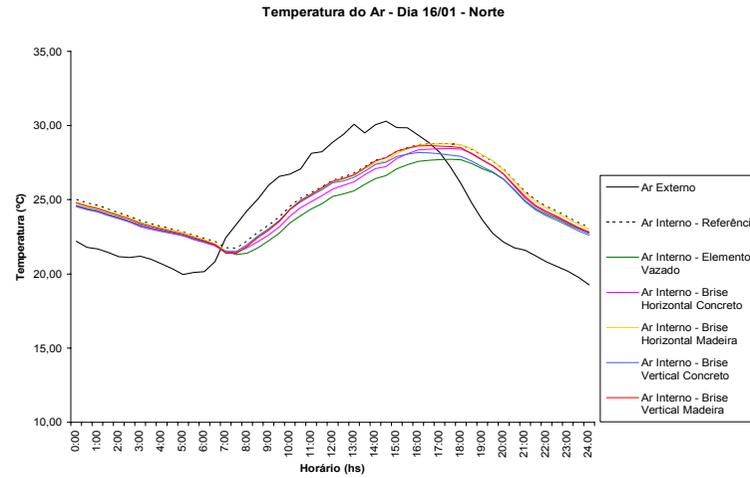


Fig. 115. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 16/01.

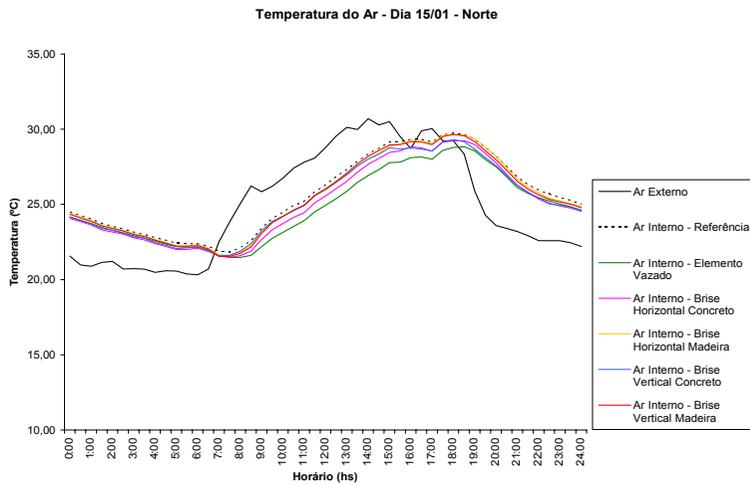


Fig. 114. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 15/01. (não selecionado)

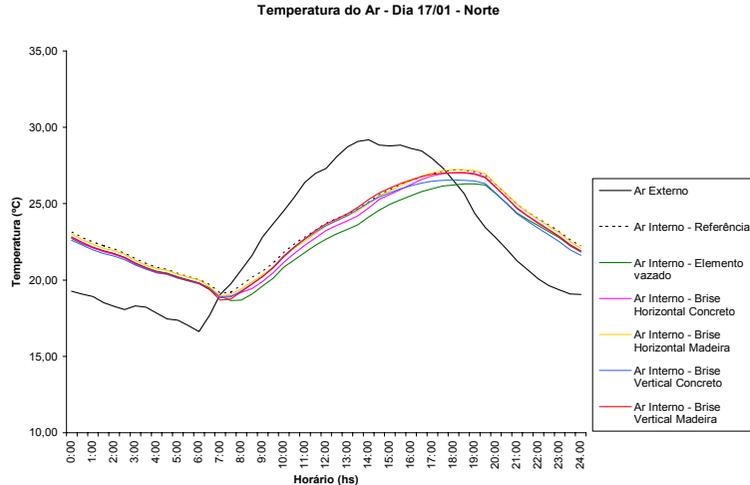
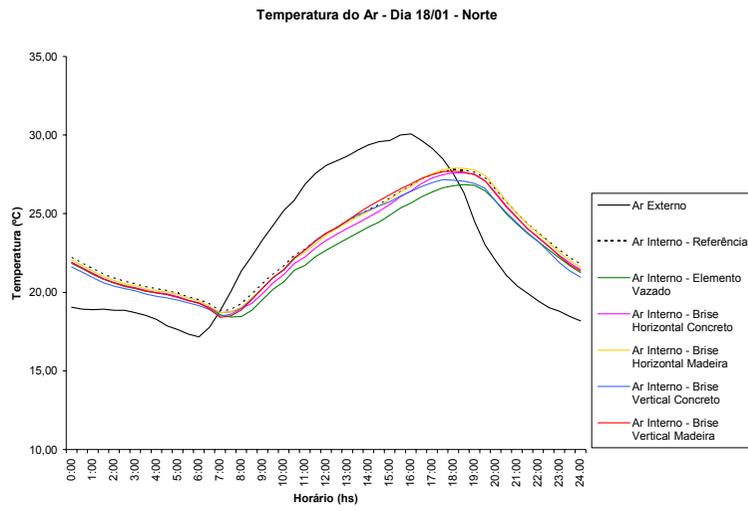


Fig. 116. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 17/01.



178 Fig. 117. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 18/01.

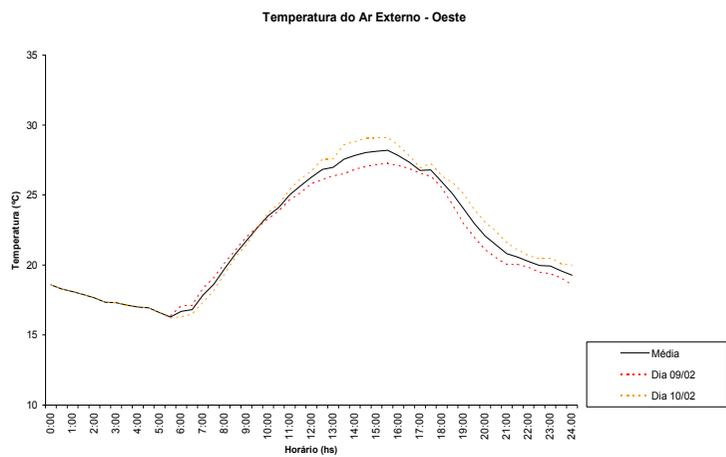


Fig. 118. Temperatura do ar externo - média e dias do intervalo de 09 e 10/02/2004.

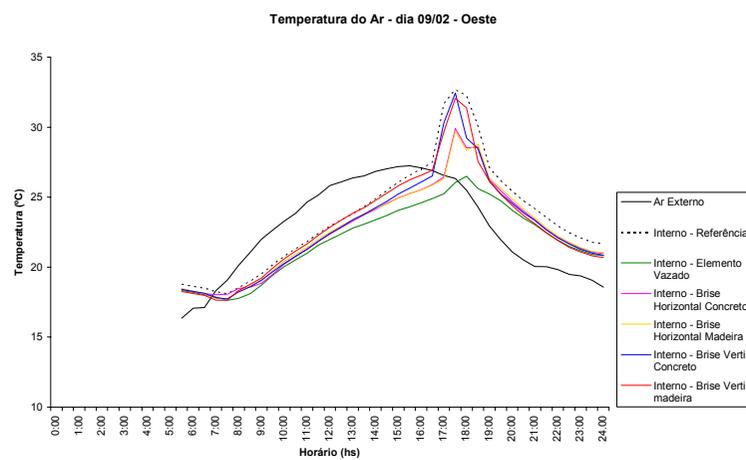


Fig. 120. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 09/02.

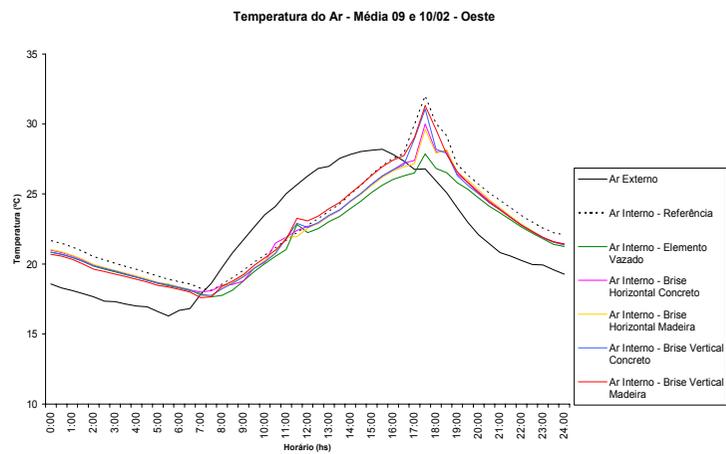


Fig. 119. Temperaturas médias do ar, externo e interno dos protótipos.

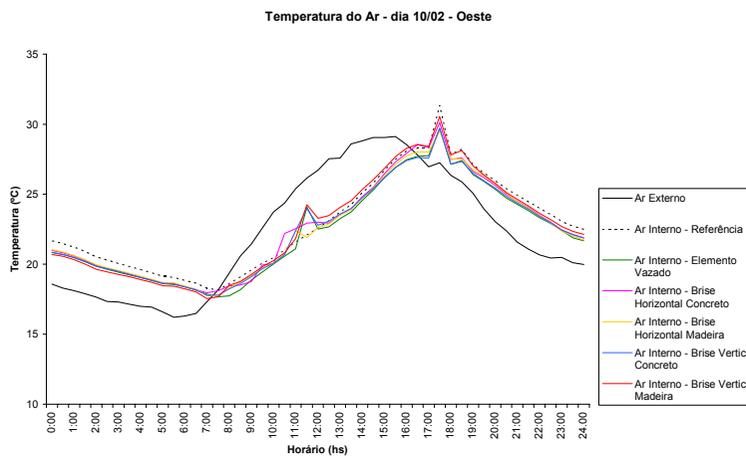


Fig. 121. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 10/02. Outono - fachada oeste: de 18 a 25 de março:

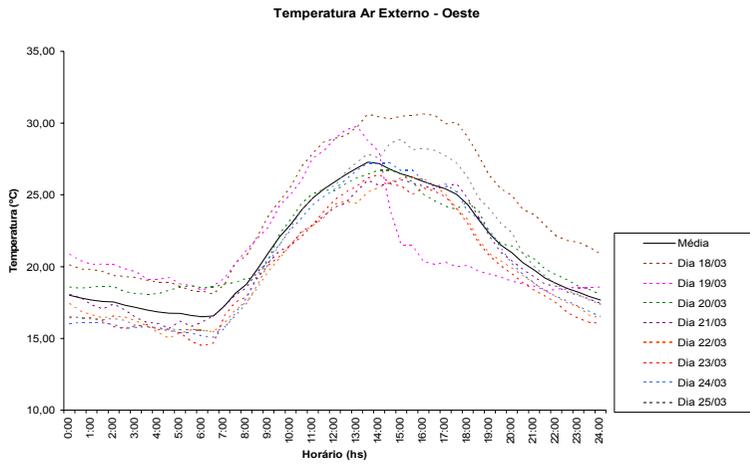


Fig. 122. Temperatura do ar externo - média e dias do intervalo de 18 a 25/03/2004.

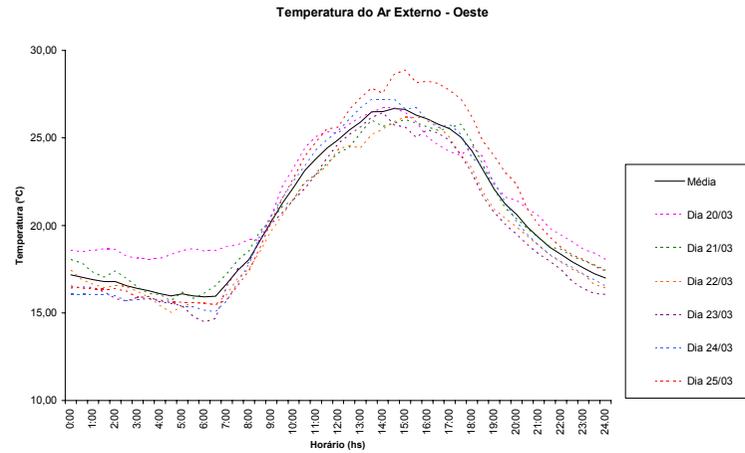


Fig. 124. Temperatura do ar externo - média da seleção de dias do intervalo de 20 a 25/03/2004

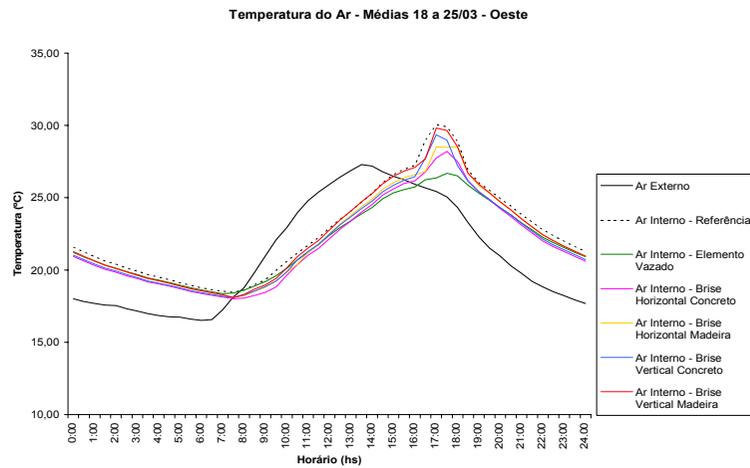


Fig. 123. Temperaturas médias do ar, externo e interno dos protótipos.

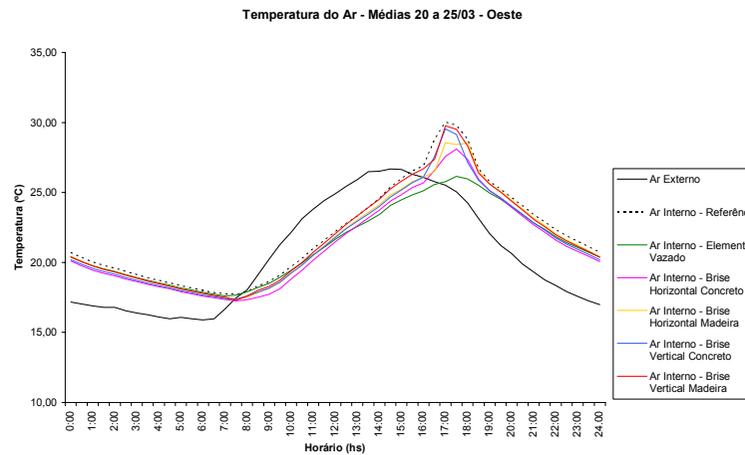


Fig. 125. Temperaturas médias do ar externo e interno dos protótipos (seleção de dias).

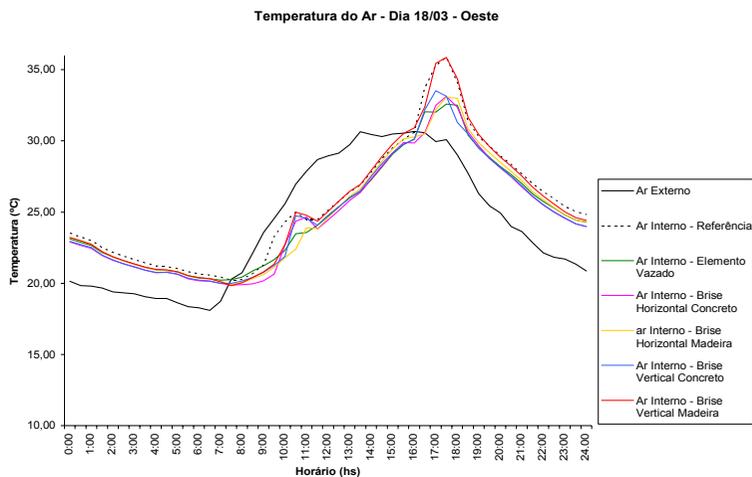


Fig. 126. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 18/03. (não selecionado)

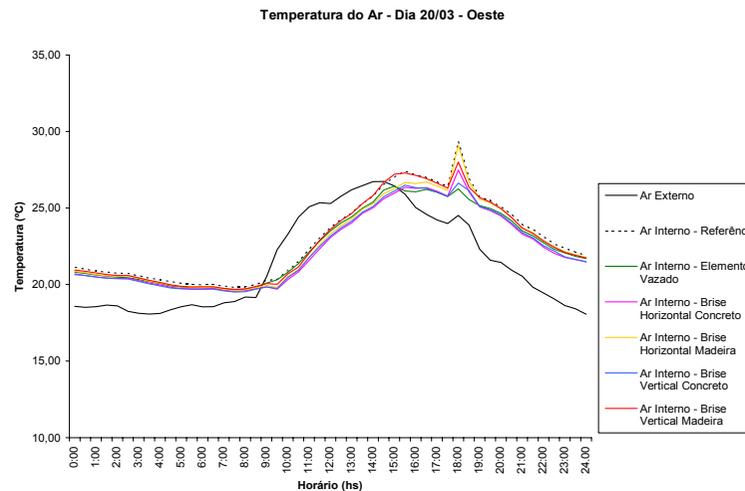


Fig. 128. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 20/03.

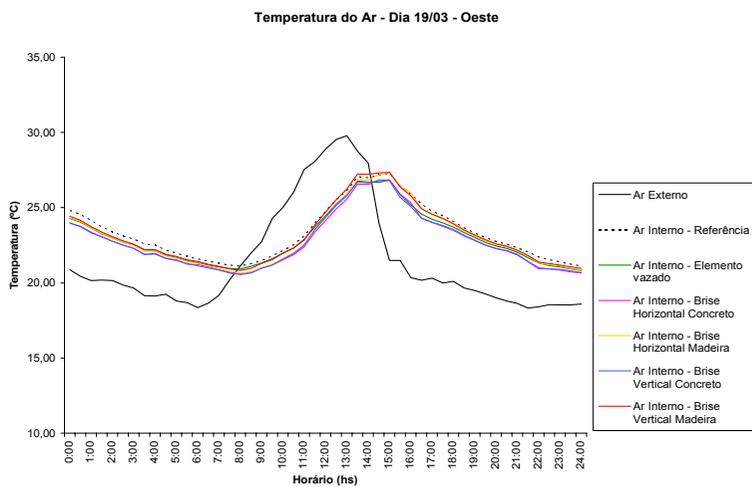


Fig. 127. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 19/03. (não selecionado)

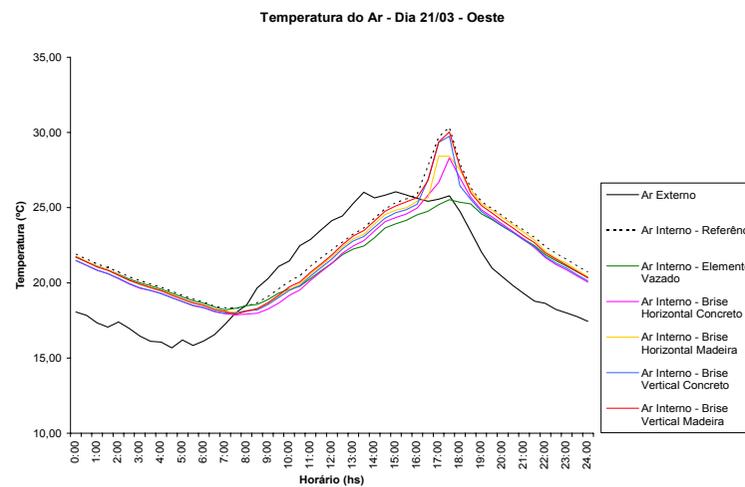


Fig. 129. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 21/03.

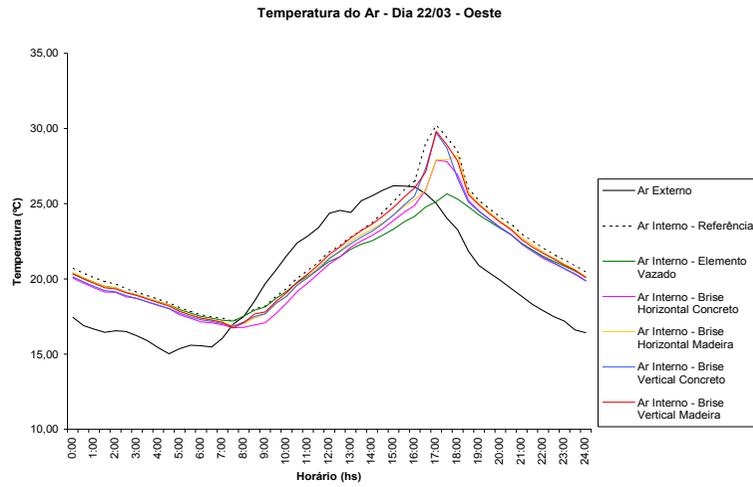


Fig. 130. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 22/03.

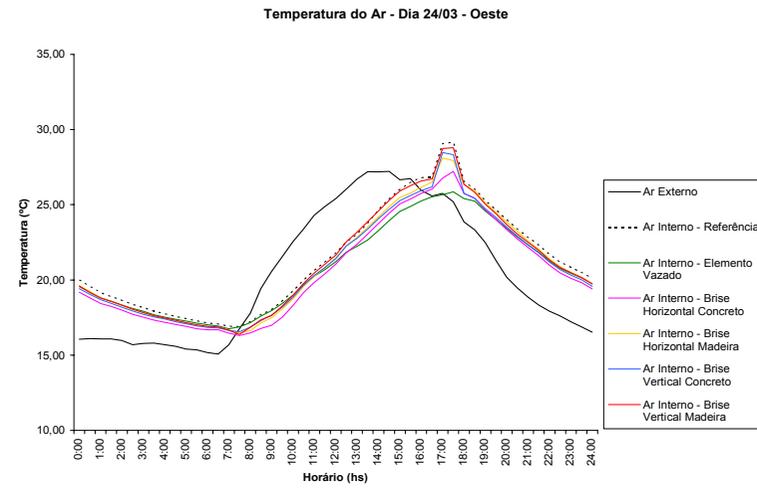


Fig. 132. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 24/03.

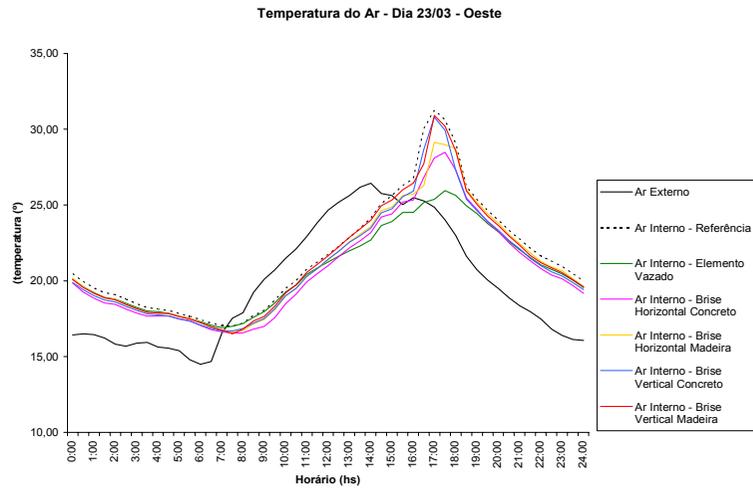


Fig. 131. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 23/03.

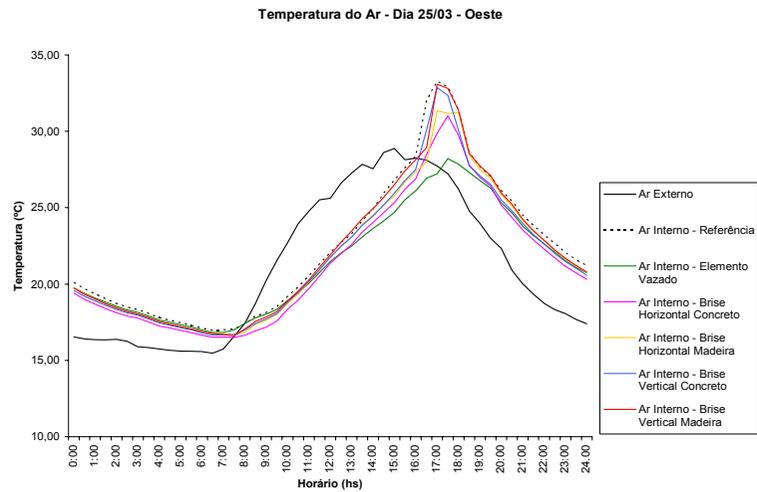


Fig. 133. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 25/03.

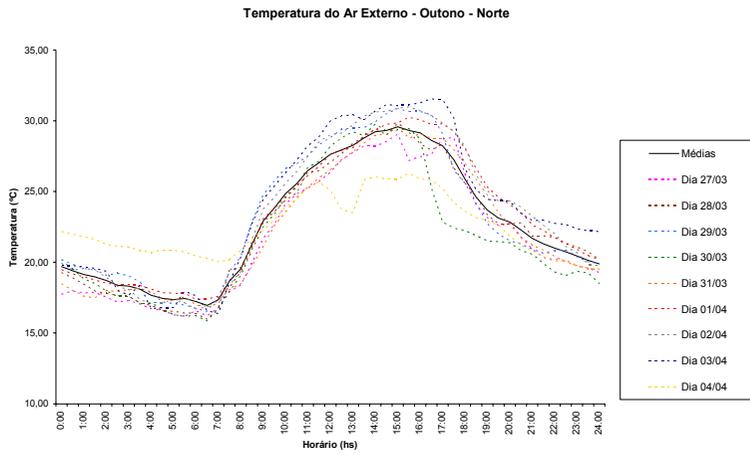


Fig. 134.. Temperatura do ar externo - média e dias do intervalo de 27/03 a 04/04/2004.

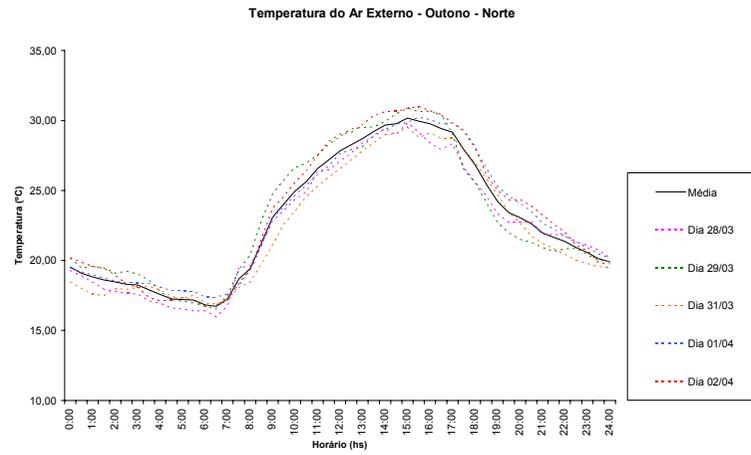


Fig. 136. Temperatura do ar externo - média seleção de dias do intervalo de 28/03 a 02/04/200. (dias 28, 29, e 31/03, e 01 e 02/04)

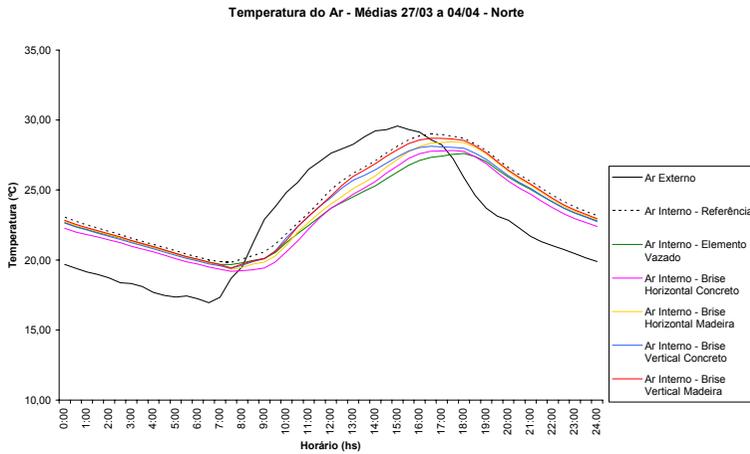


Fig. 135.. Temperaturas médias do ar, externo e interno dos protótipos.

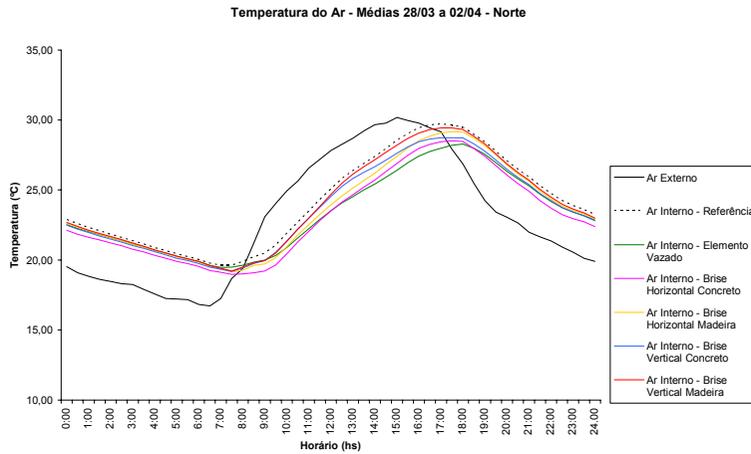


Fig. 137. Temperaturas médias do ar externo e interno dos protótipos (seleção de dias).

Outono - fachada norte: de 27 de março a 04 de abril

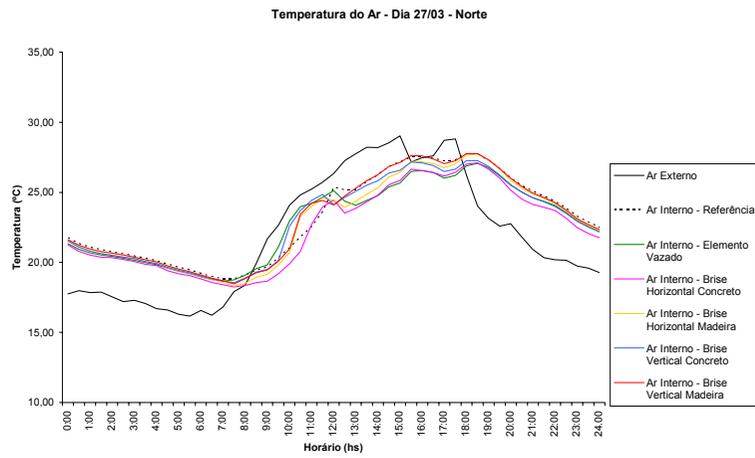


Fig. 138. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 27/03. (não selecionado)

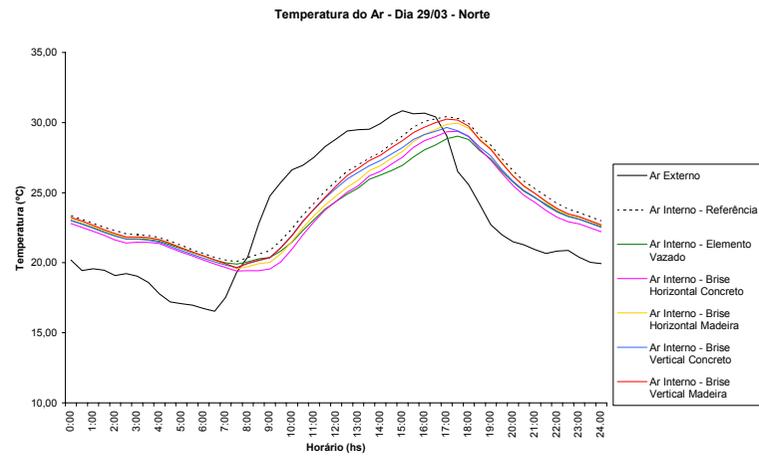


Fig. 140. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 29/03.

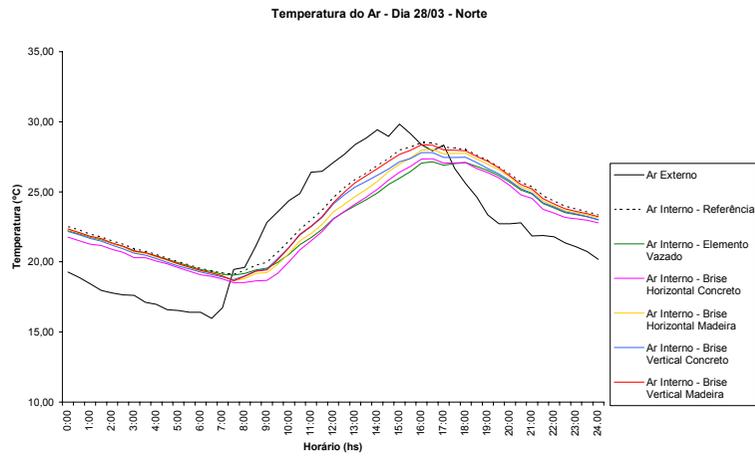


Fig. 139. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 28/03.

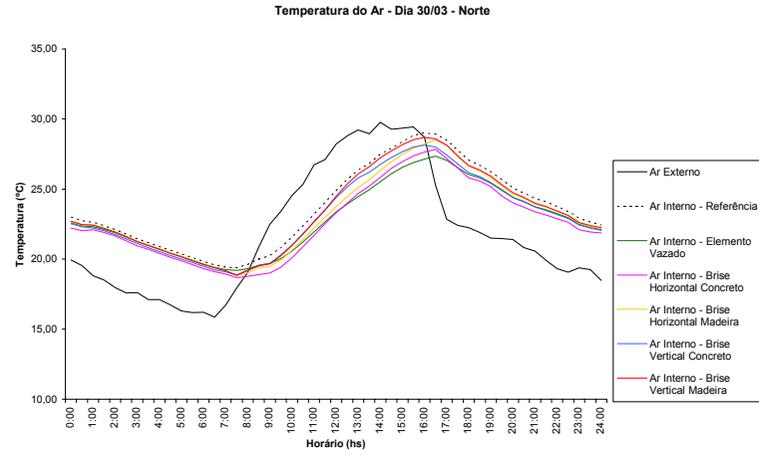


Fig. 141. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 30/03. (não selecionado)

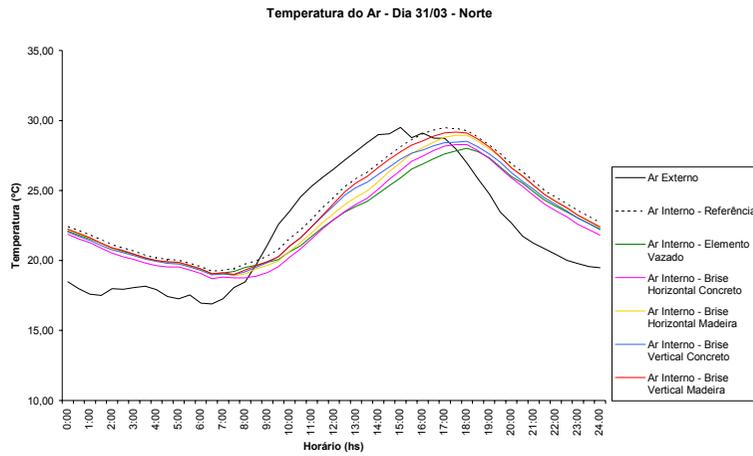


Fig. 142. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 31/03.

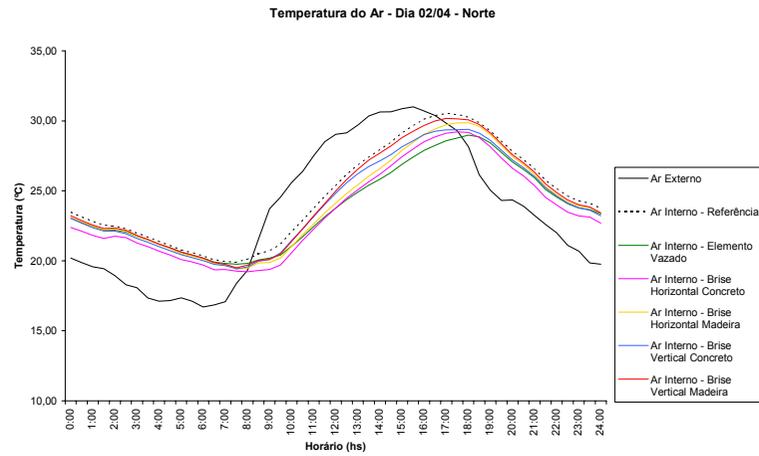


Fig. 144. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 02/04.

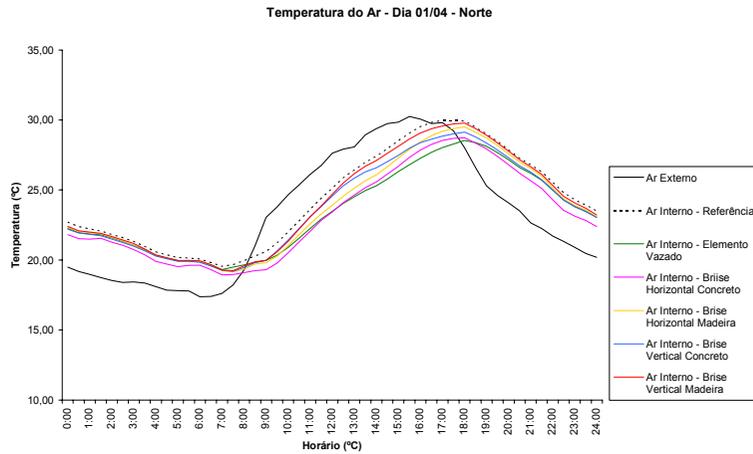


Fig. 143. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 01/04.

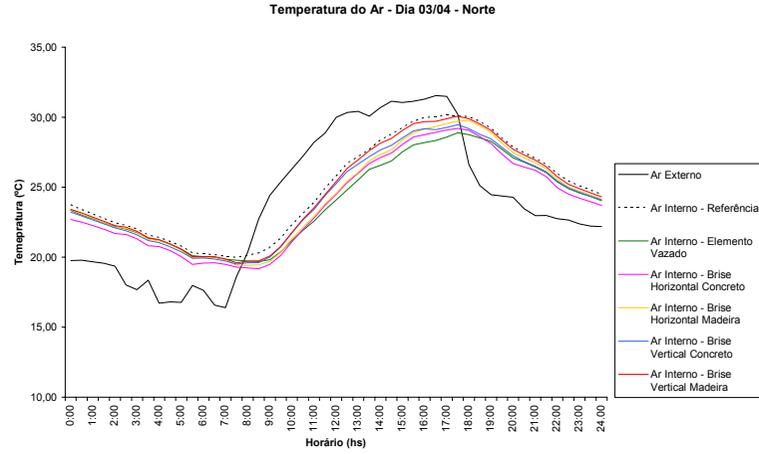


Fig. 145. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 03/04. (não selecionado)

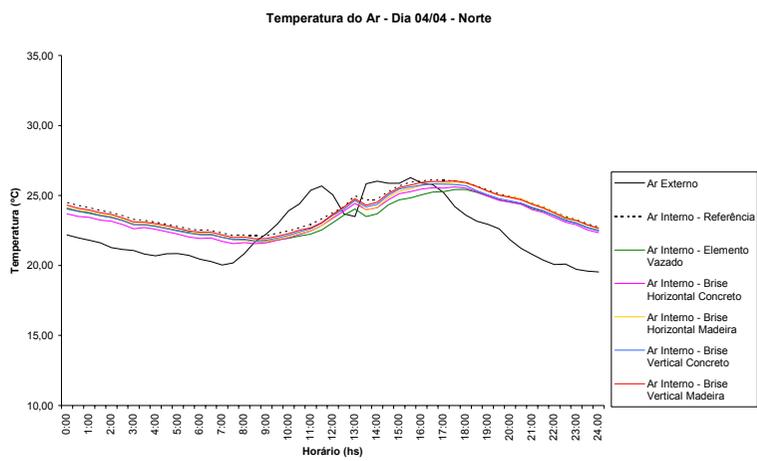


Fig. 146. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 04/04. (não selecionado)

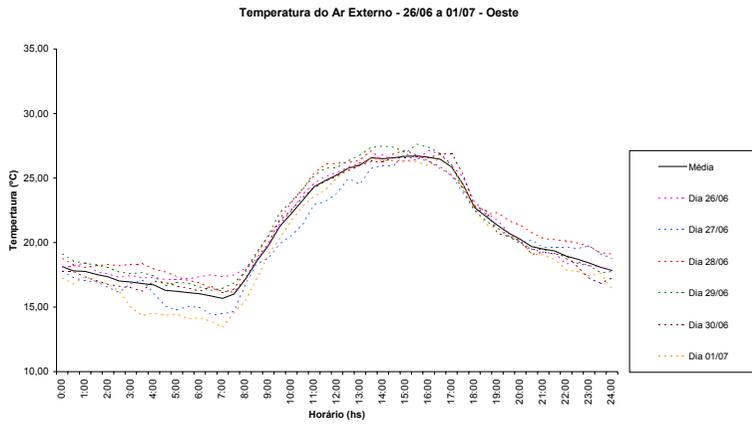


Fig. 147. Temperatura do ar externo - média e dias do intervalo de 26/06 a 01/07/2004.

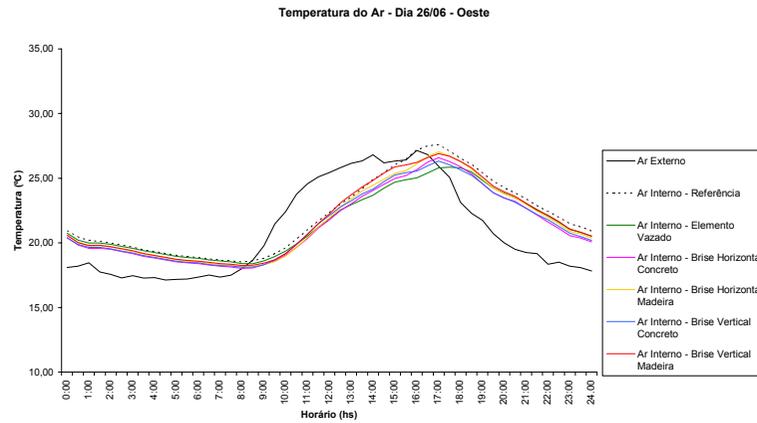


Fig. 149. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 26/06.

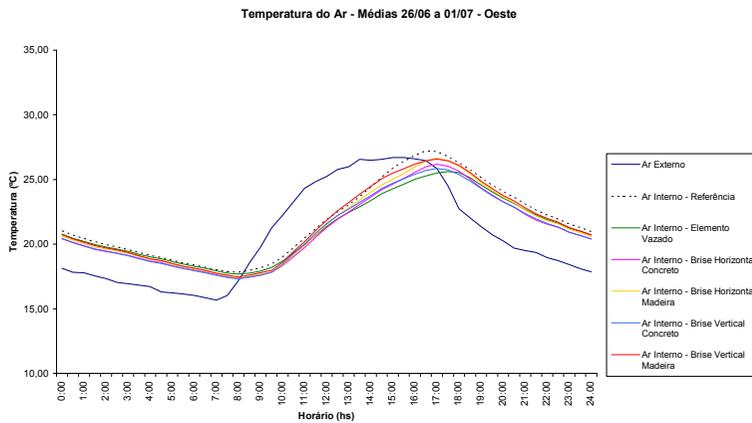


Fig. 148. Temperaturas médias do ar, externo e interno dos protótipos.

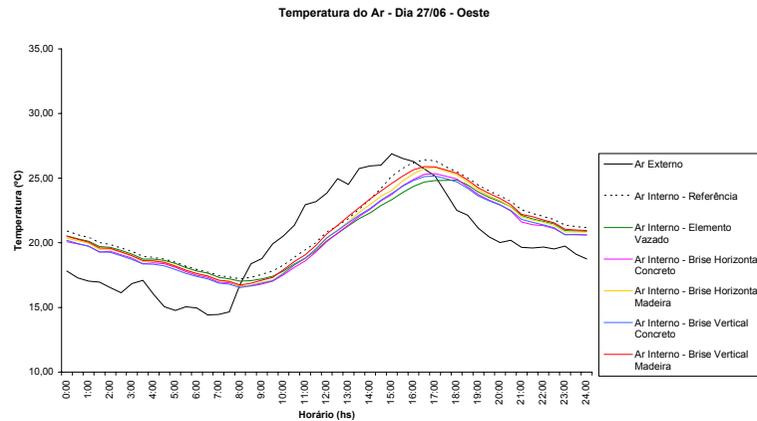


Fig. 150. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 27/06.

Inverno - fachada oeste: de 26 de junho a 01 de julho:

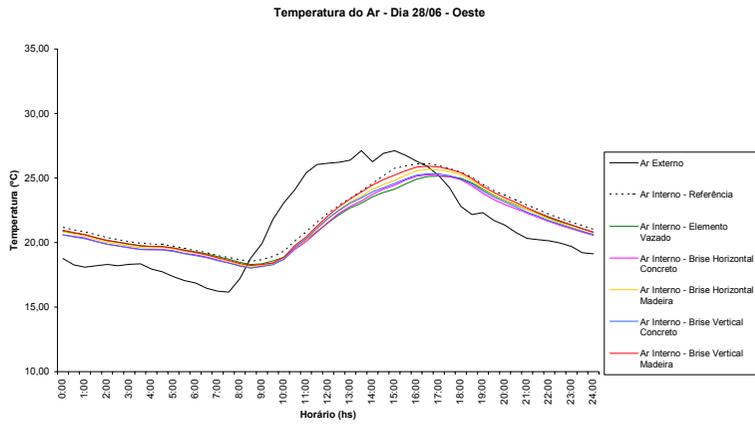


Fig. 151. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 28/06.

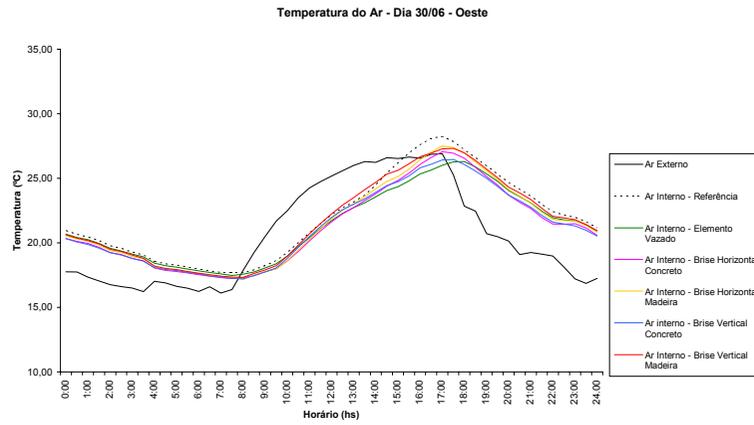


Fig. 153. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 30/06.

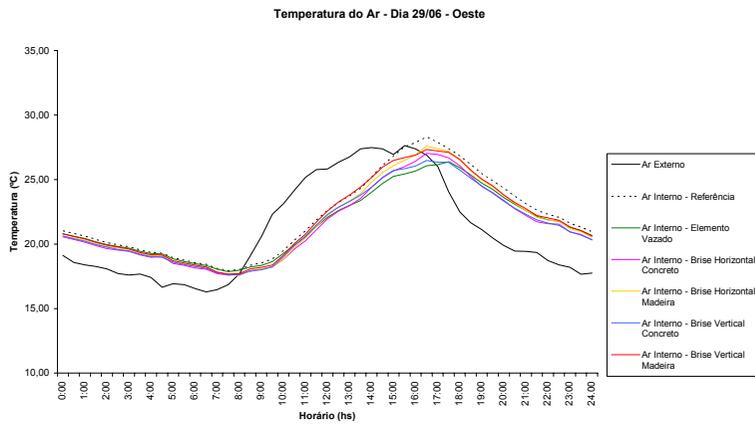


Fig. 152. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 29/06.

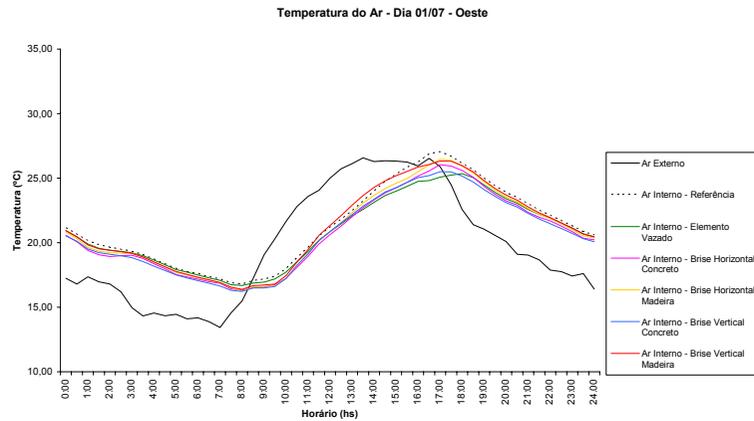


Fig. 154. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 01/07.

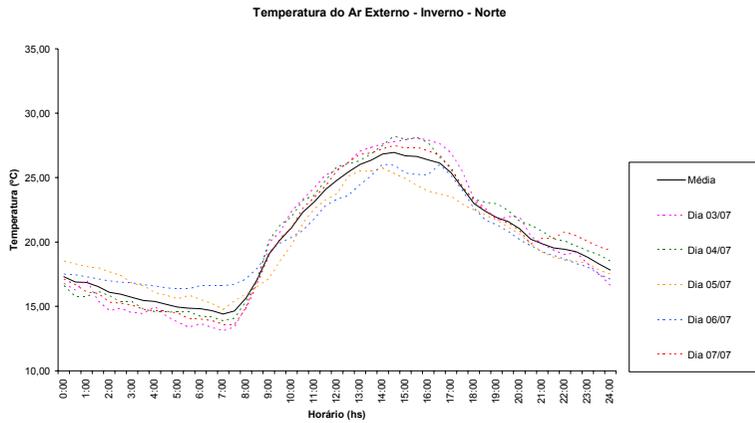


Fig. 155. Temperatura do ar externo - média e dias do intervalo de 03 a 07/07/2004.

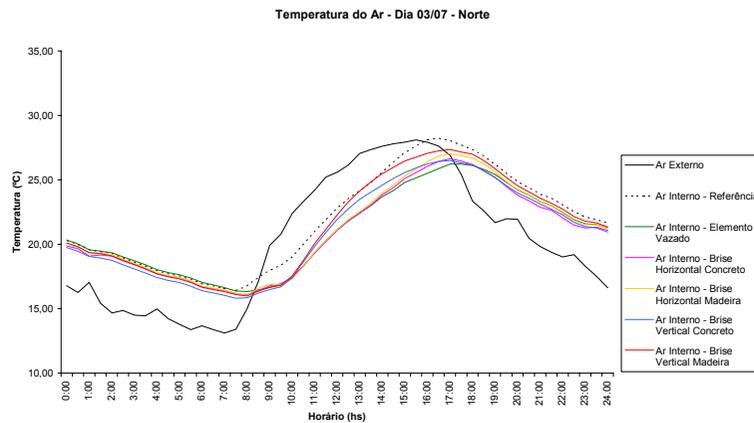


Fig. 157. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 03/07.

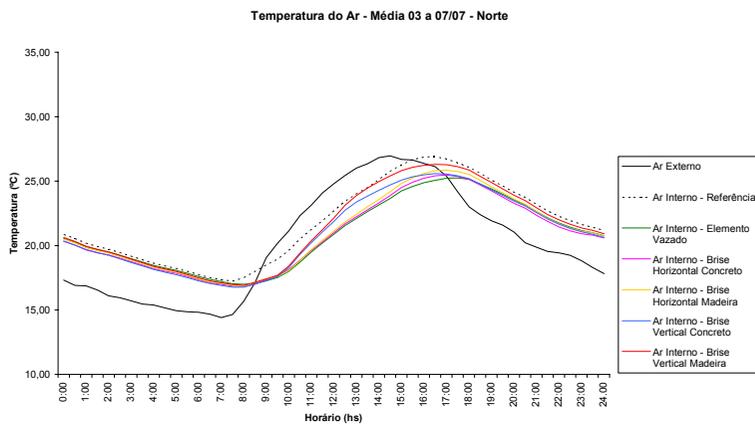


Fig. 156. Temperaturas médias do ar, externo e interno dos protótipos.

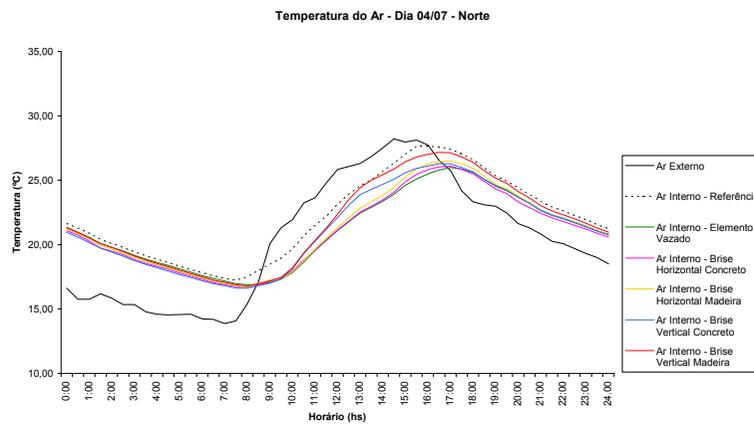


Fig. 158. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 04/07.

Inverno - fachada norte: de 03 de junho a 07 de julho.

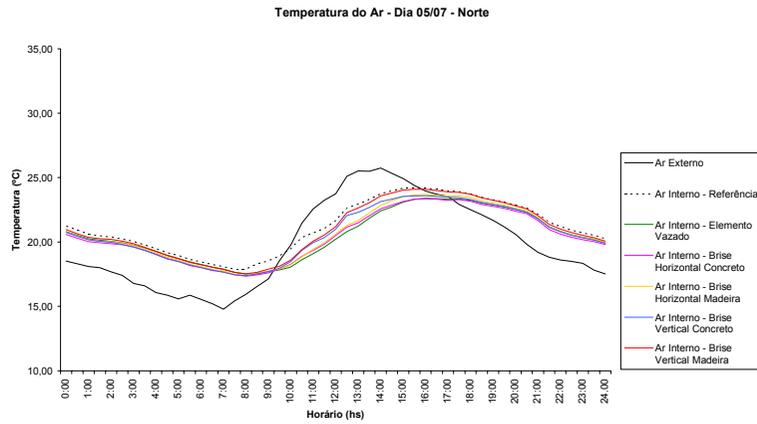


Fig. 159. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 05/07.

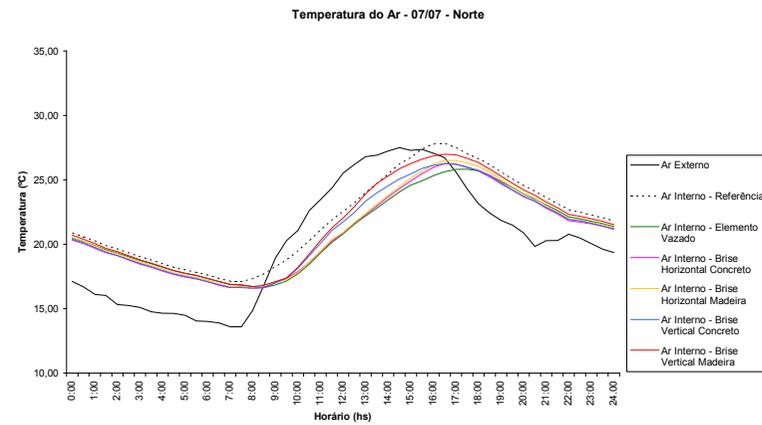


Fig. 161. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 07/07.

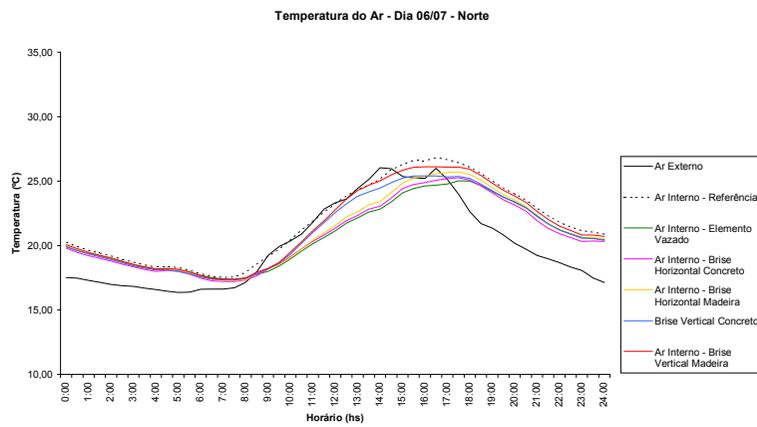


Fig. 160. Temperaturas do ar, externo e interno dos protótipos, no dia 06/07.