

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 18/08/00

Ass.: 

**REPERCUSSÃO DOS EFEITOS DE UM EPISÓDIO CLIMÁTICO
SIGNIFICATIVO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.**

RUTH CRISTINA MONTANHEIRO PAULINO

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016491



São Carlos

2000

Class.	TESE-EESC
Curt.	P 4730
Tombo	T0194/00.

31100016491

st 1099462

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P328r Paulino, Ruth Cristina Montanheiro
Repercussão dos efeitos de um episódio climático
significativo no desempenho térmico de edificações /
Ruth Cristina Montanheiro Paulino. -- São Carlos,
2000.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza.

1. Climatologia dinâmica. 2. Clima local.
3. Desempenho térmico de edificações. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Arquiteta **RUTH CRISTINA MONTANHEIRO PAULINO**

Tese defendida e aprovada em 08-06-2000
pela Comissão Julgadora:

Marcelo

Prof. Assoc. **MARCELO PEREIRA DE SOUZA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Francisco Vecchia

Prof. Doutor **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Maurício Roriz

Prof. Doutor **MAURÍCIO RORIZ**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Sandra Elisa Contri Pitton

Profª. Doutora **SANDRA ELISA CONTRI PITTON**
(UNESP - Campus de Rio Claro)

Mª Solange G. de C. Fontes

Profª. Doutora **MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES**
(UNESP - Campus de Bauru)

Evaldo Luis Gaeta Espindola

Prof. Doutor **EVALDO LUIS GAETA ESPÍNDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental

Jose Carlos A. Cintra

JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Esta Tese é dedicada aos meus filhos, Giuliano e Roberta,
e aos meus pais, Carlos e Ruth.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, que com sua Luz, sempre mostrou-me o caminho certo.

Ao meu companheiro Vicente (Bell), pelo apoio, incentivo e colaboração durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Marcelo Pereira de Souza, pela orientação e demonstração de amizade.

Ao Professor Dr. Francisco Vecchia, pelas orientações.

À Professora Dra. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes, pela amizade e pelas palavras de incentivo nos momentos certos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa de estudos concedida.

Ao Marçal, pela importante colaboração na confecção de figuras.

Ao Ari, pelas conversas nos finais de semana, nas quais adquiri importantes informações complementares sobre a climatologia dinâmica.

Ao meu sogro, Sr. Francisco, e minha sogra, Dona Sophia, pela presença constante em todos os momentos nos quais faltei aos meus filhos.

Aos funcionários do CRHEA, em especial ao Beto, e a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, com este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.2 JUSTIFICATIVA.....	5
2 MATERIAIS E MÉTODOS	9
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 CLIMA, ARQUITETURA E URBANISMO.....	16
3.1.1 O clima como condicionante da qualidade dos espaços construídos.....	16
3.1.2 Indicadores de conforto térmico.....	26
3.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ESPAÇOS CONSTRUÍDOS.....	35
3.2.1 Alguns métodos para avaliação de desempenho térmico.....	36
3.2.2 A utilização dos dados climáticos e as escalas climáticas de referência.....	42
4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO	47
5 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
5.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPOS DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS.....	55
5.2 ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPOS DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS COM BASE NA INTERPRETAÇÃO DE UM EPISÓDIO REPRESENTATIVO DO FATO CLIMÁTICO.....	59
5.3 DISCUSSÃO GERAL.....	82
6 CONCLUSÃO	86
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Incidência de carga térmica na cobertura de edifícios, através da radiação solar em diferentes latitudes.....	6
FIGURA 02 - Protótipo - Planta Baixa e Elevação Lateral.....	10
FIGURA 03 - Planta de situação dos protótipos.....	11
FIGURA 04 - Protótipo 01.....	11
FIGURA 05 - Protótipo 02.....	11
FIGURA 06 - Carta Bioclimática de Givoni.....	15
FIGURA 07 - Palafita - Brasil.....	19
FIGURA 08 - Yurt -Mongólia.....	19
FIGURA 09 - Cabana Maasai - Quênia.....	20
FIGURA 10 - Casa Boomer, Phoenix, Arizona, USA.....	20
FIGURA 11 - Casa do período de Nassau - Olinda, PE.....	23
FIGURA 12 - Casa Bandeirista - Casa do Padre Inácio - Cotia, SP.....	24
FIGURA 13 - Nomograma da Temperatura Efetiva Corrigida (TEC).....	28
FIGURA 14 - Nomograma de Terjung para delimitar o índice de conforto.....	29
FIGURA 15 - Nomograma para delimitar o índice de conforto para o Estado de São Paulo baseado em Terjung.....	30
FIGURA 16 - Carta Bioclimática de Olgyay.....	31
FIGURA 17 - Escalas do clima.....	45
FIGURA 18 - Esquema - ação antrópica e a influência no microclima.....	46
FIGURA 19 - Estação climatológica do CRHEA - localização.....	47
FIGURA 20 - Região Sudeste do Brasil.....	48
FIGURA 21 - Circulação Atmosférica da América do Sul - As Massas de Ar (Monteiro - 1968).....	50
FIGURA 22 - Esquema representativo das feições climáticas individualizadas no território paulista dentro das células climáticas regionais e das articulações destas nas faixas zonais (Monteiro - 1973).....	51

FIGURA 23 - Representação esquemática da superfície do solo da área onde se localizam os protótipos.....	54
FIGURA 24 - Gráfico de temperaturas internas (simulação) - Protótipo 01.....	56
FIGURA 25 - Gráfico de temperaturas internas (simulação) - Protótipo 02.....	58
FIGURA 26 - Fase Pré - Frontal - esquema ilustrativo.....	59
FIGURA 27 - Fase de Avanço - esquema ilustrativo.....	60
FIGURA 28 - Fase Pós - Frontal - esquema ilustrativo.....	60
FIGURA 29 - Análise do episódio climático de inverno ocorrido entre os dias 12 e 18 de agosto de 1999.....	63
FIGURA 30 - Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 12 de agosto de 1999.....	64
FIGURA 31 - Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 13 de agosto de 1999.....	65
FIGURA 32 - Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 14 de agosto de 1999.....	65
FIGURA 33 - Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 15 de agosto de 1999.....	66
FIGURA 34 - Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 16 de agosto de 1999.....	66
FIGURA 35 - Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 17 de agosto de 1999.....	67
FIGURA 36 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01 - dia 12 de agosto de 1999.....	69
FIGURA 37 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02 - dia 12 de agosto de 1999.....	70
FIGURA 38 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01 - dia 13 de agosto de 1999.....	72
FIGURA 39 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02 - dia 13 de agosto de 1999.....	73
FIGURA 40 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01 - dia 14 de agosto de 1999.....	75
FIGURA 41 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02 - dia 14 de agosto de 1999.....	76
FIGURA 42 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01 - dia 15 de agosto de 1999.....	78

FIGURA 43 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01 - dia 16 de agosto de 1999.....	79
FIGURA 44 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02 - dia 15 de agosto de 1999.....	80
FIGURA 45 - Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02 - dia 16 de agosto de 1999.....	81
FIGURA 46 - Gráfico representativo das variações de temperaturas externas e internas durante os dias 12, 13, 14, 15 e 16 de agosto de 1999, referentes ao protótipo 01.....	85
FIGURA 47 - Gráfico representativo das variações de temperatura externas e internas durante os dias 12, 13, 14, 15 e 16 de agosto de 1999, referentes ao protótipo 02.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Determinação do ano Climático de Referência, segundo Stamper (1977), através das médias mensais de temperatura (°C) - Série histórica: 1988 a 1998 - dados fornecidos pela Estação Meteorológica do CRHEA.....	13
TABELA 02 - Total anual e mensal de chuvas - Série histórica: 1988 a 1998 - dados fornecidos pela Estação Meteorológica do CRHEA.....	52
TABELA 03 - Temperaturas médias mensais e amplitude térmica média - Ano climático de referência : 1991 - dados fornecidos pela Estação Meteorológica do CRHEA.....	53
TABELA 04 - Variação horária de temperatura: Protótipo 01 (simulação).....	57
TABELA 05 - Variação horária de temperatura: Protótipo 02 (simulação).....	58
TABELA 06 - Variação horária de temperatura: Protótipo 01 (dia 12/08).....	69
TABELA 07 - Variação horária de temperatura: Protótipo 02 (dia 12/08).....	70
TABELA 08 - Variação horária de temperatura: Protótipo 01 (dia 13/08).....	72
TABELA 09 - Variação horária de temperatura: Protótipo 02 (dia 13/08).....	73
TABELA 10 - Variação horária de temperatura: Protótipo 01 (dia 14/08).....	75
TABELA 11 - Variação horária de temperatura: Protótipo 02 (dia 14/08).....	76
TABELA 12 - Variação horária de temperatura: Protótipo 01 (dia 15/08).....	78
TABELA 13 - Variação horária de temperatura: Protótipo 01 (dia 16/08).....	79
TABELA 14 - Variação horária de temperatura: Protótipo 02 (dia 15/08).....	80
TABELA 15 - Variação horária de temperatura: Protótipo 02 (dia 16/08).....	81

RESUMO

Este trabalho verifica os efeitos de um episódio climático significativo de inverno no desempenho térmico de protótipos de edificações, construídos com sistema construtivo convencional, no CRHEA - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, município de Itirapina, Estado de São Paulo, com a finalidade de demonstrar que a compreensão da sucessão de tipos de tempo pode contribuir para a tomada de decisões de projeto eficientes, no sentido de adaptar a edificação ao clima local. Assim, compara os resultados do desempenho térmico dos protótipos obtidos por simulação computacional, que faz uso de dados meteorológicos extraídos de normais climatológicas, com os resultados experimentais, tomados durante a ocorrência do episódio climático. Conclui que os ambientes construídos têm respostas diferentes de acordo com as excitações térmicas externas. Portanto, decisões sobre as atitudes projetuais, no sentido de adaptar uma edificação ao clima local, não devem ser tomadas apenas sobre resultados simulados, baseados em dados médios das variáveis climáticas, mas também, no conhecimento da dinâmica da atmosfera local.

Palavras chave: Climatologia dinâmica; clima local; desempenho térmico de edificações.

ABSTRACT

This work investigates the effects of a winter climatic event in the thermal behavior of structures prototypes, built using traditional constructive system, in CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) of Sanitation and Hydraulic Department of Engineering School of São Carlos (EESC - USP), Itirapina, State of São Paulo, in order to explain that understanding weather types sequence can help to take efficient decisions, with the purpose of adapting structures to the local climate. Compares results from prototypes thermal behavior acquired through computer simulation, using meteorological data obtained from historical serie, to experimental data taken during climate event. Concludes that structures has different answers depending on external thermal stimulus. Therefore, decisions about design purposes in order to adapt structure to local climate, must be taken not only considering simulation results based on climate average data, but also understanding the local atmosphere dynamics.

Key words: Dynamics climatology; local climate; thermal behavior of structures.

1 INTRODUÇÃO

A relação “ambiente climático - edifício” tem sido discutida e estudada nas últimas três décadas, no campo da arquitetura, sob o aspecto da eficiência energética e do conforto ambiental.

Vários pesquisadores têm proposto manuais e diretrizes para projeto arquitetônico e urbano, a partir das obras de OLGAY (1963) e GIVONI (1969) que ofereceram parâmetros bioclimáticos para a compreensão da relação entre o ser humano, o edifício e o ambiente climático, com o objetivo de se planejar espaços adequados às necessidades humanas de conforto.

Esses dois trabalhos deram origem a inúmeros outros que fizeram adaptações de suas metodologias para distintas regiões do planeta. Porém, na maior parte, estas pesquisas têm trabalhado em escalas climáticas regionais. Os postos meteorológicos que fornecem os dados dos elementos climáticos necessários para tais estudos, apesar de registrarem dados locais, acabam por representar uma área bem mais ampla, por serem poucos os postos devidamente equipados para fornecer tais informações. Desta forma, a relação “região - edifício” é que geralmente, tem sido considerada nos estudos referentes ao desempenho térmico de edificações.

O presente trabalho pretendeu demonstrar que, quando se trata da análise de edifícios, é a relação “local - edifício” que deve ser considerada, uma vez que a variação do “local”, dentro de um quadro geográfico regional, é bastante considerável.

O conceito de “região” e “local”, com relação à definição do perfil climático, não é igual para todas as partes do mundo. Existem territórios, cujas condições geográficas e topográficas permanecem semelhantes sobre grandes extensões, como é o caso de muitas áreas polares e tropicais. Nestes casos, a noção de clima regional e de clima local geralmente coincidem.

Para as regiões que possuem diferentes condições topográficas e que estão submetidas a variações constantes dos movimentos da atmosfera, como é o caso das regiões Sul e Sudeste do Brasil, estes dois conceitos devem ser compreendidos separadamente, pois a quantidade de horas de insolação, a turbulência do ar, a quantidade e distribuição de chuvas, as temperaturas (diurna e noturna), a amplitude térmica e a umidade do ar apresentam mudanças significativas entre uma localidade e outra, com poucos quilômetros de distância entre si.

Em função disto, o presente trabalho questiona a abordagem climática regional nos estudos relacionados à adaptação da arquitetura ao clima. O conhecimento das individualidades climáticas de cada local pode auxiliar os projetistas de arquitetura na produção de espaços com maior qualidade, relativa ao conforto térmico de seus usuários.

Outra questão discutida foi a respeito da metodologia utilizada para a aquisição dos valores dos elementos climáticos. Habitualmente é utilizado o método analítico separativo que utiliza dados das normais climatológicas representativas de séries históricas, que quanto mais longas, melhor podem representar o perfil predominante do clima regional. Porém, estes dados quando utilizados para traçar diretrizes e manuais de projeto, tendem a resultar em generalizações, ou seja, podem produzir edifícios que bem funcionam para um "clima médio", que na verdade não existe.

Os valores médios das variáveis climáticas não apontam as situações críticas do clima local, tampouco acusam os mecanismos dinâmicos da circulação atmosférica responsáveis por todas as variações no tempo que ocorrem ao longo das estações.

Quando se adota valores médios dos elementos climáticos para estudos do clima local, não se percebe o processo dinâmico da atmosfera que ocorre sucessivamente ao longo do ano.

Segundo MONTEIRO (1976), o ritmo de sucessão anual pode apresentar, mesmo que num curto período, sensíveis variações e, não raro grandes distorções em relação ao que seria habitual.

Considerando esta idéia, presume-se que uma edificação, ou um conjunto de edificações, devem ser concebidas tendo em vista não apenas as situações climáticas predominantes ao longo do ano, mas também as variações rítmicas do tempo, por onde

pode-se detectar as situações de “stress” térmico. Desta forma, as construções, através dos elementos arquitetônicos⁽¹⁾, dispositivos especiais⁽²⁾ e materiais adequados, poderão melhor responder às reais solicitações térmicas do local.

Segundo MANJE (1956), a função primeira do edifício é proporcionar abrigo para o seu usuário, portanto, as condições climáticas sob este ponto de vista, aparecem como condicionantes básicas na determinação da forma do edifício, do sistema construtivo, dos materiais de vedação e acabamento e na orientação de fachadas.

Os arquitetos, ao lidarem com o clima, não devem se fundamentar em conclusões que representem um perfil generalizado do clima, mas nas características dos tipos rítmicos e sucessivos de tempo e dos fatores locais (como topografia, uso e cobertura do solo) que podem modificar algumas das condições iniciais do clima.

O presente trabalho baseou-se na hipótese de que para o estudo do conforto térmico aplicado a edificações, é necessário identificar as situações críticas e rítmicas do clima local para que se possa interpretar corretamente as solicitações térmicas locais, a fim de produzir soluções arquitetônicas adequadas à elas.

Sendo assim, estudou a relação “ambiente climático - edifício” na escala climática local e, através de uma abordagem dinâmica da atmosfera, verificou a repercussão de um episódio representativo do fato climático, no desempenho térmico de edificações. Pretendeu-se mostrar que recomendações ou diretrizes para o projeto de edificações somente poderão ser realmente eficientes se resultarem de observações do comportamento do clima local, não perdendo de vista a gênese do clima regional que determina o ritmo climático (sucessão encadeada e rítmica de tipos de tempo).

(1) elementos arquitetônicos: janelas, portas, beirais, varandas, para-sóis, etc.

(2) dispositivos especiais: mecanismos de controles da abertura de janelas, portas, para-sóis, etc.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a repercussão de um episódio representativo do clima do Sudeste Paulista no desempenho térmico de edificações e verificar como a sucessão dos tipos de tempo pode contribuir para a tomada de decisões projetuais eficientes, em relação à adaptação das edificações ao clima local.

1.1.2 Objetivos Específicos

Pretendeu-se, com a utilização de protótipos, analisar o desempenho térmico de edificações construídas com sistema construtivo convencional durante um episódio representativo do ritmo climático local, a fim de:

1. Utilizar da abordagem dinâmica de interpretação do clima local na análise de desempenho térmico de espaços construídos.
2. Comparar os resultados da avaliação do desempenho térmico dos protótipos obtidos através de simulação computacional e da utilização de dados fornecidos por séries históricas tradicionalmente baseadas nas normais climatológicas, com os dados observados através de ensaios experimentais durante um episódio climático;
3. Contribuir para estudos que relacionam o edifício ao ambiente climático, no sentido de demonstrar a necessidade e a importância do conhecimento do perfil climático local e dos mecanismos atmosféricos que lhe dão origem, para a tomada de decisões em relação ao projeto do edifício

1.2 JUSTIFICATIVA

Os edifícios são projetados para atender, além das questões de ordem funcional, próprias do uso específico do edifício, as necessidades de conforto e segurança do usuário. Para isso, os conceitos de troca de calor e o conhecimento do ambiente climático no qual o edifício se insere, são úteis para que os ambientes internos respondam às exigências humanas de conforto.

Sabe-se que os elementos climáticos (temperatura e umidade do ar, vento, radiação solar e pressão atmosférica) produzem efeitos diretos sobre as sensações humanas. Estas variáveis participam das trocas de calor entre o homem e o meio ambiente. Os materiais de construção, a orientação do edifício em relação aos ventos e ao sol, o posicionamento e o dimensionamento das aberturas são alguns dos recursos que o projetista dispõe para determinar as condições térmicas do edifício, tornando-o adequado ao meio climático onde se insere.

A necessidade de se adaptar as edificações ao clima tem sido justificada, principalmente a partir dos anos 70, através do conceito da eficiência energética (edifícios que possuem desempenho térmico satisfatório com baixo consumo de energia).

Nos dias atuais, esta justificativa foi ampliada com outros conceitos como: a manutenção da qualidade de vida e a minimização de impactos ambientais. Consumindo-se menos energia para climatizar artificialmente os ambientes internos das edificações, reduz-se a solicitação para a construção de usinas geradoras de energia, construções estas, causadoras de inúmeros impactos ambientais; além disto, sendo o projeto dos edifícios orientado pelas características climáticas locais, pode-se obter construções que não necessitam do uso de equipamentos para climatização artificial, podendo oferecer ao usuário do espaço, o controle voluntário das condições do ambiente através da movimentação dos próprios elementos arquitetônicos como: aberturas, fechamentos, pára-sóis, etc.

Dos elementos que compõem o edifício, a cobertura pode ser considerada, para as regiões tropicais, como sendo a parte mais vulnerável da edificação aos efeitos da radiação solar, chuva, vento, entre outros, tendo grande importância na proteção do edifício contra

as intempéries. Além disto, é o elemento que recebe a maior quantidade de energia, uma vez que fica exposta tanto à radiação solar direta, como à difusa e à refletida pelas nuvens ou por outros corpos que constituem o entorno, durante todo o período diurno. Portanto, a carga térmica acumulada e transmitida pela cobertura ao interior da edificação, tende a ser mais elevada em relação à outros elementos como, paredes e outros fechamentos verticais.

Segundo OLGYAY (1973) as paredes de uma edificação recebem maior carga térmica nas latitudes mais altas, porém, para as latitudes mais baixas, sua importância cai em relação à cobertura. Esta aumenta sua carga térmica nas latitudes inferiores (figura 01).

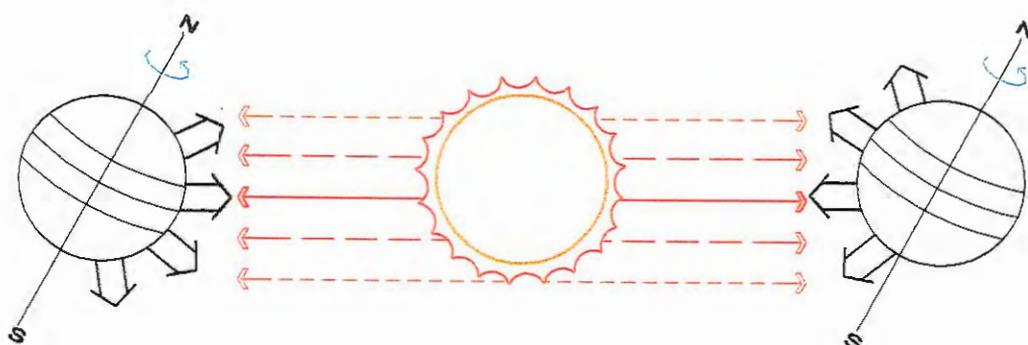


FIGURA 01

Fonte: o autor

Levando isto em consideração, para verificar os objetivos propostos por esta pesquisa, optou-se por avaliar o desempenho térmico de protótipos de edificações construídos de alvenaria de tijolo comum e cobertos com telha de barro, variando apenas o peso da cobertura no que diz respeito à sua capacidade térmica, ou seja, um protótipo foi construído com cobertura leve, sem forro, e outro com cobertura de maior inércia térmica (com forro).

Foram adotados protótipos feitos de tijolos maciços de barro (5x10x20) e cobertos com telha de barro, por serem estes materiais, os mais utilizados no Estado de São Paulo para a construção de edificações, tanto residenciais como religiosas e civis. O uso destes

materiais aparece no território paulista desde o início da sua colonização. Por este motivo, este tipo de construção é considerada como “tradicional”.

A utilização do barro como material de alvenaria de vedação e confecção de telhas faz parte da história da arquitetura paulista desde o segundo século da colonização. Isto porque, o barro sempre foi o material mais abundante e de fácil manipulação no Planalto Paulista. Sua utilização consagrou-se inicialmente com a **taipa de pilão**, substituída pelo tijolo, principalmente depois da chegada dos imigrantes europeus, somente no final do século XIX.

O uso do tijolo de barro aos poucos foi substituindo a taipa tornando-se, culturalmente, o material de construção tradicional do Estado de São Paulo.

Quanto à telha de barro, esta tem sido utilizada na arquitetura paulista desde as primeiras construções rurais bandeiristas.

Segundo SAIA (1972), fazia parte do esquema construtivo da residência dos fazendeiros seiscentistas as paredes de taipa (vedação e estrutura) e o telhado de quatro águas feito de telhas de canal.

A reprodução das mesmas soluções construtivas na maior parte dos territórios que apresentam diferenças climáticas significativas, como é o caso do Estado de São Paulo, leva à uma tendência de padronização das soluções arquitetônicas e urbanísticas, podendo ter como resultado conseqüências desastrosas que vão desde o aparecimento de patologias construtivas e o consumo excessivo de energia, até o comprometimento da saúde dos usuários dos espaços construídos.

Há necessidade de se conhecer com relativa precisão, qual o comportamento climático do local onde se constrói, para então adotar as características do clima como parâmetros de orientação do desenho urbano e da arquitetura.

São muito poucos os lugares do mundo nos quais o clima se apresenta em condições de criar uma situação totalmente favorável às exigências humanas de conforto. Na grande maioria dos casos, é preciso evitar ou reforçar a incidência de um ou mais agentes climáticos para produzir um desempenho térmico satisfatório das edificações.

Para conseguir este desempenho térmico satisfatório através das formas e materiais arquitetônicos, da orientação da edificação e desenho dos lotes, entre outros recursos, é

necessário ter conhecimento das principais características do meio ambiente natural que constituem o clima local.

Quando se estuda o clima local através dos dados médios extraídos de séries históricas, é quase impossível selecionar os períodos representativos da ocorrência de “stress térmico”, devido à estas não apontarem os mecanismos da circulação atmosférica que atuam nas mudanças de tempo.

Estes períodos, ou **episódios representativos**, consistem uma seqüência de modificações no estado do tempo atmosférico marcada pela movimentação das massas de ar que dominam uma dada localidade.

A análise do clima através de **episódios representativos** do fato climático, para a aplicação na avaliação de desempenho térmico de edificações, é uma abordagem alternativa de interpretação do clima que se baseia na dinâmica dos fenômenos atmosféricos, podendo evidenciar situações “críticas” relativas aos índices médios de pluviosidade, incidência de radiação solar, umidade do ar, velocidade e direção de ventos. Estas situações tendem a se repetir de forma encadeada e sucessiva em uma mesma localidade, nas formas de tipos de tempo, de maneira que estes episódios podem ser utilizados como parâmetros climáticos para estabelecer as necessidades de conforto térmico quando se aborda o espaço construído.

Esta metodologia, sugerida por VECCHIA (1997), permite uma atitude projetual fundamentada em situações mais próximas das reais que são características pertinentes ao local analisado e não baseada, apenas, em recomendações genéricas de projeto relacionadas em função de valores médios de dados meteorológicos extraídos de séries históricas.

A maior parte das metodologias utilizadas para a avaliação de desempenho térmico de ambientes construídos têm feito uso de valores médios das variáveis climáticas. Este trabalho pretendeu demonstrar que a avaliação de desempenho térmico feita com dados extraídos da análise de episódios climáticos representativos pode traduzir com maior eficiência a realidade climática local, contribuindo assim, com parâmetros precisos para a produção de ambientes adaptados às solicitações térmicas locais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos propostos, esta investigação estruturou-se em quatro aspectos básicos:

1. revisão de literatura para fundamentação teórica do trabalho;
2. simulação computacional do desempenho térmico de dois protótipos de ambiente construído, com base em dados de normais climatológicas extraídos de série históricas;
3. ensaio experimental do desempenho térmico dos mesmos protótipos durante a passagem de um episódio climático representativo do ritmo da circulação atmosférica que atua sobre o local;
4. análise e interpretação dos resultados observados.

Ferramentas:

Para a realização desta investigação, foram utilizados dois protótipos de ambiente construído, com 5,00 m² cada um (figura 02), construídos em área livre do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (figura 03), sendo um com cobertura leve, sem laje, e outro coberto com laje pré-moldada e telhas de barro, ou seja, com maior inércia térmica que o primeiro, a fim de melhor comparar a análise do desempenho térmico feita por simulação computacional com a análise experimental.

O sistema construtivo utilizado na construção dos protótipos é o convencional (paredes de alvenaria de tijolo comum, sem revestimento), pintados externamente e internamente com uma demão de tinta branca, sendo:

- **protótipo 1:** cobertura em telhas de barro, tipo romana, sem laje (figura 04); inércia térmica: retardamento considerado de 0,53 h e amortecimento de 13%; coeficiente de transmissão térmica (W/m². °C): fluxo ascendente (calor vindo de baixo - situação de inverno) de 5,510 W/m². °C; fluxo descendente (calor vindo de cima - situação de verão) de 3,552 W/m². °C.

- **protótipo 2:** cobertura em telhas de barro, tipo romana, com laje pré moldada de 0,10m, em concreto e blocos cerâmicos (figura 05). O espaço entre a laje e as telhas constitui uma lâmina de ar com um volume de aproximadamente 1,5 m³; inércia térmica do conjunto: retardamento considerado de 2,04 h e amortecimento de 41%; coeficiente de transmissão térmica (W/m². °C): fluxo ascendente (calor vindo de baixo - situação de inverno) de 2,48 W/m². °C; fluxo descendente (calor vindo de cima - situação de verão) de 1,987 W/m². °C.

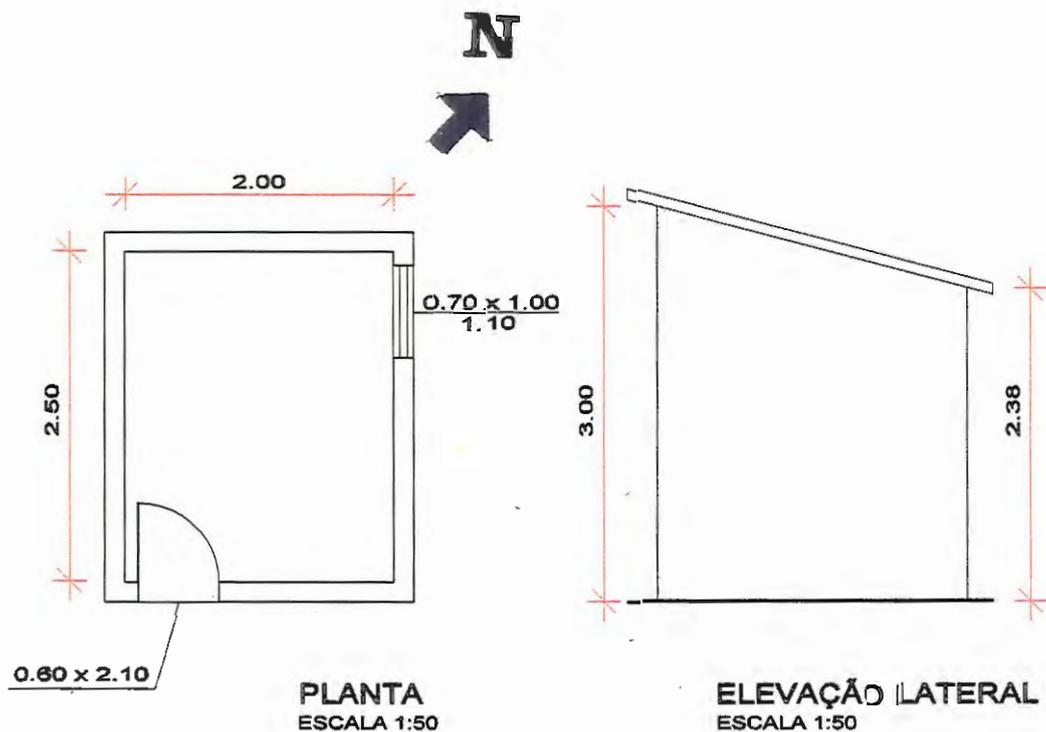


FIGURA 02

Fonte: o autor

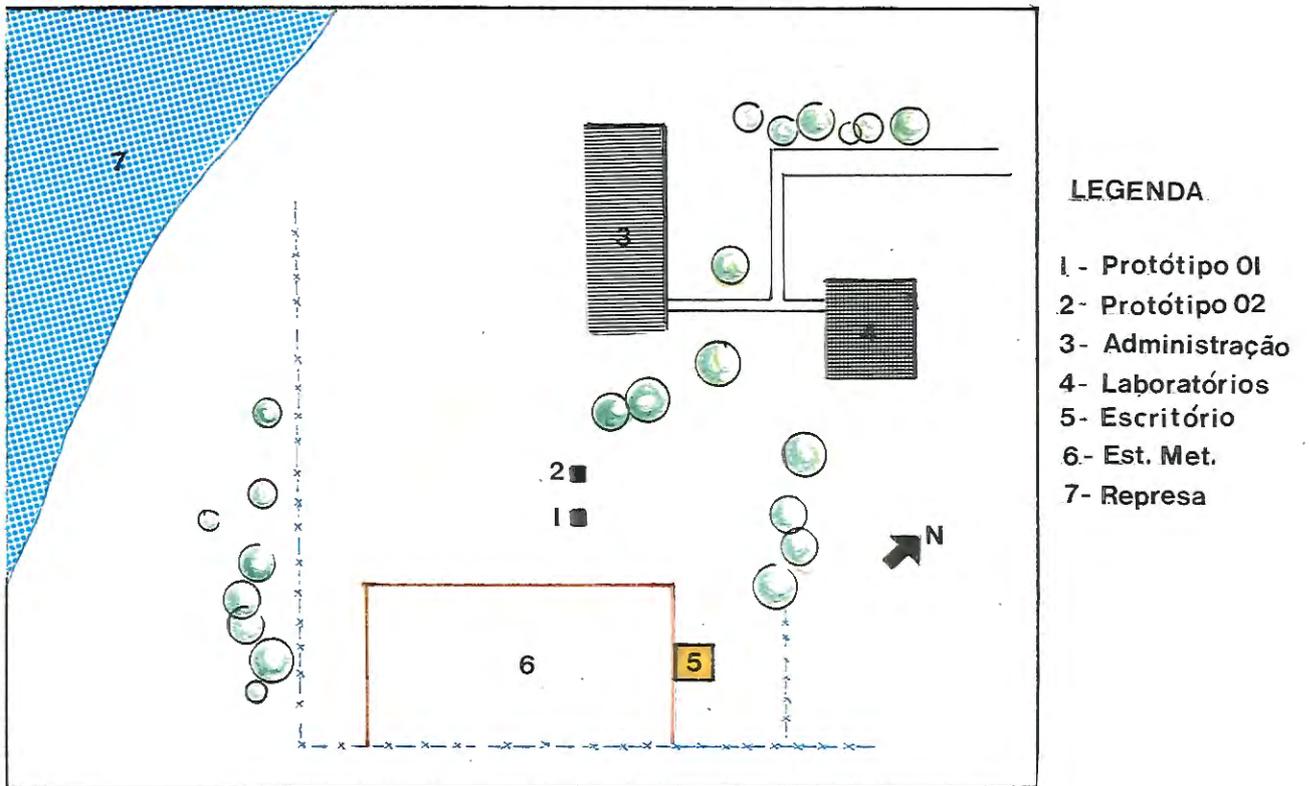


FIGURA 03 - Planta de implantação dos protótipos – CAMPUS CRHEA-Esquema
Fonte: o autor Escala 1:2500



FIGURA 04 - Protótipo 01
Fonte: o autor



FIGURA 05 - Protótipo 02
Fonte: o autor

Para a realização da simulação computacional do desempenho térmico dos protótipos foi utilizado o software **ARQUITROP** versão 3.0, que consiste em um sistema integrado de rotinas e banco de dados para apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia civil, programado por RORIZ e BASSO.

As rotinas de cálculo adotadas no **ARQUITROP** são adaptadas de algoritmos desenvolvidos por diversos especialistas nacionais e estrangeiros. A descrição detalhada das principais rotinas de cálculo podem ser consultadas no **ARQUITROP 3.0 - Guia do usuário (s/d)**.

Para a análise climática e estabelecimento de recomendações para projeto este programa faz uma adaptação das planilhas de MAHONEY (1971). Trabalha com um banco de dados climáticos de diversas cidades brasileiras fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e pela Diretoria de Rotas Aéreas do Ministério da Aeronáutica, sendo que tais dados referem-se à série histórica entre os anos de 1931 e 1960, portanto apresenta os valores dos componentes climáticos sob a forma de médias mensais referentes aos 29 anos consultados.

O **ARQUITROP** não leva em consideração a atividade exercida no edifício, ou seja, a função do edifício, o calor proveniente de outros ambientes, não possibilita a análise de proteção para sombreamento (para-sóis, beirais, vegetação). Como esta pesquisa não avalia estas condicionantes, uma vez que utiliza protótipos de edificações, de um só cômodo, sem uma função específica e sem o elemento humano, julgou-se apropriado o uso deste “software”, para este caso.

Para a execução da simulação, foi inserido no banco de dados do programa, uma nova ficha de dados climáticos, referentes ao local de estudo (Campus do CRHEA, município de Itirapina, SP). Para tanto, utilizou-se informações climáticas coletadas na estação meteorológica clássica do CRHEA, entre os anos de 1988 e 1998.

Através dos dados desta série histórica adotou-se o ano de **1991** (tabela 01) como o ano climático típico, utilizando o método do **Test Reference Year** descrito por STAMPER (1977). Trata-se de um procedimento utilizado para selecionar um ano que represente o perfil climático de um local específico. Este procedimento consiste na eliminação dos anos da série analisada, que apresentam temperaturas mensais extremas

(máximas e mínimas) até restar somente um ano, considerado como sendo aquele representativo, quanto aos valores das variáveis climáticas, das características climáticas locais.

Optou-se por utilizar o Test Reference Year por ser uma metodologia internacionalmente aceita para cálculos de consumo de energia e ser considerado como uma referência da realidade climática local. Efetuando-se a simulação com estes dados e comparando os resultados com os observados através do ensaio experimental, reuniu-se o material necessário para a verificação dos objetivos deste trabalho.

TABELA 01: Determinação do Ano Climático de Referência, segundo STAMPER (1977), através das Médias Mensais de Temperatura (°C) - Série Histórica: 1988 a 1998

Ano / Mês	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
JAN.	22,6	22,3	24,3	23,0	23,3	24,0	22,9	24,4	23,0	23,5	23,9
FEV.	22,9	23,3	24,0	23,5	22,6	22,7	24,9	22,5	23,4	23,8	23,4
MAR.	23,1	23,1	23,6	22,3	22,3	23,6	22,3	22,3	22,6	22,0	23,3
ABR.	22,1	21,8	22,5	21,0	20,6	21,8	21,3	21,6	20,6	20,1	20,2
MAIO	19,6	18,0	17,7	18,2	19,4	18,4	19,9	18,4	17,2	17,8	16,8
JUN.	16,2	16,6	16,3	17,3	17,6	16,8	16,2	16,9	15,7	16,8	15,3
JUL.	14,9	15,4	15,7	16,5	17,0	17,4	17,0	18,5	15,9	17,3	16,3
AG.	18,6	18,3	18,8	19,0	18,6	17,2	18,5	19,9	19,1	17,5	18,9
SET.	22,0	18,9	18,4	20,7	19,3	19,8	21,6	20,0	19,9	20,9	20,0
OUT.	21,2	19,9	22,6	21,9	22,0	22,1	23,4	20,1	22,4	21,8	19,9
NOV.	22,0	21,7	24,5	23,5	22,3	23,4	22,5	21,1	22,1	22,9	21,2
DEZ.	23,2	22,5	23,9	223,2	22,8	23,0	23,1	21,8	23,7	22,3	24,4

Fonte: Estação Meteorológica Clássica do CRHEA - Itirapina, SP

LEGENDA:

- maiores temperaturas médias mensais
- menores temperaturas médias mensais

Para o ensaio experimental foi utilizado o método sugerido por VECCHIA (1997) que consiste na aplicação de episódios representativos do fato climático para a avaliação

de desempenho térmico de edificações. Este método é constituído por duas fases principais: a definição do episódio representativo e o acompanhamento da evolução do desempenho térmico do objeto analisado durante o episódio.

A descrição detalhada do método pode ser verificada em VECCHIA (1997).

Para a definição do episódio representativo do fato climático foi necessário, inicialmente, o acompanhamento dos estados atmosféricos, através de observações visuais (conduta do regime de ventos, sistema de nuvens e ocorrência de chuvas) em seguida, a consulta em imagens do satélite GOES - 8, fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), onde pôde-se visualizar a entrada da frente fria, sua intensidade e duração.

Durante o episódio efetuou-se a coleta de dados de temperatura do ar externa através do uso de equipamentos especiais de monitoramento climático, constituídos por estação meteorológica clássica, instalada no CHREA, e dos dados de temperatura internas dos protótipos, medidos por grupos de sensores eletro-eletrônicos ligados a um datalogger (Datalogger CRIOX - Measurement & Control Module, Campbell Scientific Inc.), instalado em uma caixa ambientalmente selada de 12"x 14".

Através dos valores de temperatura superficial interna das coberturas, temperatura de bulbo seco e temperatura de globo, registrados continuamente a cada minuto e expressos em intervalos de 30 minutos, pôde-se acompanhar a evolução do desempenho térmico dos protótipos analisados, obtendo-se a resposta térmica do ambiente interno, em relação às excitações do clima externo, e as respostas das diferentes coberturas em relação ao ganho térmico diurno (incidência de radiação solar) e perda térmica noturna (radiação noturna emitida pelas envolventes).

Após a simulação e o ensaio experimental, os valores das temperaturas internas dos protótipos foram comparados com valores que definem a "zona de conforto térmico humano", a fim de verificar se as respostas térmicas dos protótipos correspondem às exigências humanas de conforto.

Adotou-se a carta bioclimática de GIVONI (1992) (figura 06) para países em desenvolvimento, como referência das condições de conforto térmico humano em ambientes internos. Este instrumento define uma zona de conforto, tendo como

parâmetros as variáveis temperatura e umidade do ar, e propõe estratégias de projeto para a adequação da arquitetura ao clima.

Segundo LAMBERTS et al. (1997), com base em análises de vários trabalhos que abordam o tema da bioclimatologia aplicada à arquitetura, o trabalho de GIVONI de 1992 para países em desenvolvimento foi considerado o mais adequado às condições brasileiras.

LEGENDA

- 1 - ZONA DE CONFORTO
- 2 - ZONA DE VENTILAÇÃO
- 3 - ZONA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO
- 4 - ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO
- 5 - ZONA DE CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL
- 6 - ZONA DE UMIDIFICAÇÃO
- 7 - ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO
- 8 - ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO
- 9 - ZONA DE AQUECIMENTO ARTIFICIAL

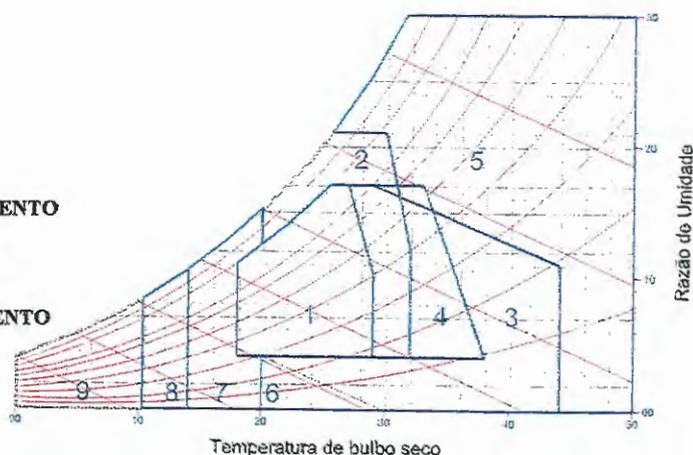


FIGURA 06 - Carta bioclimática para países em desenvolvimento

Fonte: GIVONI (1992)

Finalizando, comparou-se os resultados obtidos através da simulação com aqueles coletados por ensaio experimental, podendo então ser verificado:

- a) a eficiência do método de observação e compreensão de episódios representativos do fato climático para a avaliação de desempenho térmico de edificações;
- b) o desempenho térmico dos sistemas estudados em relação ao tipo climático local;
- c) que a escolha dos materiais e sistemas construtivos das edificações pode ser melhor orientada, se o profissional que os especifica tem conhecimento da dinâmica climática local nos diferentes períodos de tempo do ano.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CLIMA, ARQUITETURA E URBANISMO

3.1.1 O Clima como condicionante da qualidade dos espaços construídos

“A casa, destinada a abrigo, deve ser disposta segundo o regime meteorológico do meio e os costumes dos que a devem habitar. A arquitetura satisfaz estas necessidades e ajunta o supérfluo, mas já indispensável, pela cultura estética, de bom gosto. De todas as artes é, ou deve ser, a mais nacional, compreendidos neste qualificativo, os sentidos étnico e regional...” (AFRANIO PEIXOTO, Clima e saúde - 1917, p.115)

Desde a Revolução Industrial do século XIX o progresso tecnológico tem sido considerado como força autônoma de desenvolvimento das comunidades humanas, promovendo uma melhora na qualidade de vida.

Na medida em que o Homem usa a tecnologia para resolver problemas de habitação, vestuário, alimentação, saúde, entre outros, ela passa a fazer parte do universo da economia mundial, tornando-se objeto de comercialização, consolidando o poderio capitalista, sempre sob a bandeira da construção de uma medida de qualidade de vida.

O conceito de qualidade de vida depende, é claro, do tipo de população que se estuda. Se considerarmos as populações dos países desenvolvidos pode-se entender a qualidade de vida a partir dos índices de consumo energético ou de mercado ou na participação social, satisfação e realização pessoal. Porém, se considerarmos as populações dos países pobres, a qualidade de vida confunde-se com a sobrevivência biológica, ou seja, alimentação, saúde e procriação.

Segundo FORATTINI (1991), quando se trata de população humana, a qualidade de vida somente pode ser avaliada mediante o uso de indicadores concretos como:

1. ambientais (qualidade da água, ar e do solo);
2. habitacionais (disponibilidade espacial e condições de habitabilidade);
3. urbanos (concentração populacional, comunicação, transporte, segurança e níveis de poluição);
4. sanitários (assistência médica, mortalidade, morbidade);
5. sociais (sistemas de classe, nível socioeconômico, consumo, sexualidade, condições de trabalho, lazer e sistema político - administrativo).

ACOSTA-HOYOS e GUERRERO (1995) definiram que para os estudos de qualidade de vida serem representativos de todas as regiões do mundo e de todos os estratos da sociedade, deve-se dar ênfase àqueles indicadores que refletem as necessidades absolutas que afetam as condições de vida da maior parte das populações da Terra, como: alimentação, higiene, habitação, saúde, lazer, vestuário, educação e condições ambientais.

Considerando as condições ambientais como sendo o conjunto de fatores e características (naturais e antrópicas) do meio onde o Homem se estabelece, pode-se dizer que afetam, direta ou indiretamente, todos os outros indicadores de qualidade de vida.

No campo da produção de edificações as questões relacionadas ao conforto ambiental, definem os padrões de higiene e saúde da construção e de seus usuários, portanto são das condições ambientais que saem as diretrizes norteadoras para o estabelecimento das condições de conforto.

A tecnologia vem tomar seu espaço nesta questão, primeiramente como uma aliada quando se busca rapidez, economia e garantia do bem estar nos espaços construídos, na medida em que proporciona o desenvolvimento de materiais e sistemas construtivos que permitem respostas rápidas às necessidades estéticas, estruturais e econômicas da construção, equipamentos condicionadores de temperatura e umidade do ar, esterilizadores do ar, entre outros.

Porém, esta mesma tecnologia pode converter-se em um aspecto negativo se for utilizada da mesma maneira, sem adaptações às condições locais, em todas as regiões do planeta. As condições físicas ambientais das regiões onde esta tecnologia se desenvolve, ou seja, nos países desenvolvidos, dificilmente apresentam características iguais aos países menos desenvolvidos que importam esta tecnologia, portanto, as respostas arquitetônicas não devem ser universais.

A garantia de um conforto ambiental por dispositivos artificiais é questionável, principalmente em países de clima tropical em desenvolvimento, devido ao aumento do consumo de energia para manter o edifício constantemente iluminado, ventilado e com uma mesma temperatura. Além disto, as reservas de energia não são infinitas, e cada vez se tornam mais escassas. A obtenção de novas fontes de energia requer, na maior parte

dos casos, grandes investimentos econômicos, e geram inúmeros impactos ao meio ambiente.

A tecnologia também tem evoluído neste setor, buscando soluções para criar e produzir equipamentos que consomem menos energia, como os sistemas centrais de refrigeração através do uso de água gelada ou gelo. Sistemas como este, produzem o gelo durante a madrugada, quando a energia é mais barata, e nas horas de pico, quando as taxas são mais caras, o próprio sistema desliga-se da energia elétrica, passando a usar o gelo, ou a água gelada estocados, para refrigerar o ar.

No Brasil não existem normas de restrição ao consumo de energia em edificações, porém, a necessidade de criá-las tem sido discutida há vários anos.

Segundo LAMBERTS (1997) as únicas normas existentes no Brasil na área de conforto ambiental são a NBR 5431 e 6401 de 1982, porém tratam somente de iluminação e ar condicionado, sem preocupação com a eficiência energética.

O I Encontro Nacional sobre Normatização ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações foi realizado em Florianópolis em 1991, onde foi discutida a carência de normas brasileiras na área e analisadas a situação de normatização existente em outros países.

BARBOSA e LAMBERTS (1993) apresentaram proposta para uma estrutura de normatização brasileira que consta de: 1. Definições, símbolos e unidades; 2. Cálculo de transmitância térmica de elementos e componentes da construção; 3. Procedimento para tratamento de dados climáticos; 4. Zoneamento bioclimático brasileiro; 5. Desempenho térmico e energético de edifícios residenciais; 6. Desempenho térmico e energético de edifícios comerciais; 7. Métodos e ensaios.

MASCARÓ (1997) ressalta que o principal objetivo de uma normativa de conforto ambiental não é promover a realização de bons projetos, mas impedir que projetos deficientes energeticamente e ambientalmente sejam executados.

A produção do espaço arquitetônico deve ter como objetivo principal proporcionar ao seu usuário as melhores condições físicas e mentais de habitabilidade.

A busca pelo conforto ambiental no espaço arquitetônico levou o ser humano tanto ao desenvolvimento da tecnologia aplicada às construções como à formação de uma

identidade arquitetônica própria de cada região da Terra. Esta identidade própria da arquitetura, seja de caráter regional ou local, pode estar presente tanto em exemplares considerados vernáculos (figuras 07, 08 e 09), como em outros representativos da arquitetura moderna (figura 10) e contemporânea.



FIGURA 07 - Palafita - Brasil. Em áreas ribeirinhas e alagáveis as “palafitas” apresentam-se como alternativa de proteção contra a invasão das águas no ambiente interno.

Fonte: Folha de São Paulo, 29 de junho de 1999 - Caderno Especial ANO 2000

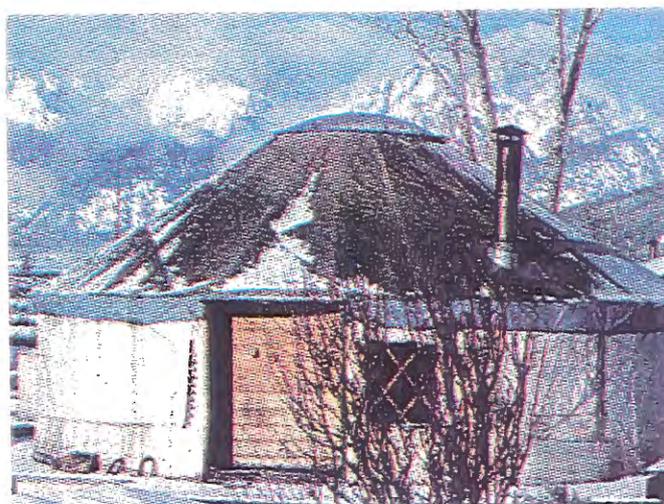


FIGURA 08 - Yurt - Mongólia. Caracterizado pela quase total ausência de aberturas devido à necessidade de proteção contra o vento frio.

Fonte: Folha de São Paulo, 29 de junho de 1999 - Caderno Especial ANO 2000



FIGURA 09 - Cabana Maasai - Quênia. Abrigo construído de terra e fibras naturais, de alta inércia térmica, com poucas aberturas, para garantir a proteção contra os rigores do clima quente seco (temperaturas altas durante o dia e baixas durante a noite, além da presença de ventos quentes e carregados de poeira).

Fonte: Folha de São Paulo, 29 de junho de 1999 - Caderno Especial ANO 2000

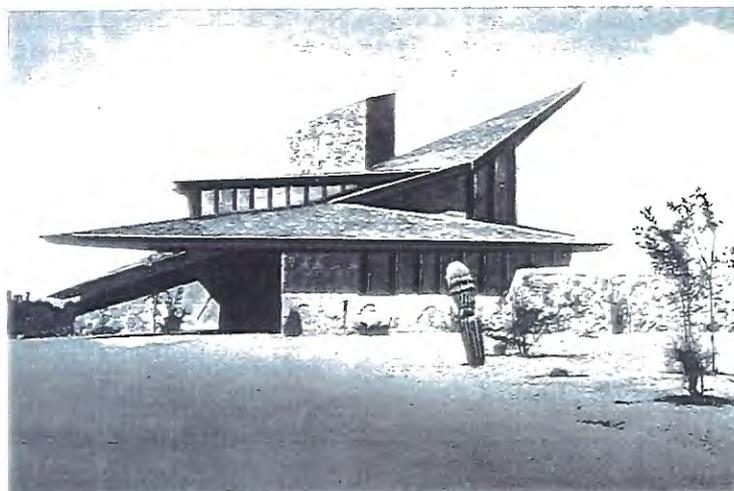


FIGURA 10 - Casa Boomer - Phoenix, Arizona, USA. Exemplar de arquitetura modernista norte americana.

Fonte: ZEVI, B. (1992), pp. 186

Partindo do pressuposto de que o edifício é um corpo inserido em um ambiente térmico, e que portanto, desenvolve os mecanismos de trocas térmicas em busca de equilíbrio com o meio, pode-se adotar as características higrotérmicas deste meio como condicionantes da maneira de ser do edifício.

Os fenômenos físicos da transferência de calor agem sobre todos os elementos da edificação, de forma que o resultado formal do edifício, os sistemas de captação ou proteção da radiação solar, o controle da inércia térmica dos materiais de fechamento e o controle da ventilação natural, podem ser respostas às características ambientais do local onde este se insere.

Em arquitetura este resultado formal do edifício é definido como **partido arquitetônico**. São várias as condicionantes que o definem. LEMOS (1981) as divide em seis, sendo: a técnica construtiva, as condições físicas e topográficas do sítio onde será construído o edifício, as condições econômicas, o programa de necessidades (de acordo com a função da edificação), a legislação e o clima.

Dentre estes itens, pode-se dizer que a técnica construtiva, as condições físicas e topográficas do sítio e o programa de necessidades podem ter uma estreita relação com a condicionante climática, uma vez que elementos climáticos variáveis (pluviosidade, taxas de umidade e temperatura do ar e a incidência de radiação solar), podem definir: a) o tipo de material de construção; b) a forma de implantação do edifício no lote; c) elementos arquitetônicos (beirais, varandas, para-sol, etc.); d) a espessura dos fechamentos; e) o dimensionamento de aberturas e dos espaços; f) funções específicas para determinados ambientes (como jardins de inverno, salas com lareiras para os climas frios, e pátios abertos e varandas para climas quentes); g) o uso ou não de sistemas de condicionamento térmico e iluminação artificial.

Estas respostas arquitetônicas refletem diretamente no padrão de qualidade do edifício, quanto ao consumo de energia, durabilidade da construção, na garantia da saúde do usuário e na relação com o meio ambiente externo.

FERNANDEZ (1998) traduz esta relação da edificação com o meio com uma abordagem ambiental do projeto de arquitetura, tomando como critério para o estabelecimento da qualidade do edifício, a componente energética. Para o autor, a

questão energética deve acompanhar todo o processo de concepção do projeto, desde a relação com o terreno (implantação e orientação) à instalação de equipamentos (refrigeração ou aquecimento) passando pela escolha de formas (compacidade, proteção, etc.) e componentes (paredes, aberturas) e pela discussão de todos os critérios da concepção (técnica, usos, estética).

O desenvolvimento da tecnologia ofereceu condições para a criação de sistemas condicionadores da temperatura, umidade e velocidade do ar nos ambientes internos das construções, permitindo que modelos arquitetônicos fossem exportados dos países detentores da tecnologia para os demais, como sendo padrão de progresso e de qualidade.

Na opinião de PORTO (1999) não existe uma arquitetura de “mão única”, mas uma arquitetura própria do lugar. Acredita que para se projetar corretamente é necessário ter o conhecimento do clima e da cultura das várias regiões.

No Brasil, o hábito de adotar os modelos externos de construção vem desde a construção das primeiras vilas coloniais. Algumas adaptações, com certeza, foram feitas pelo colonizador português em virtude das altas temperaturas e fortes chuvas características da nova terra, às quais não estava acostumado.

LATIF (1966) confirma esta observação mostrando que o português vai adaptando a construção ao meio brasileiro inicialmente utilizando de elementos e materiais de tradição em outras regiões, como a varanda externa do trópico úmido hindu e as telhas do mediterrâneo (coloniais).

No primeiro momento da organização econômica e civil da sociedade brasileira pode-se dizer que o português criou uma arquitetura de típica expressão deste momento, representando o sistema econômico, social, político de produção, religioso e familiar, além de representar a adequação às novas condições ambientais.

Para FREYRE (1963) a casa grande de engenho construída no século XVI, exprimia a imposição colonialista da raça dominante sobre a dominada, não se constituindo em uma simples reprodução das casas portuguesas, mas em uma nova expressão de um novo tipo de habitação. Compara a arquitetura colonial portuguesa com a holandesa, no território brasileiro, e observa que esta última pouco se inspirou no meio ambiente, pois o holandês não tinha a facilidade de adaptação do português. Criou nas

terras brasileiras uma vida artificial, importando tudo da Holanda, da alimentação aos materiais de construção. Impuseram sua arquitetura à cidade tropical sem nenhuma adaptação, trazendo a estrutura européia de casas feitas para o frio do norte europeu para as praias tropicais de Recife (figura 11).



FIGURA 11: Casa do período de Nassau - Olinda, PE

Fonte: o autor

Segundo BRUAND (1981) o clima foi o fator físico que mais interferiu na arquitetura brasileira colonial, pois situando-se o país quase que inteiramente entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, apresenta, praticamente em todas as regiões, temperaturas elevadas durante o ano todo, com mais intensidade no período de verão. Portanto, o primeiro problema que se colocava para o colonizador era o de combater o calor e o excesso de luminosidade proveniente de uma radiação intensa. Respondendo à essas exigências, as casas do período colonial brasileiro utilizavam recursos construtivos como os amplos beirais, as generosas varandas e telhas de cerâmica, experiências já bem sucedidas no trópico úmido hindu e assimiladas pelo explorador luso.

O exemplo das primeiras casas de fazenda do planalto paulista, quadradas e de paredes maciças, de taipa de pilão, de um pavimento só e telhado saliente, demonstra uma

acomodação, mesmo que pequena, às condições climáticas. As paredes de taipa, pesadas e maciças, respondem às limitações técnicas do material disponível para construção (terra) e atendem, por sua alta inércia térmica, às solicitações do clima do planalto paulista que apresenta altas temperaturas diurnas, confortáveis nas noites de verão e baixas nas madrugadas de inverno. Os longos beirais protegiam as paredes das chuvas, freqüentes e intensas durante o verão (figura 12).



FIGURA 12: Exemplo de casa bandeirista - Casa do Padre Inácio - Cotia, SP

Fonte: LEMOS (1999), p. 50/51

Em 1917, o médico e sanitarista AFRÂNIO PEIXOTO já afirmava que o Brasil não possuía uma arquitetura própria. As construções eram feitas imitando os modelos dos países europeus, transportando para o território brasileiro construções estranhas à realidade climática local.

O hábito da população mais abastada em importar a cultura, a moda, os hábitos alimentares, e a arquitetura dos países europeus, e das classes menos privilegiadas em imitar os mais ricos em busca de algum elemento que lhe conferisse status, fez com que se perdesse, nos ambientes urbanos, o conhecimento natural dos rigores climáticos, conhecimento este que se fez presente nas primeiras casas de fazenda do período colonial.

As necessidades européias quanto ao estabelecimento do conforto térmico no interior de suas edificações, residem basicamente na conservação do calor interno, devido

aos rigores das temperaturas de inverno, ao contrário do Brasil, onde predominam condições climáticas cuja questão mais crítica é conseguir o conforto térmico no verão.

O conforto térmico aparece como um dos aspectos de grande importância na determinação da qualidade ambiental, não apenas relativo aos ambientes internos das construções, como também ao ambiente urbano.

Segundo ALVA (1997) a qualidade ambiental é determinada por um conjunto de circunstâncias físicas, sociais e psicológicas que são percebidas de um modo diverso, por indivíduos e grupos sociais como consequência de valores diferentes.

O bem estar físico e psíquico é condição indispensável para a determinação da qualidade do ambiente onde o ser humano realiza suas atividades. A satisfação dos indivíduos, no que se refere à qualidade dos edifícios, reflete-se na performance produtiva desses mesmos indivíduos, pois quando se vive e trabalha em condições de conforto produz-se mais e vive-se com mais saúde e bom humor.

Segundo SAINI (1975), "...num edifício ou estabelecimento humano atinge-se o bem estar térmico quando os ocupantes não experimentam qualquer necessidade de mudança. Julgam os fisiologistas que o corpo humano conserva seu equilíbrio térmico por um duplo processo de produção e perda de calor. Para conservar os tecidos da derme na temperatura normal de mais ou menos 37°C o corpo adapta-se continuamente ao meio. Tornando-se extremas as condições - ou se o próprio corpo não está sadio, aclimatado ou convenientemente vestido - rompe-se o equilíbrio devido ao lento acréscimo da temperatura dos tecidos, cujo resultado é uma asfixia ou uma fadiga intensa. A faculdade do indivíduo, no sentido de adaptar-se às mudanças do meio, afeta não apenas o seu bem estar, mas também o rendimento e a eficácia do seu trabalho." (Saini, 1975 p. 224 - 225)

Para AYOADE (1996), a saúde humana, a energia e o conforto são afetados mais pelo clima do que por qualquer outro elemento do meio ambiente.

Os elementos climáticos que afetam diretamente as funções fisiológicas humanas incluem a radiação, a temperatura e a umidade do ar, vento e pressão atmosférica, sendo que o conforto fisiológico do ser humano é determinado principalmente pela temperatura, velocidade do vento e umidade do ar.

Existem inúmeros trabalhos que buscaram definir padrões de conforto térmico ou limites de conforto, tendo como referência os elementos climáticos, conforme será apresentado no item seguinte.

O conhecimento destes limites de tolerância térmica é de suma importância para determinar se os ambientes, tanto no interior das construções como no meio urbano, onde os seres humanos desenvolvem suas atividades, respondem às suas necessidades, garantindo-lhes saúde e qualidade de vida.

3.1.2 Indicadores de conforto térmico

O Homem é um animal que possui temperatura do sangue constante, ou seja, a temperatura não se altera junto com as condições do meio externo como ocorre em outros grupos de animais, como peixes e répteis.

A temperatura do sangue humano deve manter-se entre 36,5°C e 37°C para caracterizar uma condição de saúde.

Devido a estes limites estreitos, o organismo humano é bastante sensível para manifestar-se com determinadas reações quando as condições do meio são termicamente desfavoráveis.

Os edifícios no meio urbano e no campo passam a constituir os principais instrumentos que permitem ao ser humano satisfazer suas exigências de conforto, uma vez que modificam o meio natural, podendo criar formas de controlar as variáveis climáticas, proporcionando as condições desejadas de habitabilidade.

Na prática, porém, os ambientes construídos nem sempre atendem à estas condições, podendo muitas vezes, funcionarem de forma inversa, tornando-se meios onde se desenvolvem agentes causadores de problemas na saúde física e psíquica das pessoas.

“O equilíbrio térmico entre o Homem e o meio não admite interrupções; deve ser resolvido em qualquer espaço habitado, seja interior ou exterior, devendo merecer a preocupação do arquiteto tanto no projeto de edificações como no planejamento de unidades de vizinhança, bairros ou cidades” (RIVERO, 1985, p. 58).

A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering) (1985) define conforto térmico como um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos desde o início do século XX, objetivando estabelecer índices e padrões de conforto térmico humano, baseando-se em parâmetros como a temperatura, umidade e velocidade do ar, radiação solar, entre outros.

Em 1922, HILL, citado em CASTELO (1995), desenvolveu um instrumento denominado de “catatermômetro”, para medir a taxa de perda de calor em $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{s}$ que a superfície de um corpo humano, na temperatura da pele ($36,5^\circ\text{C}$) experimenta ao ar livre.

Além do “catatermômetro”, HILL também desenvolveu fórmulas para calcular a taxa de perda de calor do corpo, considerando a velocidade do vento, a temperatura do ar e o poder de resfriamento em calorias miligramas por cm^2 por segundo.

Tanto o “catatermômetro” como o uso das fórmulas receberam diversas críticas por não considerarem as condições específicas da atmosfera de cada local, que interfere nas trocas de calor por condução e convecção do ar com a pele, e a reação de cada organismo com os diferentes elementos climáticos, que vai comportar-se de forma diferente conforme outras variáveis como idade, atividade física, alimentação, vestimenta, entre outros.

Em 1923, HOUGHTON e YAGLOU introduziram o **índice de temperatura efetiva (TE)**, que combina a temperatura do ar, a velocidade do ar e a umidade relativa em um único índice. Trata-se de uma medida computada entre a leitura da temperatura de bulbo úmido e bulbo seco.

Em 1947, YAGLOU corrigiu a escala, incluindo os efeitos da radiação, passando a denominar a escala de **temperatura efetiva corrigida (TEC - figura 13)**. A TEC é uma medida um pouco mais precisa pois considera o calor radiante, relacionando a temperatura de bulbo úmido, de bulbo seco, a temperatura de globo e a velocidade do ar.

CASTELO (1995) ressalta que mesmo a TEC tendo alcançado bastante sucesso internacionalmente, sendo utilizada ainda nos dias atuais, para estabelecer índices de conforto térmico no interior de edificações, apresenta falhas, e destaca a insensibilidade ao calor irradiado, pois não considera em sua indicação a temperatura dos elementos de

vedação dos aposentos, que fornecem aos indivíduos, por irradiação, uma quantidade mais ou menos significativa de calor, o que afeta sensivelmente as condições de conforto.

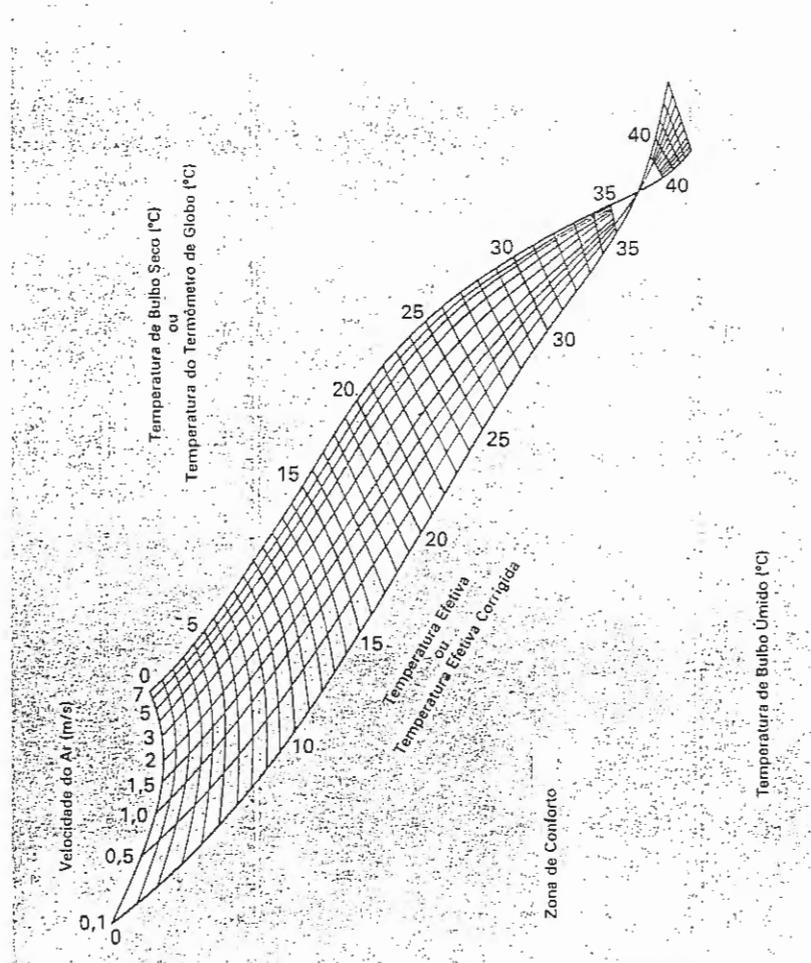


FIGURA 13: Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve.

Fonte: KOENIGSBERGER et alii, p. 33

A ASHRAE (1972) estabelece a temperatura efetiva ótima em 23,9°C em qualquer estação do ano, porém, considerando as condições climáticas norte americanas.

CASTELO (op.cit.) faz uma revisão de diversos trabalhos que utilizaram a escala da temperatura efetiva em diferentes regiões, destacando entre eles: SÁ, em 1938 utilizou para estabelecer em 21,8°C o estado correspondente ao ótimo conforto para os brasileiros; SMITH em 1975 estabeleceu para os EUA os limites de conforto entre 22,2°C e 25,6°C; SERRA em 1978, também para os norte americanos, estabeleceu a temperatura efetiva

ótima de 19,4°C, e para os ingleses de 15,6°C. Destaca também, o “índice de conforto” proposto por TERJUNG em 1966 para os Estados Unidos da América (figura 14) que se baseia nas reações humanas, fisiológicas e psicológicas mensuráveis, integrando-as com dados meteorológicos de temperatura e de umidade, em condições diurnas e noturnas, em uma atmosfera estável, na sombra.

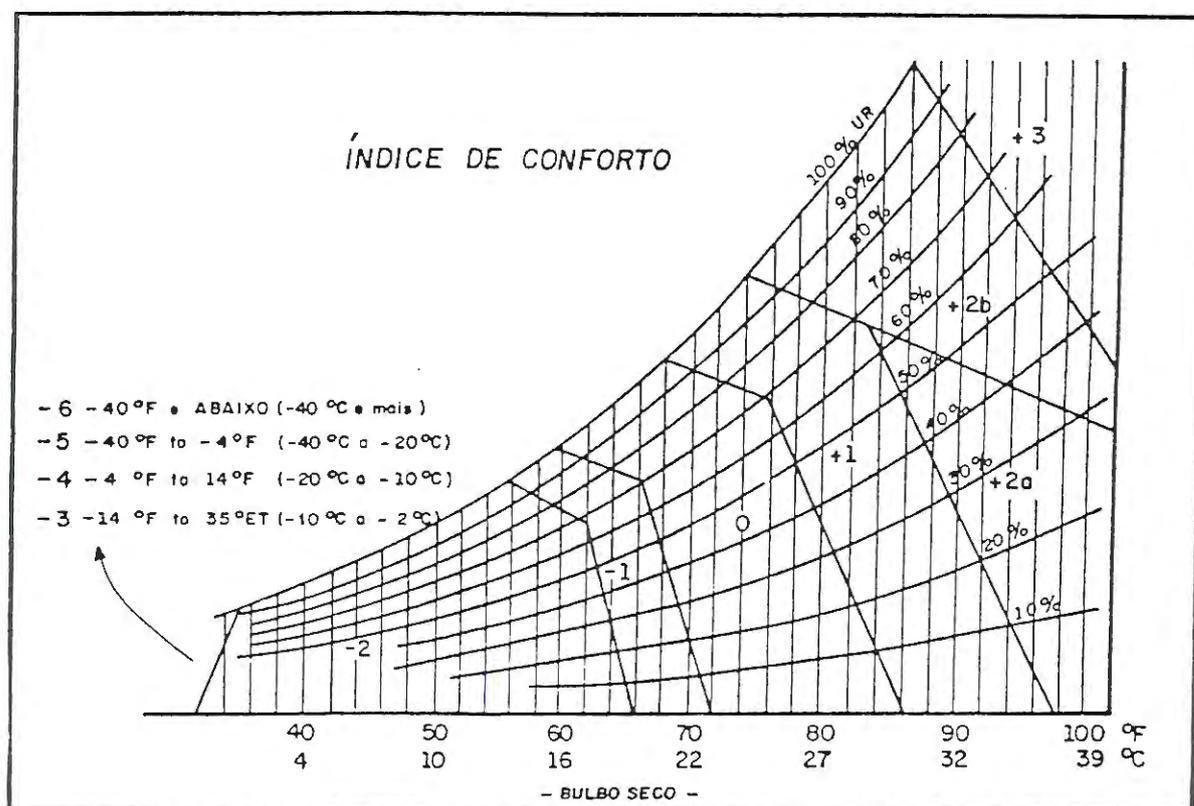


FIGURA 14: Nomograma para delimitar o índice de conforto

Fonte: TERJUNG (1966), p. 56, in CASTELO (1995), p.43

COSTA (1979) fez adaptações no “índice de conforto” de TERJUNG baseando-se em dados meteorológicos de dezenove estações do Estado de São Paulo, objetivando estabelecer índices de conforto humano aplicáveis às condições climáticas paulistas (figura

15). Elaborou um conjunto de mapas, através dos quais pôde-se visualizar, em termos de tempo e espaço, quando e onde o homem se sente confortável ou desconfortável no território paulista.

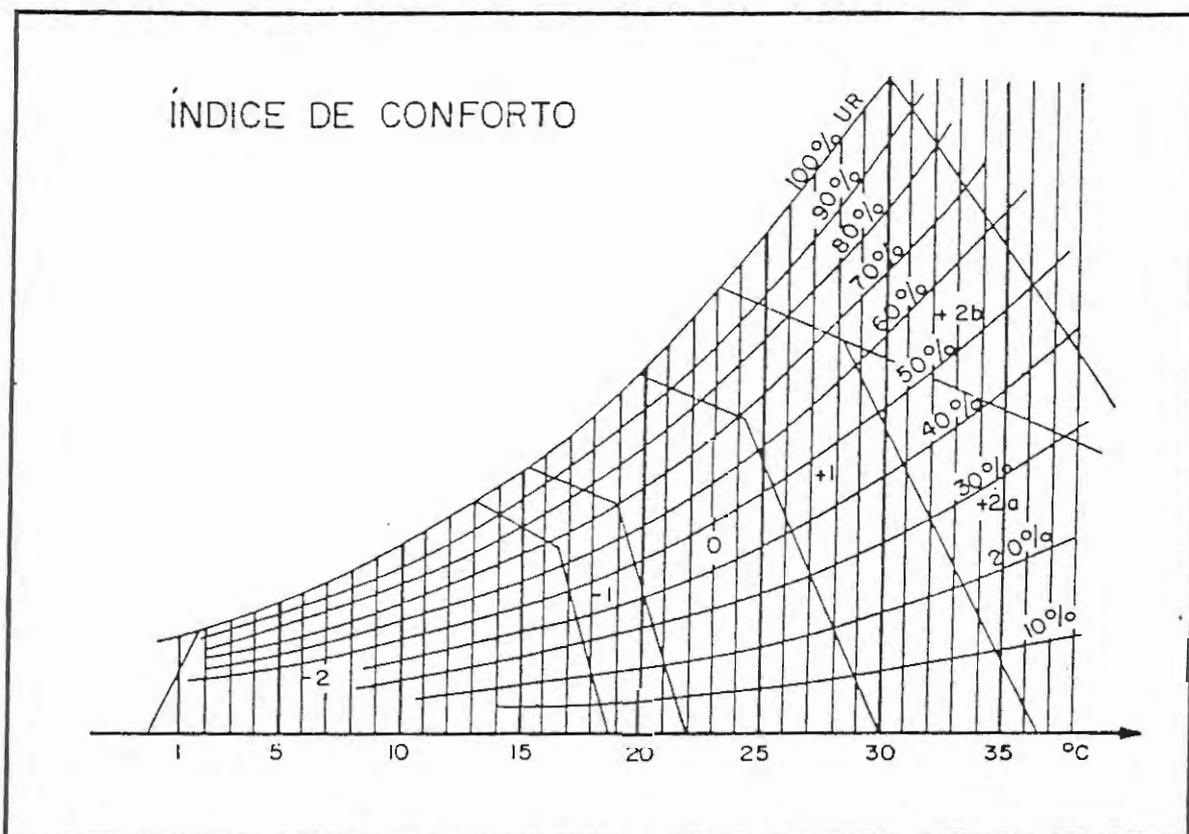


FIGURA 15: Nomograma para delimitar o índice de conforto para o Estado de São Paulo, baseado em TERJUNG.

Fonte: COSTA (1979)

Nota-se que não existe um único índice de conforto térmico que possa ser generalizado para todos os indivíduos de todas as partes do mundo. Este conforto varia de indivíduo para indivíduo, de região para região. Cada região climática do planeta contém uma variedade de subtipos de clima, pois o efeito latitudinal é profundamente modificado por fatores como altitude, proximidade de massas d'água e vegetação, exposição aos ventos, entre outros. Tais subtipos climáticos representam diferentes combinações de temperatura e umidade do ar, radiação solar, regime de ventos, distribuição e intensidade de chuvas, combinações estas que alteram-se diariamente e com as estações do ano.

Além disto, existe o fator da adaptação climática, ou aclimatação, que constitui-se na capacidade genética que os seres humanos possuem de adaptar, em longos períodos de tempo, seus sistemas fisiológicos ao calor, frio ou altitude.

Mais próxima da situação real de cada região a fim de se estabelecer parâmetros e referências para o projeto de edificações, ou para o desenho urbano, é a definição de uma “zona de conforto térmico”, e não de um índice definido.

KOENIGSBERG, et al. (1977) define esta zona de conforto como sendo o intervalo de condições dentro das quais, pelo menos 80% das pessoas sentem-se confortáveis.

Em 1952 os arquitetos Victor e Aladar Olgyay apresentaram um diagrama bioclimático relacionando valores de temperatura seca, temperatura úmida, umidade relativa e velocidade do vento, onde se estabeleceu uma zona ótima de conforto (figura 16). A partir dos valores limites desta zona propuseram sugestões para uso de recursos que pudessem amplia-la, como: maior ou menor ventilação, insolação, sombra, umidificação e uso de equipamentos refrigeradores ou aquecedores artificiais.

Cabe ressaltar que o diagrama dos irmãos Olgyay foi desenvolvido para uma região temperada, sob condições atmosféricas do meio externo, para pessoas em repouso e normalmente vestidas. Sugerem que para a sua aplicação em latitudes menores, a zona de conforto seja alterada segundo o seguinte critério: para cada 5° a menos de latitude deve-se acrescentar 0,4°C para os limites superiores e inferiores de temperatura do ar.

O diagrama de OLGAYAY apresenta algumas limitações quanto ao seu emprego para determinar o conforto térmico em ambientes construídos como o fato de não considerar a inércia térmica dos componentes do edifício e as variações das temperaturas exteriores. Além disto, o método não fornece meios para determinar os limites da zona de conforto quando alteradas variáveis como o nível metabólico e a vestimenta.

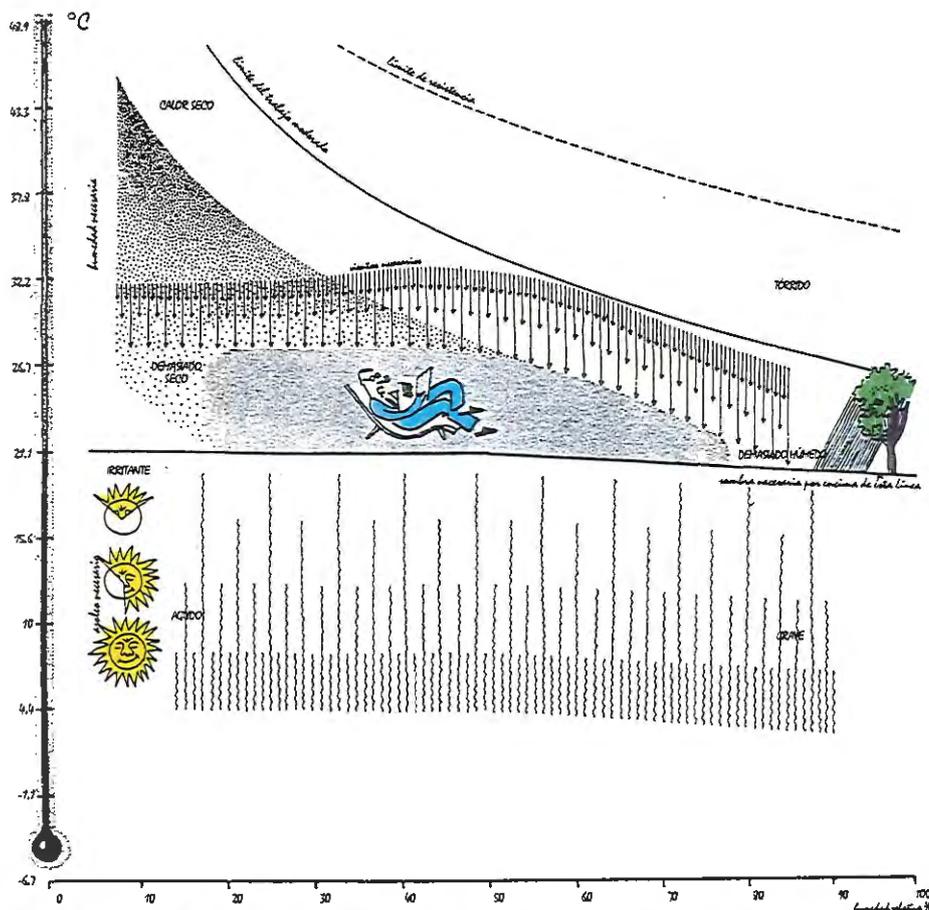


FIGURA 16: Carta bioclimática para habitantes de região temperada dos Estados Unidos.

Fonte: OLGAY (1963), p. 22.

GIVONI (1969) desenvolveu um diagrama bioclimático que apresenta dados mais completos do que a carta bioclimática de Olgyay, para a utilização em projetos de arquitetura pois baseou-se em valores internos das variáveis climáticas. A partir dos dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade absoluta e umidade relativa do ar, estabelece: a) zona de conforto térmico; b) zona em condições aceitáveis de conforto térmico; c) zonas nas quais as condições de conforto podem ser atingidas através de soluções como a inércia térmica da edificação, a ventilação natural e sistemas mecânicos de aquecimento ou resfriamento.

Em 1992, GIVONI aplicou sua carta original para países em desenvolvimento, onde a maior parte dos edifícios residenciais e comerciais não são climatizados artificialmente. Percebeu que as pessoas que vivem e trabalham em edifícios nestas condições têm maior poder de adaptação às variações do clima externo. Com este dado

concebeu uma carta bioclimática para países em desenvolvimento (ver figura 06), ampliando os limites máximos de conforto de sua carta original.

MAHONEY (1971) desenvolveu um método para servir de instrumento na tomada de decisões relativas às características do projeto de edificações. Trata-se da interpretação de uma série de dados climáticos de uma determinada localidade, onde se pretende projetar, a fim de identificar os problemas climáticos predominantes, para então, propor recomendações para o anteprojeto, desde a necessidade ou não de sombreamento, de maior ou menor velocidade do vento, à espessura de paredes e características da cobertura.

FANGER (1972), através de resultados de medições realizadas por pesquisas em câmaras climatizadas, desenvolveu uma equação para calcular a combinação das variáveis: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, umidade relativa, atividade física e vestimenta. Apresenta-se como um dos estudos mais completos por considerar as variáveis atividade física e vestimenta. Os outros métodos apresentados não consideram o efeito destes parâmetros. FANGER consegue englobá-los em uma única equação denominada "equação global de conforto".

RORIZ (1987) descreveu detalhadamente, além destes métodos citados, os métodos de VOGT e MILLER CHAGAS (França - 1970), LOTERSZTAIN e MURATURE (Argentina - 1974), MICHAEL HUMPHREYS (Inglaterra - 1978), MARTIN EVANS (Inglaterra - 1980) e RIVERO (Uruguai - 1985). Aplica cada um dos métodos descritos ao clima de nove cidades brasileiras, apontando semelhanças e conflitos entre os resultados e discutindo sua aplicabilidade para projetos dos ambientes construídos, destacando o método de MAHONEY para aplicação em projetos de edifícios, pela sua simplicidade e pelas recomendações que estabelece.

GOULART et al. (1994) também analisaram a metodologia de vários autores e concluiu que o trabalho de GIVONI de 1992 é o mais indicado para ser aplicado às condições brasileiras.

A grande vantagem do uso de diagramas bioclimáticos na Arquitetura é justamente a possibilidade de vislumbrar um mapa da situação térmica de uma dada localidade, para cada mês e estação do ano, possibilitando interpretar quais as exigências de conforto ou

quais os recursos que podem ser utilizados pelo projeto no sentido de se conseguir atingir níveis ótimos de habitabilidade, seja por métodos naturais ou por medidas tecnológicas. Estas últimas têm permitido, ao longo da história da ocupação humana do planeta, que a distribuição do Homem por tantas regiões climáticas contrastantes seja possível.

3.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ESPAÇOS CONSTRUÍDOS

“Embora o clima já ninguém o considere o senhor - todo - poderoso de antigamente, é impossível negar-se a influência que exerce na formação e no desenvolvimento das sociedades, senão direta, pelos efeitos imediatos sobre o homem...” (FREYRE, Casa Grande e Senzala, 1963, p.13)

Segundo AKUTSU (1988), a avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste basicamente em verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de exigências humanas de conforto térmico (condições de temperatura, umidade, velocidade do vento, de acordo com a atividade e o tipo de usuário do ambiente).

Os estudos relativos à eficiência energética dos espaços construídos iniciaram-se na segunda metade do século XX objetivando a busca de alternativas de projeto que contribuíssem para minimizar o consumo de energia utilizada para aquecimento, resfriamento e iluminação dos ambientes internos das edificações.

Porém, a importância da avaliação do desempenho térmico de edificações nos dias atuais, vai além da questão energética (custo e escassez de recursos geradores de energia); pode-se dizer que está diretamente relacionada ao conceito da **sustentabilidade da arquitetura**.

Segundo RUANO (1999), “o desenvolvimento sustentável mantém a qualidade geral de vida, assegura um acesso contínuo aos recursos naturais e evita a persistência de danos ambientais”.

Aplicando este conceito na arquitetura, pode-se dizer que o projeto de uma edificação deve atender às exigências de conforto dos seus usuários, adotando formas, o sistema construtivo e os materiais de vedação e acabamento adequados às características físicas do local (clima, solo e topografia), evitando o uso de soluções construtivas que podem gerar impactos ambientais negativos para o meio ambiente onde se inserem.

As pesquisas referentes à avaliação de desempenho térmico de edificações no Brasil, têm se concentrado em verificar os ganhos e perdas de carga térmica dos componentes do edifício. As variáveis climáticas (temperatura e umidade do ar, temperatura radiante, temperaturas superficiais dos componentes e elementos do edifícios

e velocidade do ar), são as grandezas mais adotadas para o desenvolvimento de métodos para a avaliação do desempenho térmico de edificações. Outras grandezas como as atividades humanas e as pessoas, com suas exigências de conforto, são variáveis subjetivas, difíceis de serem medidas, devido à complexidade dos tipos humanos, seus hábitos e capacidade individual de adaptação às diferentes condições climáticas.

Mesmo assim, existem diversos diagramas, como foi demonstrado no item 1.2, que estabelecem índices ou zonas de conforto humano em relação às condições térmicas do meio. Tais diagramas têm sido utilizados como parâmetros para a avaliação do desempenho térmico de edificações na grande maioria das metodologias propostas.

3.2.1 Alguns métodos para avaliação de desempenho térmico

OLGYAY (1963) desenvolveu o “**Heliothermic Planning**” que consiste no estabelecimento de condições interiores mais próximas possíveis das de conforto, em função das solicitações do clima local. Para tanto, já enfatizava a necessidade de se considerar fatos representativos das condições climáticas típicas anuais do local aonde se projeta. Para o seu método, adotou os dias 21 de julho e 21 de janeiro como representativos do período quente e frio, respectivamente (um mês após a ocorrência dos solstícios de verão e inverno).

OLGYAY utilizou como modelo para experiências uma edificação arbitrária que denominou de “casa ortodoxa” e avaliou seu desempenho, com base em cálculos da temperatura ar-sol ⁽¹⁾ e da transmissão de calor através dos componentes da edificação, para diferentes regiões climáticas (temperada, fria, quente e seca, quente e úmida). Em seguida, comparou os resultados com outros, obtidos em modelo similar ao anterior, porém modificado conforme a região estudada, denominado “casa equilibrada”.

Deixa claro nas suas conclusões, que este método tem suas limitações, pois permite

(1) A temperatura “ar-sol”, ou “temperatura equivalente”, é definida como sendo a temperatura de um meio exterior isotérmico, hipotético, que origina um processo de transmissão de calor, na superfície do fechamento, igual ao que seria originado nas condições reais, isto é, levando em conta os intercâmbios de calor por convecção com o ar e por radiação em todos os corpos que a envolvem, incluindo o Sol e o céu”. RIVERO (1985) - Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural, p. 186.

somente obter uma abstração do comportamento climático das edificações. Não permite o manejo de certos aspectos importantes, como por exemplo, dos efeitos isolantes de determinados materiais, e as alterações microclimáticas são aplicadas, em certos casos, apenas como aproximações.

STRAATEN (1967) desenvolveu um método para se determinar os requisitos necessários de ventilação em uma edificação. A partir de dados coletados de hora em hora, da temperatura exterior e da radiação solar incidente nas diferentes superfícies, determina o valor das temperaturas ar-sol. Para o cálculo da carga total horária considera: a) ganhos de calor através dos elementos opacos; b) ganhos de calor através dos elementos transparentes; c) ganhos de calor proporcionado pelos ocupantes; d) ganho de calor próprio dos equipamentos internos da edificação. Para a determinação do atraso e do amortecimento da onda exterior através dos elementos opacos, utiliza da relação entre espessura, densidade e resistência térmica.

Este procedimento pode ser bastante útil para o projeto de edificações no momento da escolha de materiais de vedação e acabamento, pois identifica, mesmo que de forma generalizada em relação às características do tempo atmosférico do local, a quantidade de calor que poderá ser acumulada nos ambientes internos. Em locais frios, a energia proveniente da radiação solar acumulada pelos componentes do edifício, poderá reduzir os custos dos sistemas de aquecimento, assim como, em locais quentes, a quantidade de energia impedida, pelos materiais utilizados em coberturas e fechamentos, de alcançar o ambiente interno do edifício, contribuirá para diminuir o custo dos sistemas de refrigeração.

As pesquisas desenvolvidas para análise de desempenho térmico de edificações contam com instrumentos tradicionais (anotações manuais dos valores das variáveis climáticas) ou com equipamentos eletrônicos de aquisição automática dos dados climáticos. Atualmente, os equipamentos eletrônicos são os mais utilizados devido a sua maior precisão no registro dos dados e facilidade na operação.

No período entre fevereiro de 1977 e março de 1979, foram realizados estudos pelo IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO, SP) sobre a influência das coberturas para construções de casas populares. Através de

protótipos residenciais, com área de 50m² para cada um, partiu-se para a verificação experimental, testando detalhes construtivos, como forros, áticos ventilados e cores. As medições foram executadas por equipamentos tradicionais e anotadas manualmente, de hora em hora no período de 8:00 às 22:00 horas.

Nota-se que não foram executadas medições durante a madrugada, talvez por dificuldades operacionais. As variações de temperatura durante a madrugada são de extrema importância na avaliação de desempenho térmico de edificações, principalmente em regiões caracterizadas por um clima que pode apresentar temperaturas noturnas baixas, conforme a estação do ano. Para se discutir a adequação da edificação ao tipo climático local, devem ser tomadas medidas tanto dos horários de máximo como de mínimo aquecimento, pois desta forma, pode-se verificar a capacidade que certos materiais têm em ganhar calor e transmiti-lo para o ambiente interno, e perder o calor interno para o ambiente externo, no período noturno.

Em outra pesquisa desenvolvida pelo IPT entre março de 1983 e março de 1984, buscando analisar o efeito da ventilação de áticos horizontais em coberturas de fibrocimento com baixa inclinação, foram usados equipamentos de aquisição automática dos dados, com auxílio de microcomputador. Com o uso de equipamentos automáticos foi possível a coleta de maior quantidade de informações horárias durante todo o período diurno e noturno, além de permitir a tomada das temperaturas superficiais dos componentes da cobertura dentro do ático com precisão, oferecendo condições para uma análise mais completa do desempenho térmico do ambiente construído analisado.

Com a evolução dos sistemas computacionais, os métodos para cálculo de avaliação do desempenho térmico de edificações passaram a dispor desta ferramenta como um aliado poderoso na compilação dos dados, análise dos resultados e, através da entrada de valores das variáveis climáticas, simular o comportamento térmico do edifício e seus componentes.

A maioria dos programas disponíveis foram desenvolvidos nos países industrializados, temperados ou frios. Algumas pesquisas brasileiras pretenderam desenvolver um sistema para a realidade nacional, fazendo adaptações em programas

internacionais originais para as condições brasileiras, ou desenvolvendo um programa novo com base naqueles internacionais, já testados.

O NBSLD (National Bureau of Standards Load Determination), modelo computacional em linguagem FORTRAN desenvolvido por pesquisadores do NBS - NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, USA, inicialmente testado por KUSUDA (1976) foi adaptado para uso no Brasil por equipe do IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO, SP, e utilizado em diversas pesquisas na década de 80, destacando-se AKUTSU (1983), AKUTSU e LOPES (1987), SATO (1988), ALUCCI, AKUTSU e CARNEIRO (1988), SOUZA (1990).

Este programa foi desenvolvido inicialmente para cálculo de cargas térmicas de aquecimento e resfriamento com o objetivo de dimensionar sistemas de ar condicionado, permitindo a simulação de temperaturas horárias em compartimentos não condicionados.

Segundo AKUTSU e LOPES (1988), o NBSLD permite efetuar simulações dos fenômenos envolvidos nas trocas de calor entre os elementos da edificação e entre estes e o ambiente térmico. Como resultado dessas simulações obtêm-se valores de grandezas, como temperatura do ar interior cu cargas térmicas de aquecimento e resfriamento que podem ser utilizadas tanto para avaliações do desempenho térmico de edificações quanto para o dimensionamento de dispositivos de condicionamento artificial do ambiente.

Apesar de ter sido desenvolvido para dimensionar sistemas de ar condicionado em país de clima temperado, o NBSLD permitiu demonstrar, através do uso de protótipos de edificações nas pesquisas realizadas, que os modelos computacionais constituem-se em ferramentas importantes para a avaliação do comportamento térmico de edificações.

FARIA (1995) propõe o ConfTerm, um programa compatível com a linha IBM-PC/XT/AT, elaborado a partir da estrutura do programa NBSLD, porém considera os efeitos de absorção da radiação solar na temperatura de vidros em aberturas, o que, no NBSLD não é considerado. Foi desenvolvido para aplicação didática em cursos de Conforto Térmico para graduação em Arquitetura e Urbanismo, e também para atividades profissionais. Possibilita estimar a temperatura horária do ar no interior de um ambiente, dadas as condições climáticas externas e as características construtivas do ambiente.

Fornece também, recomendações de projeto para melhorar o desempenho térmico da edificação.

RORIZ & BASSO (1988) propõem para simulação do desempenho térmico de edificações o programa ARQUITROP, formado por sistemas integrados de bancos (um de clima e outro de materiais e componentes) de dados e rotinas de cálculo. Os dados climáticos do banco de dados original, tratam-se de médias mensais das variáveis climáticas de várias cidades brasileiras, divulgadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e complementados com dados da Diretoria de Rotas Aéreas do Ministério da Aeronáutica, porém aceita a introdução de novos dados de qualquer localidade brasileira, sejam valores médios ou absolutos.

KÜHN & SCHNEIDER (1997) utilizaram o programa COBRA (SCHNEIDER, 1994) de simulação de desempenho térmico de ambientes construídos, em projetos de edificações. O programa é um aplicativo do AUTOCAD, que permite trabalhar com projetos já desenhados, e sua implementação objetivou contribuir no sentido de agilizar o processo de análise do comportamento térmico do edifício projetado. Simula o comportamento dos diversos componentes da estrutura projetada através de banco de dados de arquivos climáticos anuais, com dados horários. Acreditam que com a utilização do programa, mesmo o usuário leigo na área térmica, será capaz de utilizá-lo, podendo com os resultados, modificar materiais, a orientação solar de fachadas, e outros detalhes necessários.

PEREIRA, KREMER e LAMBERTS (1997), através da utilização do programa computacional ANALYSIS, propõem a determinação de estratégias bioclimáticas para a definição do projeto de edificações, visando a adequação da edificação ao clima. Este programa utiliza como ferramenta principal a Carta Bioclimática de GIVONI para países em desenvolvimento, adaptada à localidade de estudo. Utiliza também, o *Test Reference Year* (TRY) para análise mensal do clima. Possibilita o cruzamento de todos os dados climáticos horários de um ano inteiro com a Carta Bioclimática adotada, que vai apresentar as adaptações, complementos e recomendações para adequação do projeto ao clima.



Os métodos que fazem uso de *dias* ou *anos* típicos de projeto, tendem a generalizar as características do clima ao nível regional, pois estas referências não identificam os mecanismos da circulação atmosférica que regem a sucessão rítmica das mudanças do tempo, de forma que pode-se generalizar também as recomendações para o projeto arquitetônico.

Para o território brasileiro, esta conduta pode ser válida quando se está apenas estudando as características das diferentes regiões do país, no sentido de demonstrar porque as soluções arquitetônicas devem ser diferenciadas. Porém, para a definição das características do projeto, que realmente será construído e utilizado, existe o risco de se cometer erros, uma vez que o *Test Reference Year* é baseado em valores médios das variáveis climáticas, desconsiderando as ocorrências climáticas extremas como temperaturas máximas e mínimas e movimentos do ar.

KLÜPPEL & NERY (1998) questionam o uso do *Test Reference Year* para análise do clima de localidades específicas no Brasil, com a finalidade de se propor um condicionamento passivo da arquitetura, devido a diversidade climática brasileira. Para as autoras, é urgente a necessidade de se estabelecer metodologias e ferramentas aplicáveis à diversidade de climas do Brasil, capazes de instrumentalizar os projetistas tanto ao nível do edifício quanto do espaço urbano, a fim de se conseguir melhor qualidade nos ambientes construídos.

Toda edificação deve estar preparada para suportar não apenas as condições predominantes do clima local, mas também as situações de maior ou menor aquecimento, pluviosidade e alterações na velocidade e direção dos ventos, que caracterizam os fatos climáticos que se repetem com maior ou menor frequência durante o ano.

Na maior parte do território brasileiro, o objetivo da adequação da edificação ao clima é o de reduzir o ganho de calor pelas superfícies envolventes, no sentido de manter a temperatura interna em condições de conforto durante o dia e durante à noite. Porém, o Brasil é constituído também, por regiões sub-tropicais e temperadas, como é o caso da Região Sul, e outras com clima composto (verão úmido ou super úmido e inverno seco), como é o caso de algumas localidades da Região Sudeste.

Em climas compostos tem-se as duas situações, ou seja, a necessidade de evitar o ganho térmico dos componentes da edificação no período diurno e a necessidade de evitar a perda do calor interno no período noturno, principalmente nas estações do outono e inverno. Portanto, torna-se tarefa difícil adotar uma metodologia para simulações e análise de desempenho térmico, que trabalha com uma escala de análise climática regional.

Com o uso da abordagem climática através da análise dos episódios representativos, pode-se correr menos riscos de trabalhar com generalizações, pois o conhecimento das alterações rítmicas do tempo de um determinado local oferece ao arquiteto os parâmetros necessários para as suas decisões de projeto, como: a direção e velocidade dos ventos tanto nas situações de estabilidade atmosférica como na passagem de frentes e as variações da umidade e temperatura do ar e pressão atmosférica de um dia para o outro.

Estas informações permitem ao arquiteto prever elementos na construção que a preparam para diversas situações, como: aberturas alternativas, cortinas d'água, que podem ser acionadas ou interrompidas quando necessário, entre outros; além de orientar na escolha de materiais de construção e acabamento que possam suportar as sucessivas, muitas vezes bruscas, alterações de temperatura e de pluviosidade, especialmente nos locais sujeitos à constantes passagens de frentes, como é o caso das Regiões Sul e Sudeste do Brasil.

3.2.2 A utilização dos dados climáticos e as escalas climáticas de referência

Os métodos usualmente adotados para a obtenção e seleção dos dados climáticos para fins de estudos sobre desempenho térmico de edificações têm considerado informações meteorológicas baseadas em dados médios mensais e anuais de séries históricas, obtidas em postos meteorológicos que, apesar de registrarem valores locais, em geral, assumem representatividade regional, devido a inexistência de maior número de postos meteorológicos.

A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering) (1985) recomenda um método para selecionar uma **temperatura referencial**

para projeto baseado em uma escala estatística de frequência de repetição de valores da oscilação de temperatura do ar. Também apresenta a proposta para determinação de um “**ano climático típico**” para ser utilizado como referência para cálculos da eficiência energética de edificações. Consiste em selecionar o ano climático para um local específico baseado na eliminação de anos de dados, os quais contém temperaturas médias mensais extremas, até permanecer um ano somente, considerado como aquele mais representativo das características climáticas do local de estudo.

Existem duas fontes de ano climático típico utilizadas nos Estados Unidos da América: o Test Reference Year (TRY), desenvolvido pelo National Climatic Center para cálculos de refrigeração e aquecimento, e o Typical Meteorological Year (TMY), desenvolvido pela Sandia Laboratories.

Em STAMPER (1977) encontra-se a descrição detalhada do procedimento utilizado para determinar o Test Reference Year (TRY).

A idéia de que a frequência de ocorrência de um determinado valor de temperatura será repetida no futuro é coerente com o que se pode observar através da dinâmica da circulação atmosférica. Os períodos de aquecimento e resfriamento do ar alternam-se conforme a influência das massas de ar que se deslocam na atmosfera. As regiões que estão sob a influência de uma só massa de ar durante uma estação do ano, terão, durante a estação, clima constante (exemplo: regiões onde estas massas se originam), e as regiões de conflito entre massas de ar tenderão a ter tempos variados durante o ano todo (exemplo: Região Sudeste do Brasil).

Sendo assim, as características do tempo alternam-se de forma dinâmica e cíclica, de forma que cálculos estatísticos podem ser utilizados para representar a frequência de ocorrência de episódios representativos do fato climático durante um período de tempo determinado. Porém, a “**temperatura para projeto**” baseada na frequência estatística de ocorrência, assim como o “**ano típico de referência**”, tendem a incorrer em generalizações, um vez que não consideram os períodos críticos do tempo, e sim, valores médios dos elementos climáticos.

A questão da aquisição dos dados climáticos e sua utilização nas áreas da arquitetura e do urbanismo foi levantada com muita pertinência por MONTEIRO (1990)

que, comentando sobre um trabalho desenvolvido por uma das muitas equipes do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológica de São Paulo) sobre desempenho térmico de edificações, apontou para o caráter generalizado da abordagem climática.

Para MONTEIRO (1990), as pesquisas sobre o desempenho térmico de edificações devem ser apoiadas em indicações referentes às características climáticas locais, e não em informações referentes à escala climática regional.

SORRE (1955) definiu o clima regional como um conjunto de localidades submetidas às mesmas influências climáticas gerais, ou seja, às mesmas correntes atmosféricas. Considera a noção de clima regional um empobrecimento com relação à idéia de clima local, que está relacionado à uma individualidade climática própria de cada lugar. Considera que a noção de clima regional possui um valor pedagógico, para o desenvolvimento de estudos, quando não se tem disponível dados de climas locais, porém, na prática, acredita que o clima regional é um tipo climático médio deduzido da combinação de elementos tomados dos tipos climáticos locais.

PEDROSO (1988) coloca como questão básica a necessidade de se definir claramente as escalas espaciais dos eventos climáticos com os quais se pretende trabalhar²⁷. Orienta que para as áreas metropolitanas (trabalhos que abordam questões gerais sobre o espaço urbano) o espaço climático de análise é o da escala local ; para cidades de médio porte ou bairros, ou subúrbios de metrópole, deve-se trabalhar na escala mesoclimática (10 a 100 Km de extensão); para pequenas cidades e pequenos bairros a escala de trabalho deve ser a topoclimática (0.5 a 5 km de extensão); para edificações e seu entorno imediato a escala de trabalho deve ser a microclimática.

PEDELABORDE (1959) define o microclima como sendo aquele clima resultante de condições muito particulares da circulação atmosférica junto ao solo, no interior de uma formação vegetal ou de um agrupamento urbano, não definindo limites.

GEIGER (1975) estabelece para a escala microclimática o limite superior em torno de 100m e na extensão horizontal, até 10 km.

Para RIBEIRO (1993), o estabelecimento de limites rígidos para o microclima parece não trazer resultados palpáveis, uma vez que o seu tamanho vai mesmo depender da natureza da superfície que lhe dá origem.

CUADRAT & PITTA (1997) ressaltam para a importância de se adotar um sentido de escala, no tempo e no espaço, para todo estudo climático, que vai depender do objetivo de cada trabalho. Dividem a escala espacial em quatro escalas básicas (figura 17), sendo:

1. macroclimática (ou clima zonal): representam o campo das grandes áreas geográficas, de milhares de km² de superfície, controlado pela circulação geral atmosférica;
2. mesoclimática (ou clima regional): constitui uma faixa do clima zonal de dimensões lineares variando entre 200 a 2000 km;
3. local: corresponde a unidades menores do clima regional, apresentando diferenças significativas entre si, com extensão espacial no sentido horizontal entre 100 a 10000 m, e no sentido vertical, em torno de 100m;
4. microclimática: esta escala representa os climas de lugares pequenos e bem delimitados, onde a natureza dos elementos climáticos está muito mais condicionada por fatores do entorno imediato do que por fatores locais ou regionais.

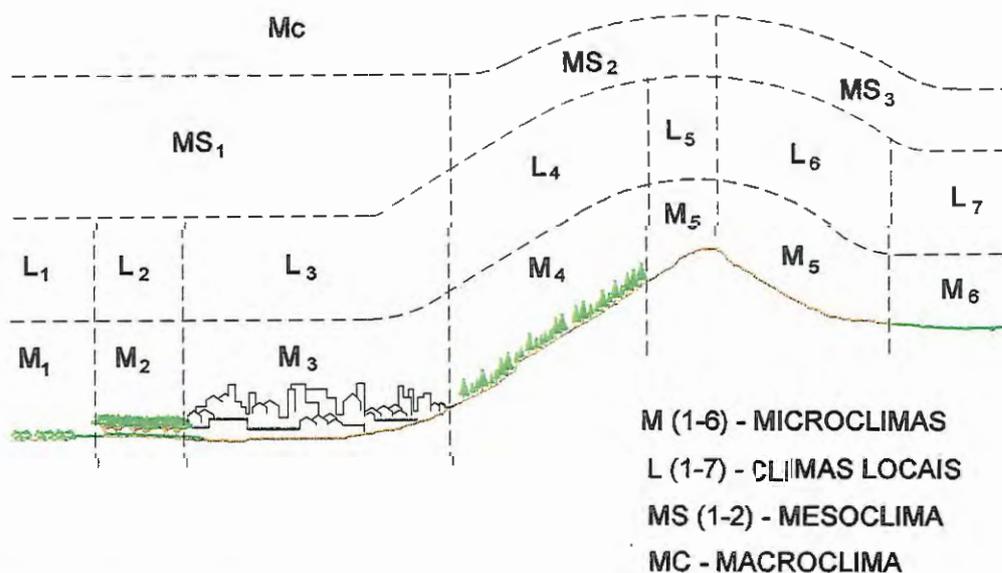


FIGURA 17: Escalas do clima - redesenho do original de CUADRAT & PITTA, 1997

Para o desenvolvimento desta pesquisa adotou-se esta divisão proposta por CUADRAT & PITTA, e a escala espacial de análise é a microclimática por concentrar-se em observações a respeito do comportamento térmico de edificações.

Para o desenvolvimento de estudos na escala microclimática, o conhecimento da influência dos fatores climáticos globais (latitude, altitude, circulação atmosférica, massas de água e terra) e locais (topografia, vegetação, superfície do solo, ação antrópica) têm a mesma importância, uma vez que os primeiros atuam sobre os últimos, definindo a ocorrência de fatos climáticos e seus ciclos.

Na escala microclimática, a ação antrópica é fator de fundamental importância, pois define a quantidade de radiação solar absorvida e refletida pelas superfícies do entorno e interfere na qualidade do ar (quantidade de partículas em suspensão, gases e vapor d'água contidos no ar). Porém, é um fator difícil de ser quantificado a longo prazo, uma vez que é alterado continuamente, às vezes de forma radical (figura 18). Em função disto, as pesquisas que trabalham com a escala microclimática, e tomam como base dados médios climatológicos de séries históricas, além de desconsiderar a dinâmica atmosférica, que gera os episódios climáticos críticos e cíclicos que atuam no local, desconsideram as alterações geradas pela ação antrópica, que também é dinâmica.

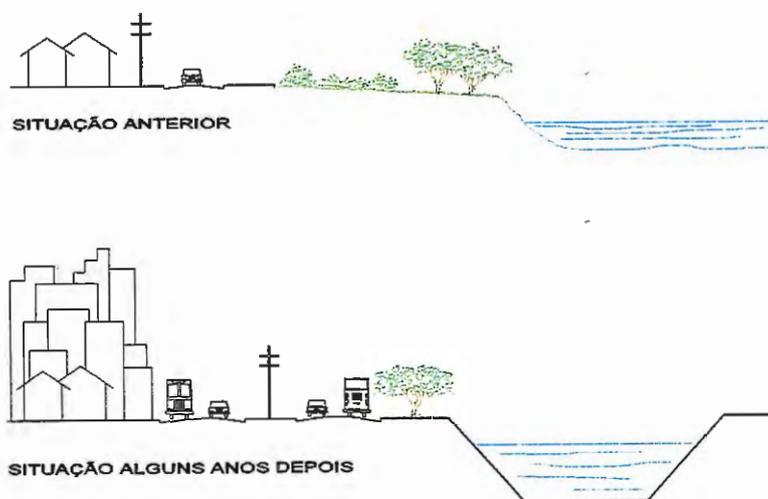


FIGURA 18 - Ação antrópica no meio urbano

Fonte: o autor

4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO

O local da realização da experimentação localiza-se junto à Estação Climatológica do CRHEA, município de Itirapina, Sudeste do Estado de São Paulo, tendo as seguintes coordenadas de localização: 22°01'22" de latitude Sul; 48°57'38" de longitude oeste; 733 metros de altitude (figura 19).

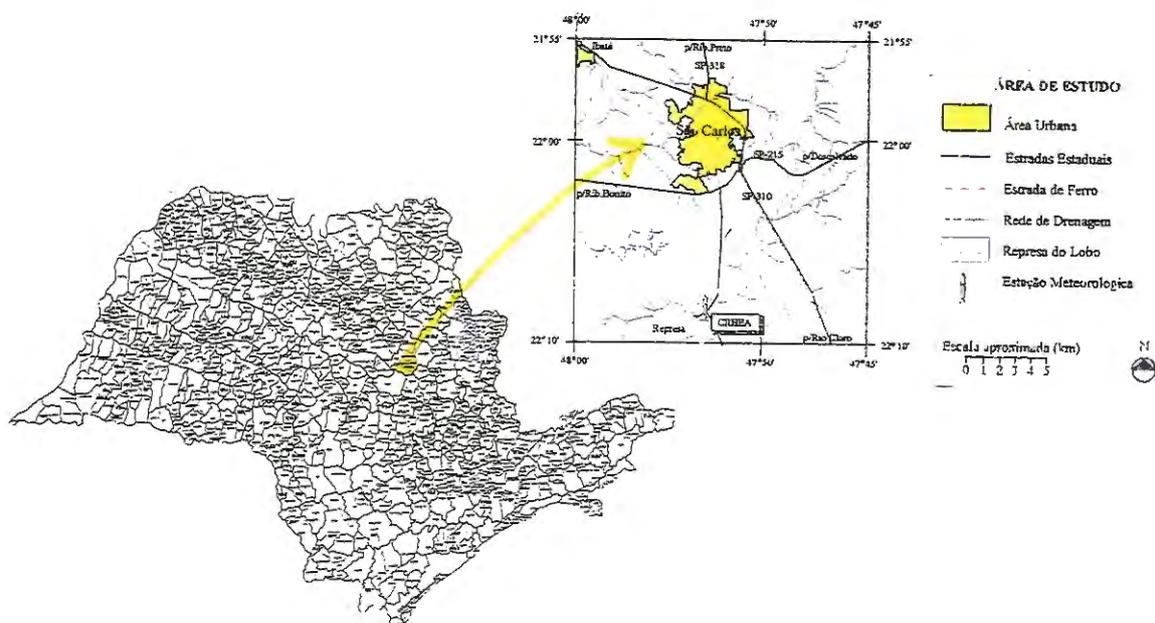


FIGURA 19: Localização da Estação Climatológica do CRHEA

Fonte: Parte do mapa original de SOUZA (1996), p. 47

Adotou-se, nesta pesquisa, a classificação climática sugerida por MONTEIRO (1973) para o Estado de São Paulo, que caracteriza esta região como tropical alternadamente úmido e seco, devido ao seu estudo estar relacionado à dinâmica atmosférica.

Porém, esta pesquisa trabalhou com o clima local, numa escala microclimática, onde a configuração do terreno, o tipo de solo, a cobertura vegetal e os tipos de tempo que habitualmente ocorrem, determinam a feição climática que predomina no local. No entanto, estes fatores agem sob a influência dos mecanismos da circulação atmosférica regional que tem sua gênese em mecanismo global.

Antes de argumentar sobre as questões climáticas locais da área de estudo, onde a ação antrópica não marca sua presença modificadora de forma significativa nas condições naturais, é necessário ter um panorama geral das origens do clima regional.

No início da década de 60, MONTEIRO (1962) já afirmava que o estudo do clima local está sob a influência da circulação atmosférica regional, a qual sob a influência dos fatores geográficos dentro da região vai possibilitando a definição dos climas locais.

A região Sudeste do Brasil (figura 20) está sob a influência de diversas massas de ar, conseqüentemente as características climáticas ao longo do ano e das estações, não se mantêm constantes. Esta é uma região próxima à faixa de transição climática descrita por MONTEIRO (1973), tendendo portanto a ter tipos de tempo variados.

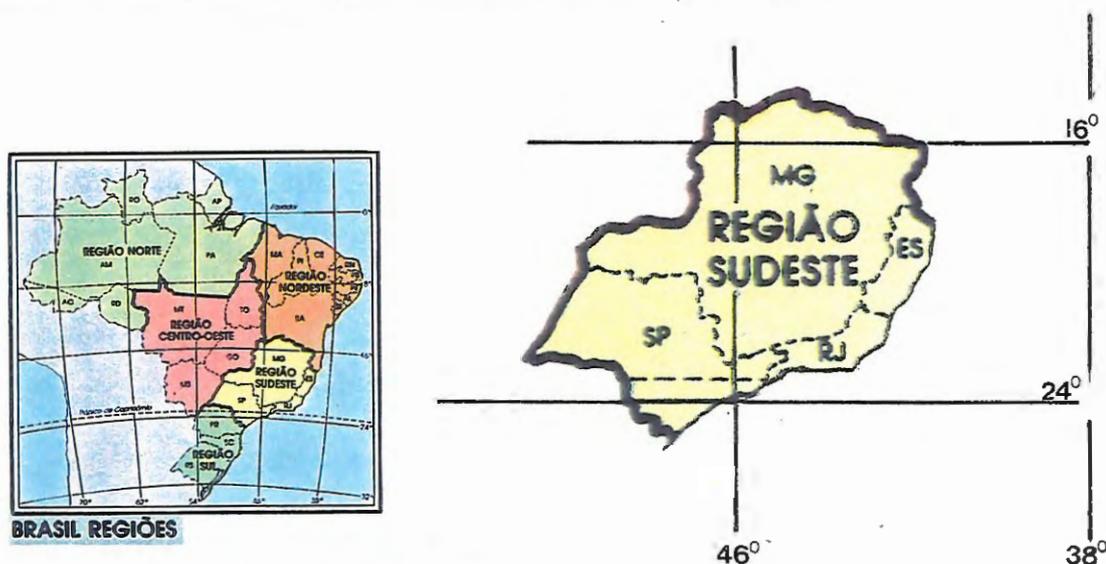


FIGURA 20: Região Sudeste do Brasil

Fonte: EMBRAPA - Globo Rural, nº 46, 1989

As principais massas de ar que atuam sobre a América do Sul são: Ec (Equatorial Continental), Ea (Equatorial Atlântica), Tp (Tropical Pacífica), Tc (Tropical Continental), Ta (Tropical Atlântica), Pp (Polar Pacífica), Pa (Polar Atlântica).

No Brasil, a região meridional sofre mais intensamente a influência das massas marítimas, em particular na vertente atlântica devido a interferência da Cordilheira dos Andes que barra, em grande parte, a influência das massas do Pacífico.

Como pode ser observado na figura 21, a Região Sudeste do Brasil encontra-se em uma posição geográfica que permite a atividade mais intensa das massas Ta, Pa, Ec e Tc, especialmente da Ta e Pa. A primeira, quente e úmida, com grande poder de penetração para o interior do continente, está em atividade o ano todo. A segunda, de maior atividade na estação do inverno, tem sua fonte sobre o Atlântico, na latitude da Patagônia. Às vezes conta com o reforço da Pp quando esta consegue transpor a Cordilheira dos Andes, gerando na Região Sul brasileira um “fluxo de ar frio contínuo” (condições máximas de abastecimento de ar polar no sul do continente - MONTEIRO, 1968, p.53/54).

A grande área oceânica do Hemisfério Sul que circunda a calota polar, permite a formação de massas de ar o ano todo, que variam de intensidade conforme a época do ano, de forma que as condições de tempo dos territórios brasileiros localizados na Região Sudeste estão submetidos constantemente ao deslocamento destas massas frias que se chocam com as massas tropicais quentes, gerando frentes que normalmente trazem instabilidade à região.

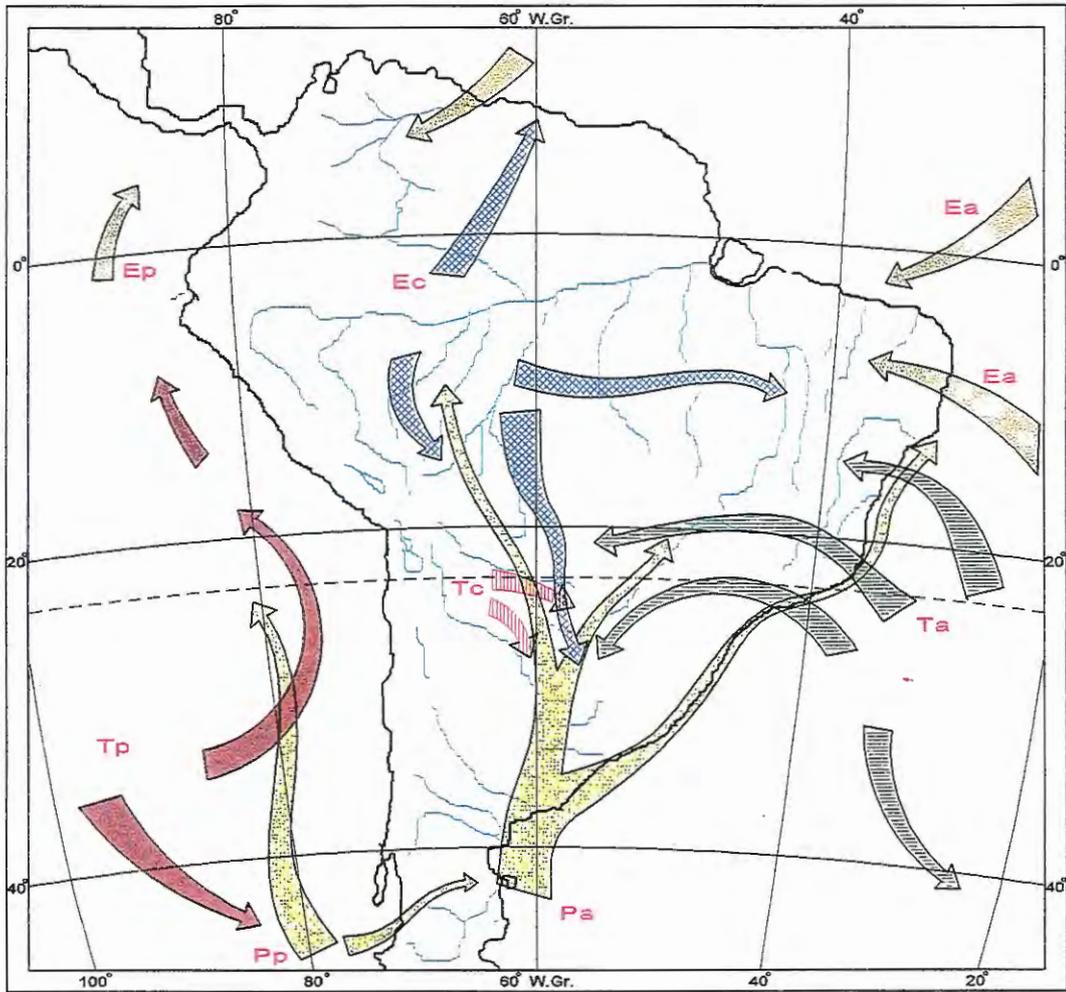
Na década de 70, MONTEIRO (1973) explicava a irregularidade pluviométrica das áreas tropicais através dos mecanismos de sucessão dos tipos de tempo. Numa tentativa de classificação climática, cujo objetivo era a abertura da questão e o oferecimento de um roteiro para futuras pesquisas, partiu inicialmente do quadro continental, ressaltando a posição do território paulista nos limites de três regiões climáticas bem caracterizadas pela circulação celular e sobretudo pelos caracteres pluviais. Restringindo-se ao território paulista procurou delinear nas duas unidades regionais as diferentes feições climáticas, chegando a nove sub-unidades. Estas chegaram a exibir 17 feições climáticas.

A região de estudo desta pesquisa encontra-se no mapa de MONTEIRO (1973) (figura 22), na subunidade V - O Centro Norte, cuja característica fundamental é a existência de um período seco muito nítido, onde a frequência da chuva diminui consideravelmente no sentido dos paralelos, culminando no setor norte que se constitui na área de inverno mais nitidamente seca do Estado.

A *facie* onde se encontra a área de estudo (São Carlos / Itirapina) é a *facie* b da figura 22, que não apresenta invernos tão secos como os verificados no setor norte do

CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NA AMÉRICA DO SUL (AS MASSAS DE AR)

DISTRIBUIÇÃO SEGUNDO SUAS FONTES E ORIENTAÇÃO DOS SEUS DESLOCAMENTOS



LEGENDA

SISTEMA ATMOSFÉRICO

Ta	MASSA TROPICAL ATLÂNTICA
Tp	MASSA TROPICAL PACÍFICA
Tc	MASSA TROPICAL CONTINENTAL
Ec	MASSA EQUATORIAL CONTINENTAL
Ep	MASSA EQUATORIAL PACÍFICA
Ea	MASSA EQUATORIAL ATLÂNTICA
Pp	MASSA POLAR PACÍFICA
Pa	MASSA POLAR ATLÂNTICA

Figura 21.- MONTEIRO, 1968, p. 121

Estado, devido ao efeito orográfico da Serra de São Carlos que gera um aumento na quantidade de precipitação no inverno desta área.

VECCHIA (1997) analisando a influência de frentes frias sobre a cidade de São Carlos, observou uma situação de frio - úmido no inverno do ano de 1994.

Esta é uma área com bastante incidência de chuvas, porém a distribuição é desigual, tanto ao longo do ano como pelas regiões do território, além da existência de irregularidades no espaço temporal, ou seja, desvios anuais, característica esta que predomina em toda a subunidade V do Estado de São Paulo (figura 22).

De acordo com a série histórica utilizada neste trabalho, de 1988 a 1998, que representa os dados coletados na estação climatológica clássica do CRHEA, pode-se verificar que os meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro contribuem com o maior volume de chuvas do total anual (tabela 02).

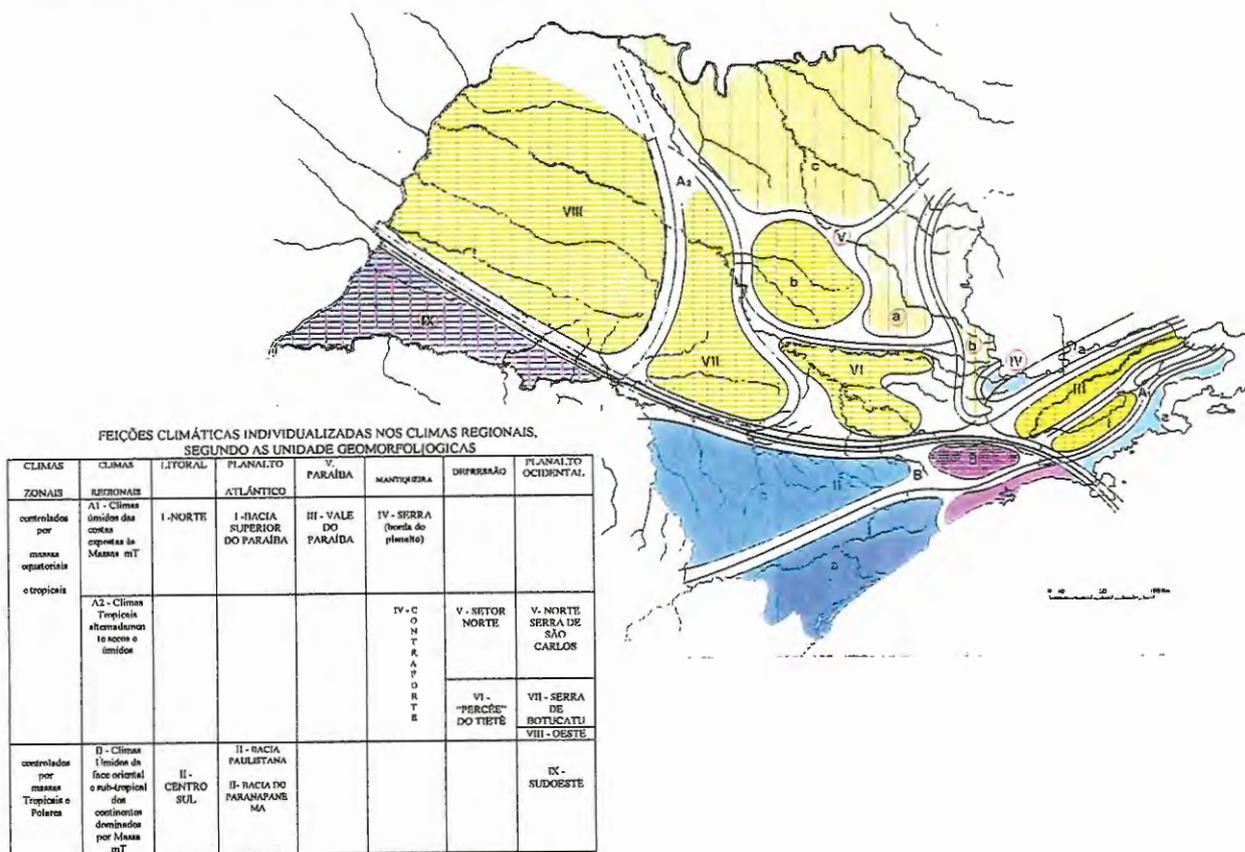


FIGURA 22 - Feições climáticas individualizadas no território paulista

Fonte: MONTEIRO (1973)

TABELA 02: Total mensal e anual de chuvas (mm) - série histórica: 1988 a 1998

Ano / Mês	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
JAN.	282,2	246,4	342,1	246,5	189,4	212,1	216,7	279,5	351,1	280,4	186,2
FEV.	186,4	174,6	119,8	236,7	116,3	293,4	129,8	523,3	175,8	212,2	347,6
MAR.	187,2	94,4	200,7	403,5	231,6	148,6	158,7	123,4	243,7	70,4	176,5
ABR.	161,0	81,7	82,2	167,5	59,7	108,0	50,5	140,3	77,7	117,5	85,5
MAL.	70,0	7,5	48,5	58,3	127,5	56,5	76,4	64,0	40,8	68,0	118,6
JUN.	14,3	50,7	5,0	19,3	1,0	62,1	36,0	24,5	19,5	168,0	13,8
JUL.	0,0	117,0	43,1	32,0	47,4	5,8	25,3	35,0	1,7	28,3	3,1
AG.	0,0	24,5	60,4	0,0	21,1	44,2	0,0	0,0	33,8	0,0	30,6
SET.	9,4	87,9	52,0	34,3	127,8	131,1	0,0	38,7	152,9	65,6	89,2
OUT.	166,5	38,0	127,9	199,1	106,1	99,0	127,7	157,3	133,1	119,2	117,9
NOV.	118,4	186,5	99,0	28,4	185,2	81,5	217,4	185,5	202,4	203,8	29,6
DEZ.	84,0	220,9	111,4	330,9	158,2	207,7	144,6	245,9	208,0	153,7	311,8
TOTAL	1279,4	1330,1	1292,1	1756,5	1371,3	1450,0	1183,1	1817,4	1640,5	1487,1	1785,8

Fonte: Estação Climatológica Clássica do CRHEA - Itirapina / SP

SANT'ANNA NETO (1997) estudou as mudanças climáticas no Estado de São Paulo através da dinâmica das chuvas em 100 anos (1888 a 1993), concluindo que as anomalias pluviométricas existentes são frutos de oscilações periódicas que têm origem na dinâmica atmosférica.

Outra característica que pode ser observada nas regiões que têm esta feição climática é a amplitude térmica relativamente alta em grande parte dos dias do ano.

Conforme pode ser observado na tabela 03, que apresenta dados referentes ao ano climático típico (1991) adotado para a simulação do desempenho térmico dos protótipos utilizados neste trabalho, a amplitude média mensal ultrapassa 10°C, exceto no mês de março, provavelmente devido ao alto índice de umidade relativa do ar verificado neste mês.

TABELA 03: Temperaturas médias mensais (°C) e amplitude térmica média (°C)

Ano climático de Referência - 1991

MÊS	Máxima absoluta	Mínima absoluta	Amplitude Absoluta	Média Máxima	Média Mínima	Amplitude Média
JAN.	32,1	15,2	16,9	27,8	18,0	10,2
FEV.	31,4	12,4	19,0	29,0	18,2	10,4
MARÇO	32,2	14,6	17,6	26,5	18,0	8,4
ABRIL	30,7	10,4	20,3	27,2	14,8	12,3
MAIO	27,8	6,7	21,1	25,6	10,9	14,6
JUNHO	28,7	5,8	22,9	24,6	10,2	14,4
JULHO	27,6	2,2	25,4	24,1	8,7	15,1
AGOSTO	32,3	5,1	27,2	27,2	10,8	16,3
SET.	33,3	6,2	27,1	28,2	13,2	15,0
OUT.	33,4	9,0	23,8	28,4	15,5	12,8
NOV.	33,9	12,6	21,3	30,1	16,9	13,2
DEZ.	33,1	13,2	19,9	29,1	17,5	11,5
MÉDIA/ANO	31,3	9,6	21,7	27,3	14,4	12,9

Fonte: Estação Climatológica (clássica) do CRHEA - Itirapina / SP

Deve ser levado em consideração que os dados utilizados referem-se exatamente ao local de estudo desta investigação, que possui cobertura do solo quase 100% permeável (vegetação) e interferências antrópicas pouco significativas, no que diz respeito à alterações ambientais. Tais dados, juntamente com o fator altitude (733m), certamente contribuem para a ocorrência de baixas temperaturas noturnas. A ausência de superfícies acumuladoras e emissoras de radiação, permite um rápido resfriamento do ar no período noturno (figura 23), sendo assim a diferença entre as temperaturas diurna e noturna tende a ser maior.

A alta amplitude térmica é uma característica que, em geral, pode ser observada nas regiões do território brasileiro que apresentam períodos de inverno seco. Em se tratando de conforto ambiental, esta característica demonstra que é arriscado estabelecer

recomendações de projeto baseadas em estudos que consideram apenas os valores das médias mensais ou anuais das temperaturas do ar, pois esta média não representa as variações térmicas que ocorrem durante as 24 horas do dia.

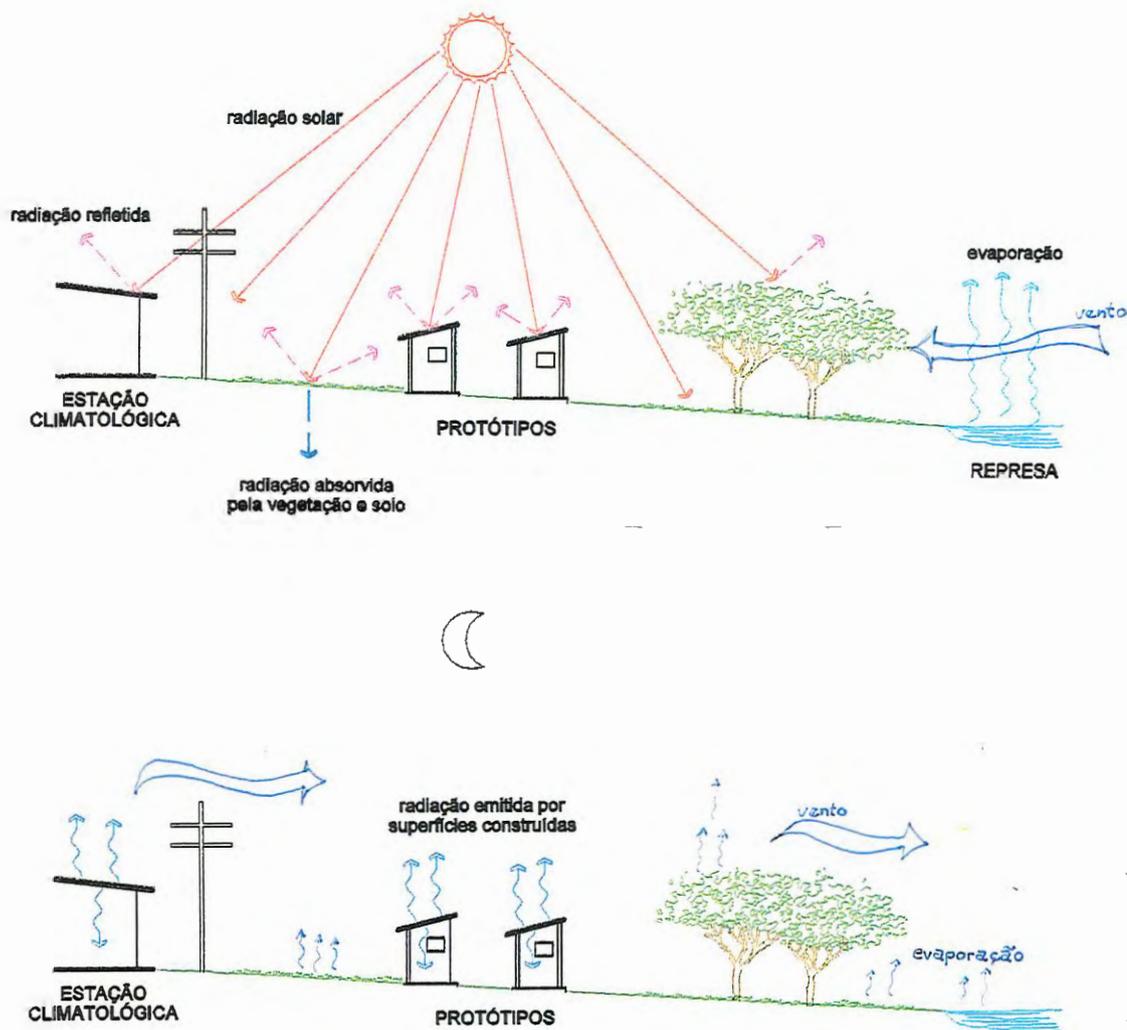


FIGURA 23 - Representação esquemática (s/ escala) da superfície do solo da área onde se localizam os protótipos utilizados neste trabalho.

Fonte: o autor

5 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

5.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPOS DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS.

A simulação do desempenho térmico dos protótipos foi feita considerando o mês de agosto, cujos dados das variáveis climáticas foram extraídos do ano climático típico (1991), adotado para este estudo.

O “software” utilizado (ARQUITROP) calculou as temperaturas horárias externas, internas e de superfície, baseado nas informações fornecidas ao seu banco de dados. Como as informações referentes às variáveis climáticas do ano climático típico são médias mensais, os valores diários mensais apresentam pouca, ou nenhuma variação, ou seja, do primeiro dia do mês ao último, não há alterações significativas nos dados. Em função disto, adotou-se o dia 15 como representativo do mês todo. Portanto, apenas um gráfico para cada protótipo é apresentado.

A escolha deste mês para a realização da simulação é justificada pelo fato de que o episódio climático escolhido para este estudo ocorreu durante o mês de agosto (12 a 18 de agosto de 1999).

Conforme as recomendações para projeto obtidas através do “software”, a edificação para estar adaptada ao clima do local de estudo, deve ter cobertura pesada (alta inércia térmica, com retardo do fluxo de calor em torno de 8 horas), ser compacta, ter poucas aberturas nas fachadas, ter as paredes protegidas das chuvas e da radiação solar excessiva. Recomenda também, que o edifício seja ventilado, porém não especifica o tipo de ventilação que deve ser adotada (higiênica, cruzada ou composta).

A simulação mostra dados da temperatura externa (TE), temperatura do ar interna (TI), temperatura “ambiental” (TA), que indica o efeito combinado entre a temperatura do ar e as temperaturas superficiais do ambiente, e da temperatura superficial média do ambiente (TS).

Os resultados obtidos na simulação de desempenho térmico do protótipo de cobertura leve (protótipo 01 - cobertura de telhas cerâmicas sem laje ou forro) (figura 24 / tabela 04), apontam para a baixa inércia térmica deste tipo de construção, uma vez que as temperaturas externas e internas apresentam valores muito próximos durante várias horas do dia, com uma diferença média de mais 0,31 °C para o ambiente interno nos horários de maior aquecimento (entre 8:00 h. e 18:00 h.) e de mais 2,84 °C, também para o ambiente interno, nos horários noturnos, madrugada e primeiras horas da manhã (entre 19:00 h. e 6:00 h.).

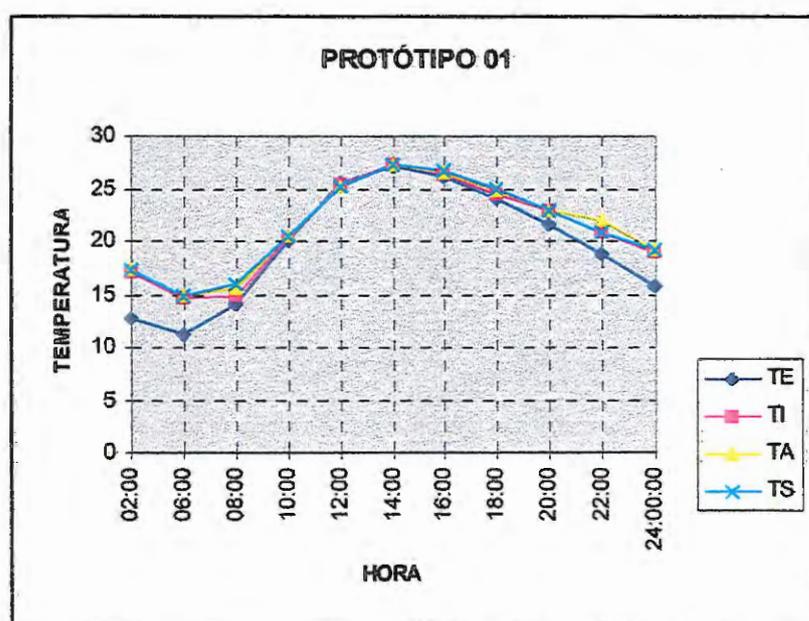


FIGURA 24: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01

Este resultado considera a acumulação do calor proveniente da radiação pelos fechamentos horizontais e verticais e a interrupção do fluxo de ventilação principal (porta e janela fechadas).

TABELA 04: Variação horária de Temperatura - Protótipo 01

HORA	TE (°C)	TI (°C)	TA (°C)	TS (°C)
02:00	12,9	17,1	17,4	17,4
06:00	11,3	14,8	15	15
08:00	14,1	14,9	15,6	16,1
10:00	20,2	20,4	20,5	20,6
12:00	25,6	25,4	25,3	25,2
14:00	27,2	27,3	27,4	27,4
16:00	26,2	26,4	26,6	26,7
18:00	24,2	24,6	24,9	25,1
20:00	21,7	23	23,1	23,1
22:00	18,9	20,9	22,1	21
24:00	15,8	19	19,2	19,2

No protótipo 02, de cobertura de telha cerâmica com laje, os resultados obtidos pela simulação acusam maior inércia térmica deste tipo de edificação em relação ao anterior (figura 25 / tabela 05). No intervalo entre 10:00 h. e 16:00 h., período de maior incidência de radiação solar sobre a cobertura, a temperatura do ar interna aparece ligeiramente menor que a temperatura externa, com uma diferença média de menos 1,4 °C para o ambiente interno. Nos horários de menor incidência de radiação solar e no período noturno (entre 17:00 h. e 24:00 h., e entre 1:00 h. e 8:00 h.) o ambiente interno aparece mais aquecido que o ambiente externo, com uma diferença média de mais 2,77 °C para o ambiente interno.

De acordo com as recomendações, a edificação coberta com telhas de barro e laje está mais adequada ao clima do local de estudo, em relação ao protótipo 01, pois apresenta maior resistência térmica, isolando melhor que o protótipo anterior, o ambiente interno, nos horários de maior incidência de radiação solar, e evitando a rápida perda, durante o período noturno, do calor interno acumulado.

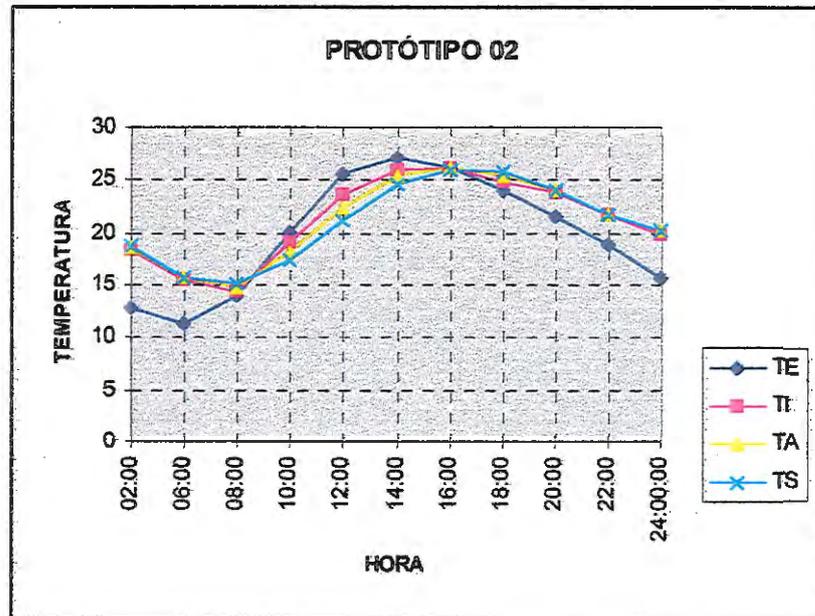


FIGURA 25: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02

TABELA 05: Variação horária de temperatura - Protótipo 02

HORA	TE (°C)	TI (°C)	TA (°C)	TS (°C)
02:00	12,9	18,4	18,7	18,8
06:00	11,3	15,6	15,8	15,8
08:00	14,1	14,5	14,8	15,1
10:00	20,2	19,1	18,2	17,4
12:00	25,6	23,8	22,5	21,3
14:00	27,2	26,1	25,4	24,7
16:00	26,2	26,2	26,2	26,1
18:00	24,2	24,9	25,4	25,9
20:00	21,7	24	24,1	24,1
22:00	18,9	21,8	21,9	21,9
24:00	15,8	20	20,3	20,3

5.2 ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPOS DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS COM BASE NA INTERPRETAÇÃO DE UM EPISÓDIO REPRESENTATIVO DO FATO CLIMÁTICO

Situação de inverno - Regiões Sudeste do Brasil

A estação do inverno na Região Sudeste brasileira caracteriza-se por uma série sucessiva de ciclos que definem os estados do tempo, em decorrência dos avanços e recuos da Massa Polar Atlântica, que é mais impetuosa nesta estação, devido ao processo de resfriamento que sofre o continente Sul Americano a partir do final do outono.

O anticiclone do Pacífico também está mais próximo do continente nesta estação e pode agir como um reforço ao anticiclone Polar Atlântico em seus avanços para o norte, produzindo intensas ondas de frio no sul do Brasil.

A fase de prenúncio de uma frente fria pode ser denominada como fase Pré - Frontal (figura 26), e é marcada por uma pequena onda de calor resultante do domínio da Massa Tropical Continental (Tc) e da Massa Tropical Atlântica (Ta), com altas temperaturas, atmosfera estável e umidade do ar e pressão atmosférica baixas. “Na medida que a temperatura do ar aumenta, a pressão diminui, preparando o caminho para o avanço da massa fria” (MONTEIRO, 1969, p.133).

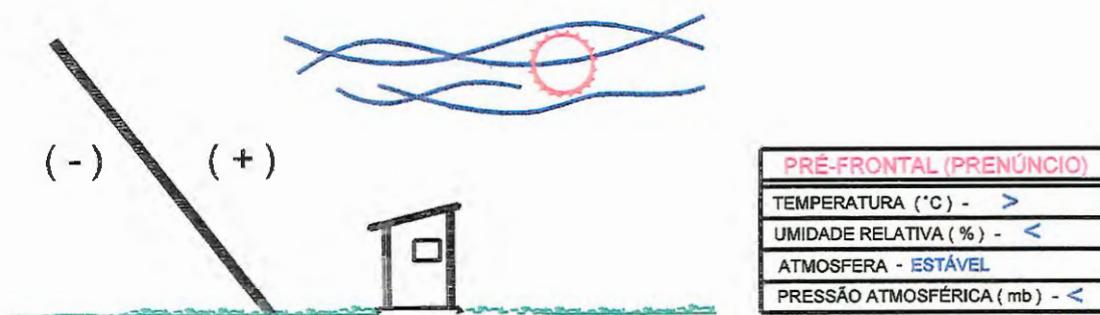


FIGURA 26 - Fase Pré-Frontal - esquema ilustrativo

Fonte: Anotações de aula - disciplina: Climatologia - CHREA

A marcha da Massa Polar Atlântica (Pa) para o norte, que no inverno, geralmente ultrapassa a Região Sul, pode ser denominada de **Fase de Avanço** (figura 27), caracterizada pelo mau tempo, instabilidade da atmosfera, aumento da pressão atmosférica e mudança na direção dos ventos, que passam a soprar do quadrante sul.

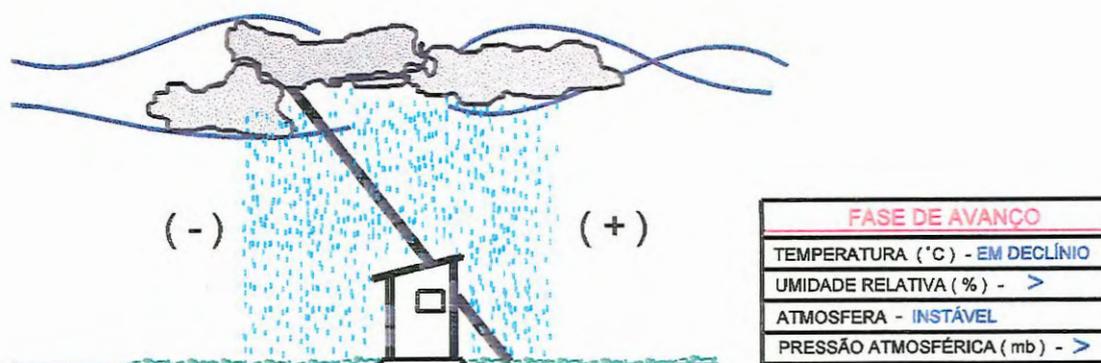


FIGURA 27 - Fase de Avanço - esquema ilustrativo

Fonte: Anotações de aula - disciplina: Climatologia - CHREA

Por fim, a fase de domínio da Massa Polar Atlântica (Pa) denomina-se fase **Pós-Frontal** (figura 28) que caracteriza-se pela atmosfera estável, temperaturas baixas e umidade do ar elevada. Após esta fase, a massa polar tende a tropicalizar-se transformando-se em uma “Polar Velha”, aumentando novamente a temperatura do ar, até a chegada de uma nova frente (“... a limpidez do céu ativando o processo da insolação, e a ausência do efeito estufa da nebulosidade, faz com que a massa polar se vá modificando a ponto de perder suas características originais” - MONTEIRO, 1969 - p.135).

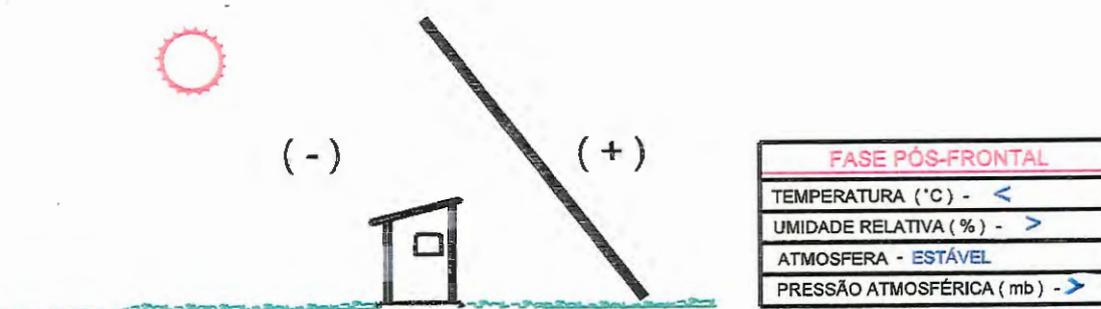


FIGURA 28 - Fase Pós - Frontal - esquema ilustrativo

Fonte: Anotações de aula - disciplina: Climatologia - CHREA

É durante a ocorrência destes episódios climáticos, caracterizados pelas três fases distintas, que podem ser verificadas situações extremas nos valores da pressão atmosférica, da temperatura e umidade do ar, nos índices de pluviosidade, na direção e velocidade dos ventos, que vão variar conforme o tamanho e a intensidade da frente perturbadora.

No território paulista, durante o verão, a Frente Polar Atlântica lidera a gênese das chuvas, sendo este período caracterizados por altas temperaturas e alto índice de umidade do ar, sendo que a passagem das frentes, geralmente, trazem chuvas intensas. No inverno, os índices de umidade do ar são menores e a passagem das frentes frias nem sempre traz chuvas, mas tem grande influência nas alterações da temperatura do ar.

Esta pesquisa selecionou o episódio climático de inverno ocorrido entre os dias 12 e 18 de agosto do ano de 1999 para estudo, para poder observar as variações climáticas extremas e sua repercussão nos ambientes construídos.

Descrição do episódio de 12 a 18 de agosto de 1999

O episódio escolhido para estudo ocorreu entre os dias 12 e 18 de agosto de 1999, período em que se observou uma forte atuação do anticiclone do Pacífico sobre o continente Sul Americano ocasionando uma intensa onda de frio.

De acordo com a classificação de MONTEIRO (1969) para os fluxos do ar polar no continente Sul Americano, pode-se considerar que este episódio, na escala climática regional, caracterizou-se por um “fluxo contínuo”, ou seja, pela formação de um enorme anticiclone que produziu um grande fluxo de penetração de ar polar no território brasileiro, atingindo a Amazônia ocidental, ocasionando o fenômeno da “friagem”, chegando até ao norte da Bahia. Verificou-se também, a ocorrência de geadas e neve na região Sul, o que reforça a característica do “fluxo contínuo”.

Na área de estudo, o episódio pôde ser observado a partir do dia 12 de agosto, no qual era nítida a fase Pré - Frontal através da característica estável da atmosfera, altas temperaturas e baixa umidade do ar (na estação do CRHEA registrou-se para o dia 12 a mínima de 7,1°C e a máxima de 29,8°C, umidade relativa do ar de 41% e 939,5 mb de

pressão atmosférica; para o dia 13 a temperatura mínima registrada foi 9,0°C contra uma máxima de 30,3°C, a umidade relativa do ar foi registrada em 38% e a pressão atmosférica em 936,2 mb).

Durante o decorrer do dia 13 pôde-se observar a formação de nuvens do tipo cirros e cirros-stratus no céu, que podem ser interpretadas como sinais de aproximação de um sistema frontal.

Na figura 29, pode-se verificar o aumento da pressão atmosférica a partir do dia 14, quando a frente fria marcou sua passagem pela área de estudo. A pressão atmosférica atingiu seu maior valor, durante este episódio, no dia 16 (946,6 mb), confirmando a fase de domínio da massa polar. Não foi registrada a ocorrência de chuvas na área de estudo durante a passagem deste episódio.

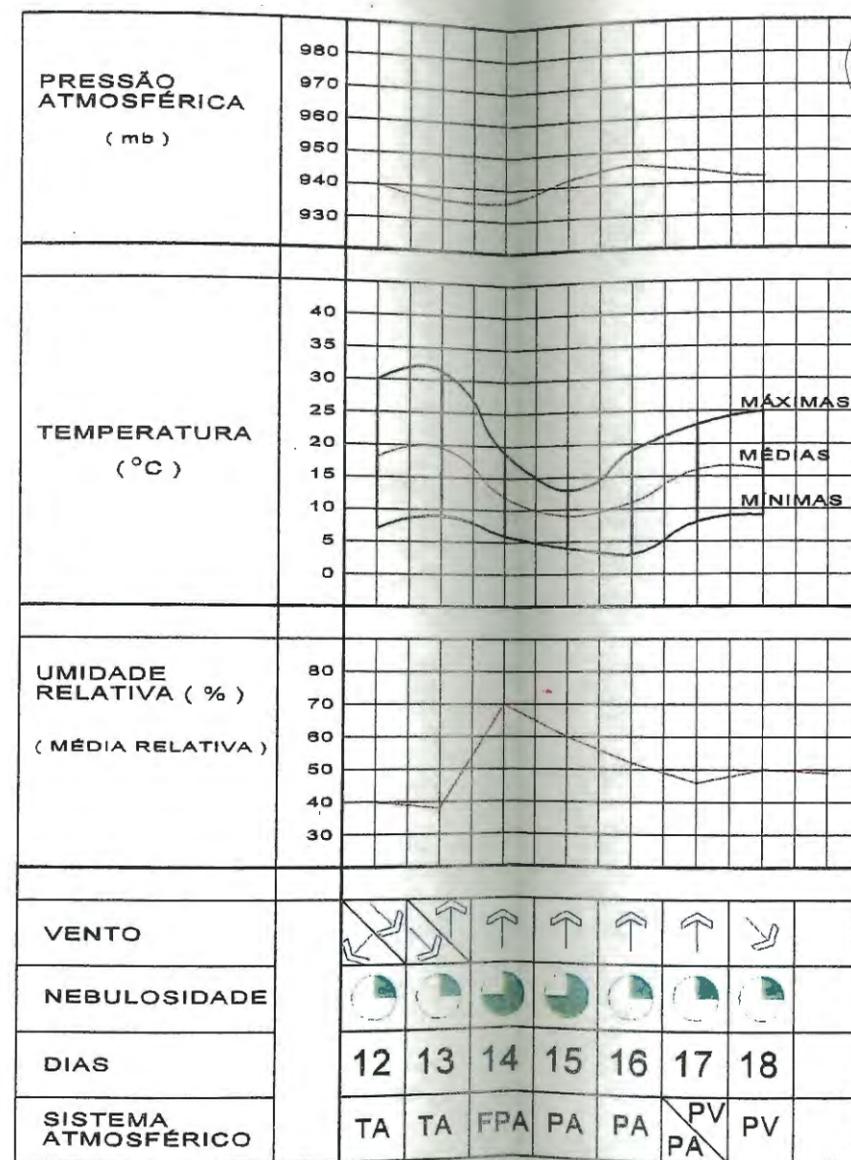
Em escala mesoclimática, como pode-se observar na figura 30, referente ao dia 12 de agosto, uma grande massa de ar polar formada no Pacífico entrando no continente pela costa do Chile, e a formação de um anticiclone polar atlântico ao sul da Argentina; na figura 31, referente às 0:00 horas do dia 13, observa-se a entrada da frente fria sobre o Rio Grande do Sul, Santa Catarina, já atingindo o sul do Estado do Paraná.

No dia 13, a frente avança pelo Estado do Paraná, atingindo o sul do Estado de São Paulo na madrugada do dia 14 (figura 32). O dia 14 é marcado pela passagem da frente por todo o Estado de São Paulo, observando-se aumento da nebulosidade, porém sem a ocorrência de chuvas.

No dia 15 observou-se, por volta das 17:00 horas, aproximadamente, o episódio já em fase Pós - Frontal (figura 33), onde pôde-se verificar o domínio da massa polar através da estabilidade da atmosfera, dos valores mínimos da temperatura do ar e pelo aumento significativo da umidade do ar. Na cidade de São Paulo foi registrado a temperatura mais baixa de 5,4°C contra uma máxima de 12,2°C, segundo informações do **Inmet** (Instituto Nacional de Meteorologia). Na estação do CHREA, Itirapina, local de estudo desta pesquisa, a mínima registrada foi de 4,8°C contra uma máxima de 12,8°C, e a umidade relativa do ar foi registrada em 60,7%.

Durante o dia 16 observou-se ainda o domínio da massa polar (figura 34), registrando-se ainda temperaturas baixas. Na estação do CRHEA registrou-se a mínima de

ANÁLISE DO EPISÓDIO CLIMÁTICO DE INVERNO (OCORRIDO ENTRE OS DIAS 12 E 18 DO MÊS DE AGOSTO DO ANO DE 1.999)



DADOS METEOROLÓGICOS - FONTE : ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DO CRHEA (ESTAÇÃO CLÁSSICA)

TEMPERATURA DO AR (°C)			
DIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA
12	29.8	7.1	18.4
13	30.3	9.0	19.6
14	19.5	5.2	12.3
15	12.8	4.8	8.8
16	19.0	3.0	11.0
17	23.0	7.8	15.4
18	24.8	8.0	16.4
mês/ano: agosto - 1999			

FONTE : ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DO CRHEA (ESTAÇÃO CLÁSSICA)

UMIDADE (%)		PRESSÃO ATM. (mb)	
DIA	(%)	DIA	(mb)
12	41	12	939.5
13	38	13	936.2
14	69.7	14	937.1
15	60.7	15	943.2
16	53.5	16	946.6
17	46.5	17	945.8
18	50	18	943.2
mês/ano: agosto - 1999		mês/ano: agosto - 1999	

FONTE : ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DO CRHEA (ESTAÇÃO CLÁSSICA)



FIGURA 29

3,0°C e a máxima de 19,0°C. Já no dia 17, a massa polar apresentou-se em início de tropicalização (figura 35), onde os valores de temperatura do ar já se apresentaram mais elevados, tendendo a aumentar a partir do dia 18.

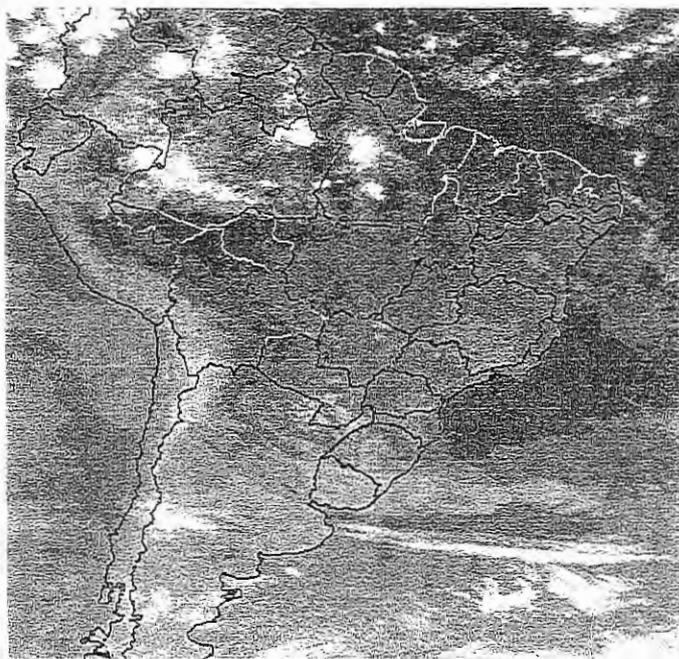


FIGURA 30: Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 12/08/1999 - 9:00h

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

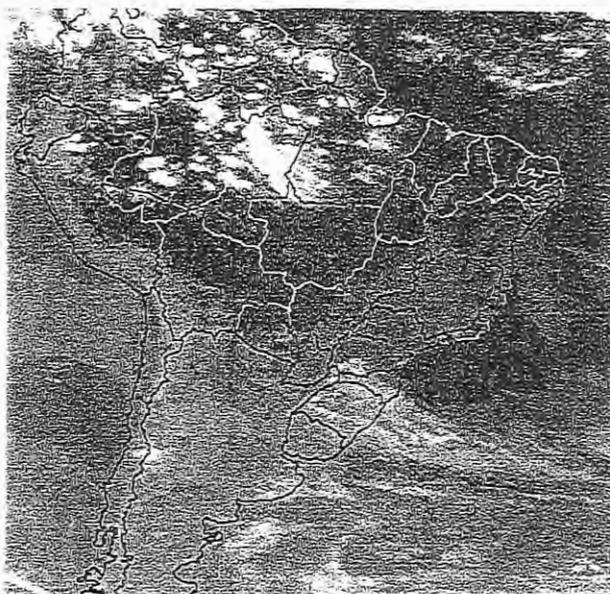


FIGURA 31: Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 13/08/1999 - 0:00h

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

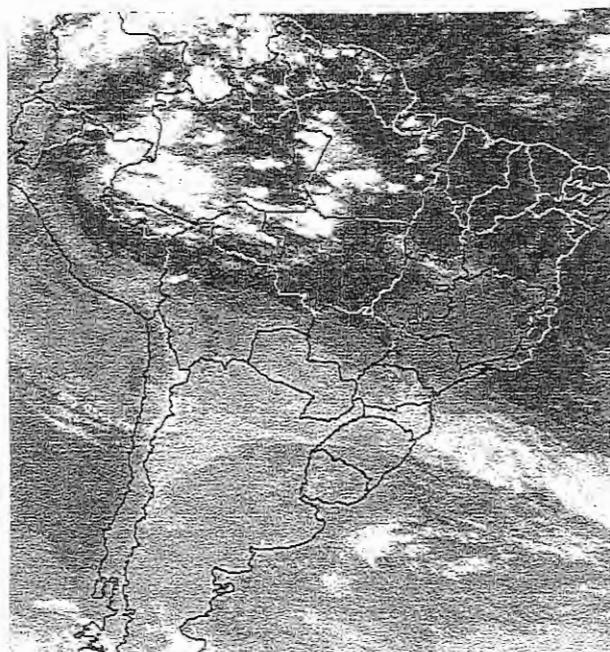


FIGURA 32: Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 14/08/1999 - 0:00h

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

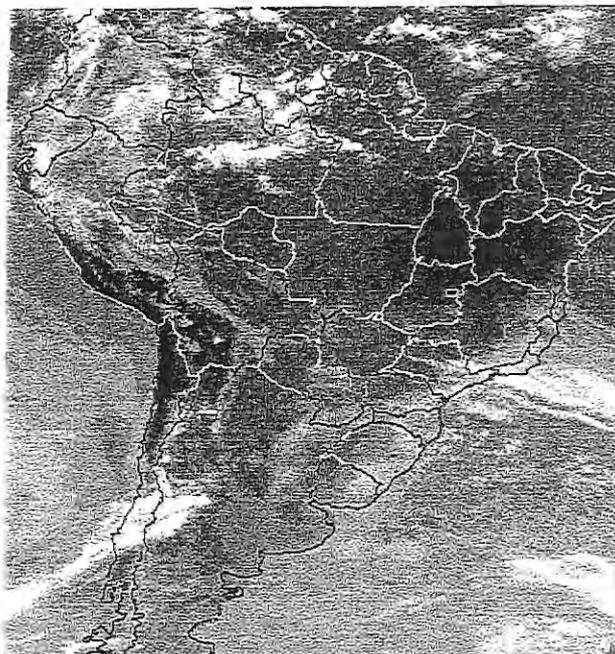


FIGURA 33: Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 15/08/1999 -18:00h

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

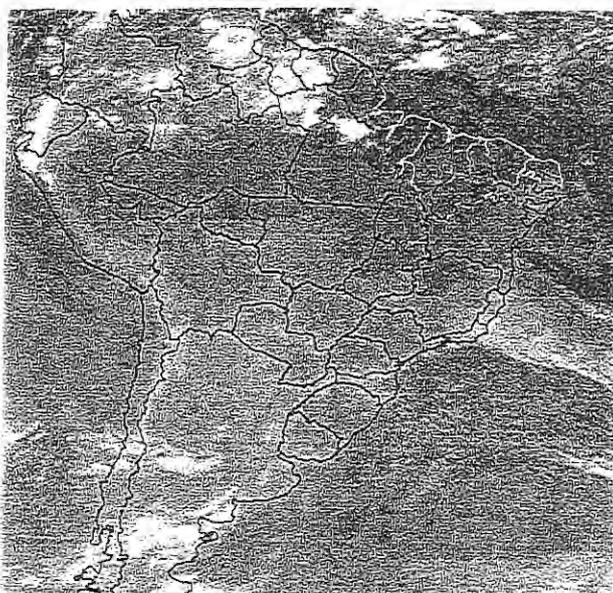


FIGURA 34: Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 16/08/1999 - 9:00h

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

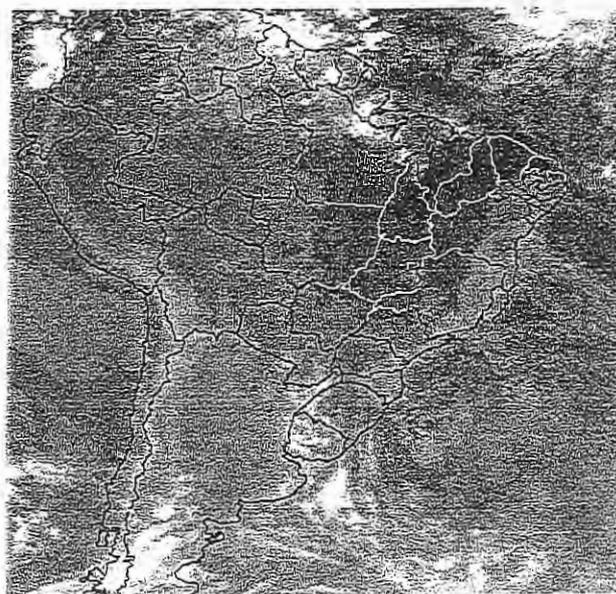


FIGURA 35: Imagem do satélite Góes-8 referente ao dia 17/08/1999 - 12:00h

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Análise do desempenho térmico dos protótipos durante a ocorrência do episódio climático.

Foram efetuadas, nos protótipos utilizados para este estudo, medições de temperatura superficial interna da cobertura (TSI), temperatura de globo (TG) e temperatura de bulbo seco (TBS) através de sensores eletro - eletrônicos ligados a um datalogger, durante a fase pré - frontal (dias 12 e 13 de agosto), fase de avanço (dia 14 de agosto) e fase pós - frontal (dias 15 e 16 de agosto) do episódio climático descrito.

Os valores das temperaturas foram apresentados em intervalos de 2 horas para efeito comparativo com os resultados da simulação computacional.

Fase Pré - Frontal (dias 12 e 13 de agosto)

Nestes dois dias as temperaturas externas acusam um ligeiro aquecimento da atmosfera local, aquecimento este que constitui uma das características da fase que antecede a entrada de uma frente fria. A temperatura máxima nestes dois dias foi registrada em 30,3 °C, no dia 13, por volta de 14:30h.

A figura 36, complementada pela tabela 06, referente ao comportamento térmico do protótipo 01 (coberto com telhas de barro e sem laje) no dia 12, mostra que durante a madrugada, até 8:00h, as temperaturas internas apresentaram-se mais altas que a temperatura externa, sendo em média, mais 0,96 °C para a temperatura de globo (TG), 1,27 °C para a temperatura de bulbo seco (TBS) e 0,69 °C para a temperatura interna da superfície da cobertura (TSI).

No intervalo entre 8:00h e 12:00h a temperatura externa apresentou-se, em média, 0,63 °C mais alta que a temperatura de globo e, 2,00 °C mais alta que a temperatura de bulbo seco. A temperatura de superfície interna da cobertura elevou-se proporcionalmente ao aumento da intensidade da radiação solar, de forma que a partir de 12:00h até 24:00h a TSI apresentou-se mais elevada que a temperatura externa, devido à capacidade da telha de acumular o calor recebido pela radiação solar direta (considerando que neste dia registou-se 23% de nebulosidade da atmosfera).

No intervalo entre 14:00h e 24:00h as temperaturas internas permaneceram mais elevadas que a temperatura externa em média 3,84 °C para a temperatura de globo e 4,5°C para a temperatura de bulbo seco. Considerando que no protótipo não existe nenhuma fonte de energia (lâmpadas, equipamentos elétricos, fogo e pessoas) que possa gerar calor no interior do ambiente construído, esta diferença é bastante significativa para os horários de máximo aquecimento.

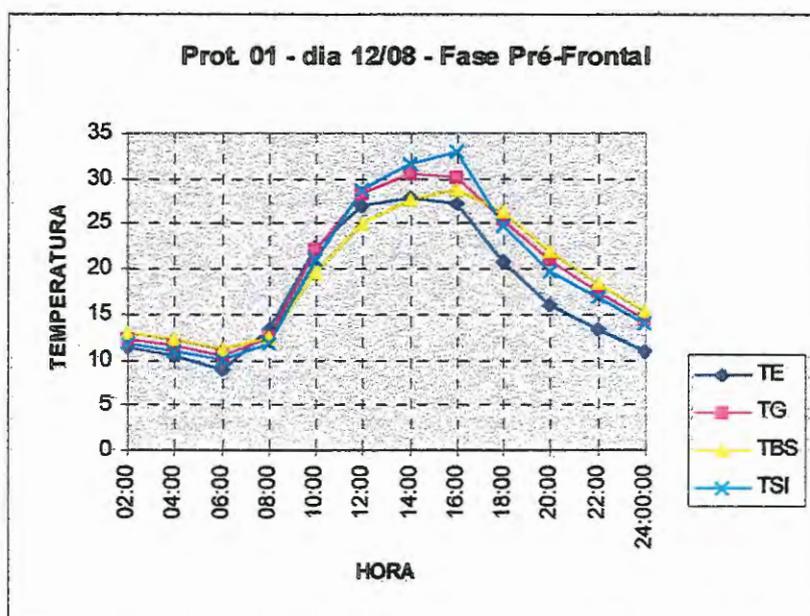


FIGURA 36: Gráfico de variação horária de temperatura - protótipo 01

TABELA 06: Variação horária de temperatura (12/08/99) - Protótipo 01

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS (°C)	TSI (°C)
02:00	11,4	12,36	13,02	11,83
04:00	10,6	11,69	12,3	11,03
06:00	9	10,65	11,14	10,06
08:00	13,5	12,48	12,44	11,85
10:00	22,5	22,18	19,5	21,06
12:00	27	28,45	25,02	28,82
14:00	28	30,66	27,68	31,68
16:00	27,3	30,24	28,94	32,97
18:00	20,9	25,52	26,34	24,8
20:00	16	21,16	22,05	19,75
22:00	13,5	17,65	18,51	16,84
24:00:0	11	14,51	15,35	14,19

A figura 37, complementada pela tabela 07, referente ao comportamento térmico do protótipo 02 (com cobertura de telhas de barro e laje pré-moldada) no dia 12, mostra que a temperatura externa (TE) apresentou-se maior que as temperaturas de globo (TG) e de bulbo seco (TBS) no intervalo entre 8:00h e 11:00h, e maior que a temperatura superficial interna da cobertura (TSI) entre 0:00h e 8:00h.

A TSI apresentou elevação nos valores, assim como no protótipo 01, conforme o aumento da intensidade da radiação solar, caindo em relação à TG e a TBS após o pôr do sol, porém, mantendo-se superior a TE devido ao calor acumulado, ainda não liberado.

O comportamento térmico do protótipo 02 apresentou-se semelhante ao protótipo 01 diante das condições climáticas do dia 12, porém acusa maior resistência ao fluxo de calor, descendente e ascendente, do que o protótipo 01.

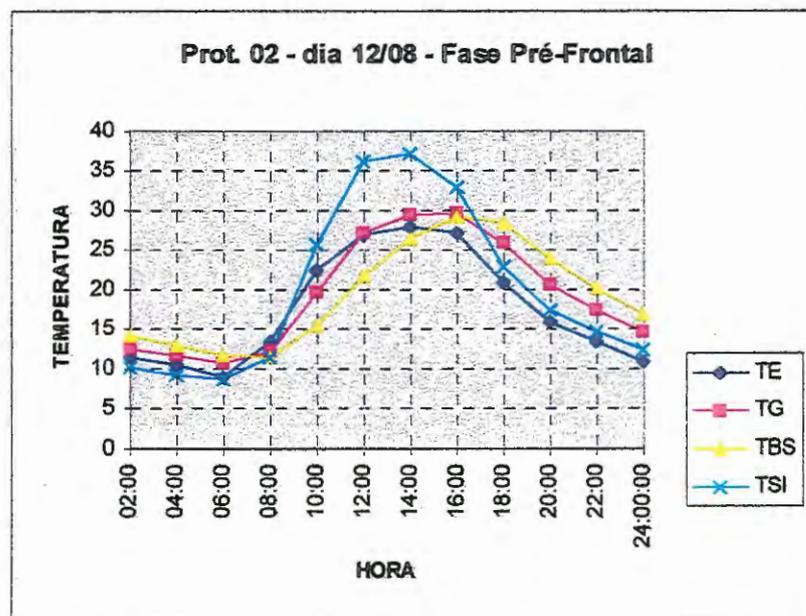


FIGURA 32: Gráfico de variação horária de temperatura - protótipo 02

TABELA 07: Variação horária de temperatura (12/08/99) - protótipo 02

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS (°C)	TSI (°C)
02:00	11,4	12,51	14,29	10,18
04:00	10,6	11,85	12,9	9,31
06:00	9	10,8	11,63	8,71
08:00	13,5	12,17	11,41	11,51
10:00	22,5	19,86	15,51	25,75
12:00	27	27,28	21,76	36,26
14:00	28	29,44	26,59	37,32
16:00	27,3	29,74	29,33	33,04
18:00	20,9	26,01	28,39	23,02
20:00	16	20,08	24,06	17,41
22:00	13,5	17,59	20,3	14,87
24:00:0	11	14,77	17,04	12,55

As diferenças entre as temperaturas internas e externas nos horários de máximo aquecimento (entre 12:00h e 16:00h) acusaram uma média de menos 1,41°C na TG e menos 2,7°C na TBS para o protótipo 02 em relação ao protótipo 01, demonstrando que a edificação com laje é mais eficiente no amortecimento do fluxo térmico (neste caso, do exterior para o interior).

As figuras 38 e 39, complementadas pelas tabelas 08 e 09, referentes ao comportamento térmico dos protótipos 01 e 02 no dia 13, respectivamente, apontam uma inversão nos valores das temperaturas superficiais (TSI) em relação à TE. Esta permanece superior a TSI a partir de 9:00h, aproximadamente, até às 24:00h.

Esta inversão aponta um resultado bastante inesperado uma vez que, do dia 12 para o dia 13 as temperaturas externas não variaram de forma significativa e as condições gerais da atmosfera apresentaram-se semelhantes nos dois dias. A nebulosidade no dia 13 aumentou muito pouco (3% em relação ao dia anterior - ver figura 24); a velocidade média do vento foi calculada em 3,58m/s contra 2,29m/s no dia 12; a quantidade de radiação solar foi a mesma para os dois dias (308,97 W/m²); a direção do vento passou, durante o dia 13, de noroeste para sul devido a aproximação da Frente Fria que chegou no local de estudo no dia 14; a umidade relativa do ar caiu de 41% para 38%; a pressão atmosférica caiu de 939,5 mb para 936,2 mb.

Segundo OLGYAY (1963), a relação entre os componentes que afetam a carga térmica e as suas variações durante o processo de transmissão de calor é complexa e depende das mudanças cíclicas das condições externas.

A queda da umidade do ar somada com o ligeiro aumento da velocidade do vento pode ter provocado uma inversão no fluxo de calor devido à evaporação da umidade contida nas paredes e cobertura, reduzindo as temperaturas das envolventes, e conseqüentemente, do ar interior. O vento noroeste envolvendo as fachadas norte e oeste dos protótipos, que estão submetidas à radiação solar nos horários de maior aquecimento, pode ter contribuído para o resfriamento das envolventes por convecção.

Apesar deste resultado inesperado, comparando os valores das temperaturas internas (TBS e TG) dos dois protótipos, percebe-se que nos horários de maior

aquecimento, o ambiente interno do protótipo 02, assim como no dia anterior, apresentou-se mais frio do que o ambiente interno do protótipo 01.

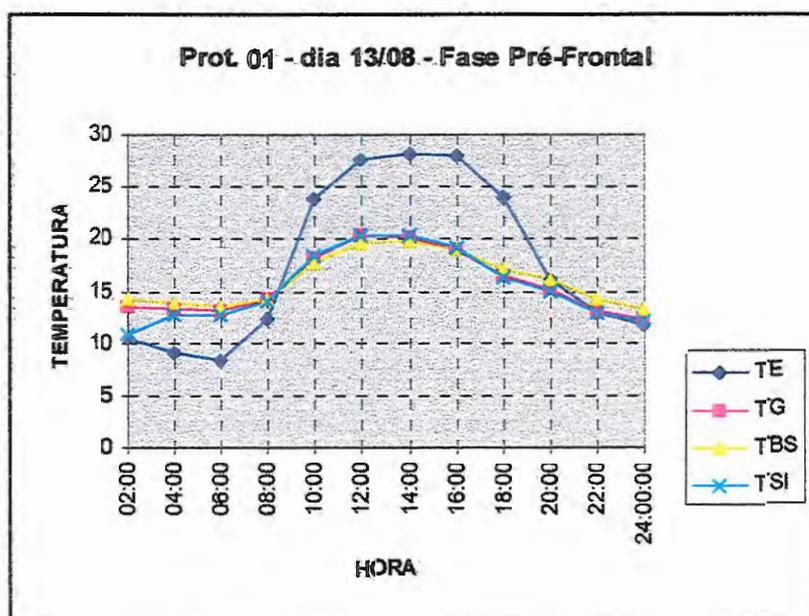


FIGURA 38: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01

TABELA 08: Variação horária de temperatura (13/08/99) - protótipo 01

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	10,5	13,64	14,42	10,96
04:00	9,2	13,33	13,91	12,8
06:00	8,5	13,15	13,5	12,86
08:00	12,5	14,37	14,4	14,08
10:00	23,8	18,31	17,74	18,58
12:00	27,8	20,54	19,67	20,53
14:00	28,2	20,26	19,93	20,42
16:00	28	19,04	19,14	19,33
18:00	24	16,61	17,11	16,49
20:00	16,2	15,38	16,32	15,19
22:00	13	13,2	14,38	12,99
24:00	11,9	12,4	13,36	12,27

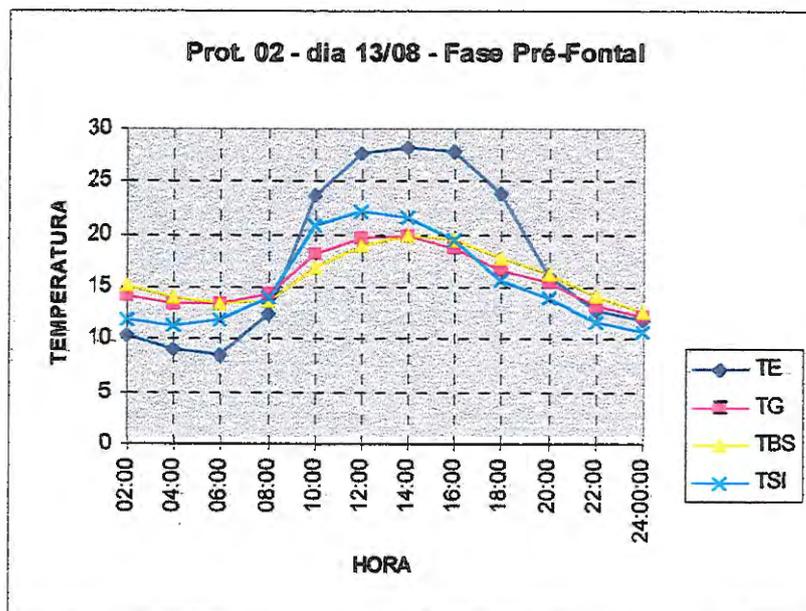


FIGURA 39: Gráfico de variação horária de temperatura - protótipo 02

TABELA 09: Variação horária de temperatura (13/08/99)- Protótipo 02

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	10,5	14,28	15,24	12,01
04:00	9,2	13,53	14,09	11,37
06:00	8,5	13,46	13,51	11,94
08:00	12,5	14,36	13,73	14,06
10:00	23,8	18,27	16,82	20,93
12:00	27,8	19,74	19	22,3
14:00	28,2	19,86	20,01	21,65
16:00	28	18,86	19,54	19,51
18:00	24	16,8	17,82	15,75
20:00	16,2	15,58	16,39	14,14
22:00	13	13,35	14,23	11,76
24:00	11,9	12,32	12,74	10,9

Fase de avanço da Frente Fria (dia 14 de agosto)

As temperaturas externas registraram valores menores durante o dia todo, em relação à fase anterior. As características da fase de avanço puderam ser observadas na nebulosidade da atmosfera, que saltou de 25% (registro do dia 13) para 72% e nos valores da umidade relativa do ar média, que aumentou de 38% registrado no dia 13, para 69,7% no dia 14. A velocidade do vento média, na altura dos protótipos (2,00 metros), foi calculada em 15,44 m/s, sendo predominante, o vento sul.

A figura 40, complementada pela tabela 10, referente ao comportamento térmico do protótipo 01 durante o dia 14, mostra que a temperatura externa permaneceu mais elevada que as temperaturas internas (TSI, TBS e TG) durante todo o período diurno e noturno. Este resultado pode ser justificados devido ao fato de que as envolventes do protótipo (paredes e cobertura), em função da alta nebulosidade, não receberam radiação solar direta, e não havendo fontes de calor no ambiente interno, este não foi provido de energia suficiente para aquecer-se. Além disto, o aumento da velocidade média do vento pode ter contribuído para um sensível aumento da troca de calor por convecção entre as envolventes e o ar exterior.

Nos intervalos horários entre 0:00h e 6:00h, 22:00h e 24:00h as temperaturas internas e externa praticamente igualam-se, apontando a baixa inércia térmica do sistema construtivo do protótipo 01.

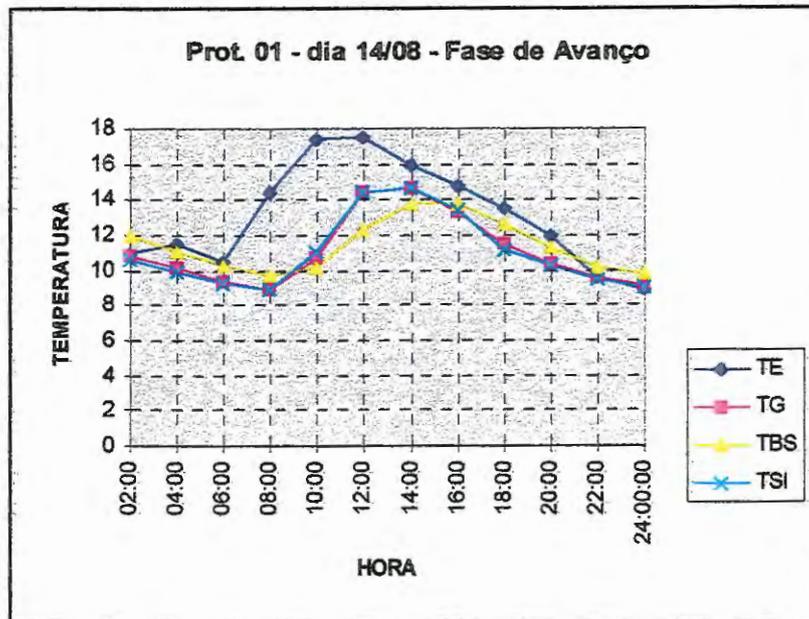


FIGURA 40: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01

TABELA 10: Variação horária de temperatura (14/08/99) - protótipo 01

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	11	10,89	11,95	10,69
04:00	11,5	10,18	11,07	9,99
06:00	10,5	9,41	10,28	9,32
08:00	14,5	8,97	9,68	8,91
10:00	17,4	10,79	10,23	11,04
12:00	17,5	14,53	12,34	14,51
14:00	16	14,7	13,81	14,76
16:00	14,8	13,38	13,79	13,44
18:00	13,6	11,51	12,72	11,25
20:00	12	10,44	11,28	10,28
22:00	9,6	9,59	10,2	9,48
24:00	9	9,12	9,83	9,11

A figura 41, complementada pela tabela 11, referente ao comportamento térmico do protótipo 02 no dia 14 de agosto, mostra um comportamento semelhante ao do protótipo 01, ou seja, as temperaturas externas apresentaram-se superiores que as internas praticamente o dia todo.

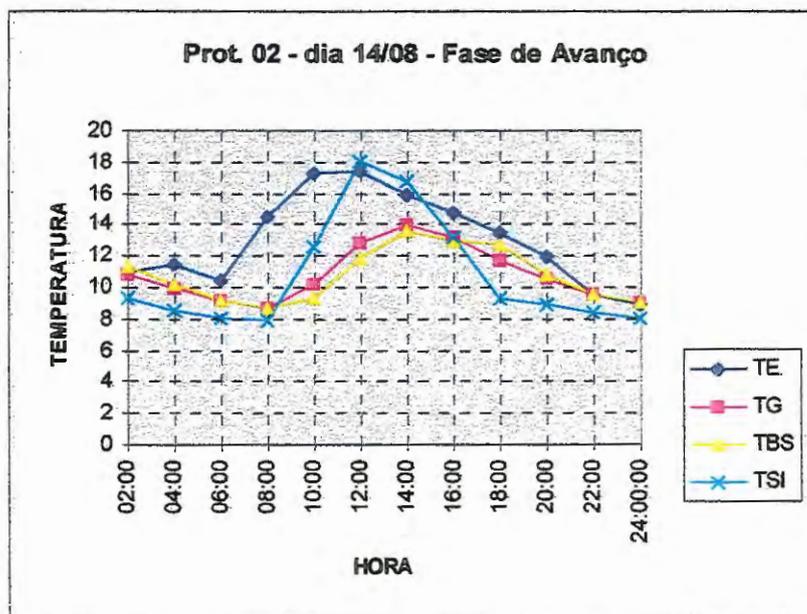


FIGURA 41: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02

TABELA 11: variação horária de temperatura (14/08/99) - Protótipo 02

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	11	10,86	11,4	9,4
04:00	11,5	9,99	10,21	8,61
06:00	10,5	9,25	9,29	8,06
08:00	14,5	8,77	8,72	7,96
10:00	17,4	10,19	9,37	12,67
12:00	17,5	12,94	11,86	18,14
14:00	16	14,01	13,68	16,78
16:00	14,8	13,27	13	13,26
18:00	13,6	11,79	12,81	9,38
20:00	12	10,58	10,85	8,96
22:00	9,6	9,65	9,66	8,52
24:00	9	9,13	9,11	8,14

Nos horários de maior aquecimento, (entre 12:00h e 14:00), a temperatura superficial interna da cobertura (TSI) apresentou-se maior que a temperatura externa. Em relação ao protótipo 01, a cobertura do protótipo 02, composta de telhas e laje, além de um estreito ático (espaço entre as telhas e a laje) não ventilado, pode acumular maior quantidade de calor proveniente da radiação solar, mesmo quando esta incide de forma indireta.

Fase Pós - Frontal (dias 15 e 16 de agosto)

As temperaturas externas neste período registraram valores consideravelmente inferiores àqueles das fases anteriores. Para os dias 15 e 16 foi calculado 8,8 °C e 11,0 °C, respectivamente, para a temperatura média do ar.

A nebulosidade da atmosfera caiu, no dia 15, para 66% e para 21% no dia 16, acusando o estado estável da atmosfera. Estas características, juntamente com o vento predominante de direção sul com velocidade média de 16,37 m/s (dia 15) e 11,2 m/s (dia 16) a 2,00m de altura, confirmam o domínio da massa de ar polar durante a fase pós - frontal.

As figuras 42 e 43, complementadas pelas tabelas 12 e 13, referentes ao comportamento térmico do protótipo 01 nos dias 15 e 16, respectivamente, mostram que a temperatura externa (TE) permaneceu inferior às temperaturas internas (TSI, TBS e TG), apresentando diferenças muito significativas, principalmente durante os intervalos horários de maior incidência de radiação solar (após as 12:00h).

Considerando que as envoltentes receberam nestes dois dias maior quantidade de radiação solar direta em relação ao dia 14, o ambiente interno aqueceu-se através da transmissão do calor recebido e acumulado pelas paredes e pela cobertura.

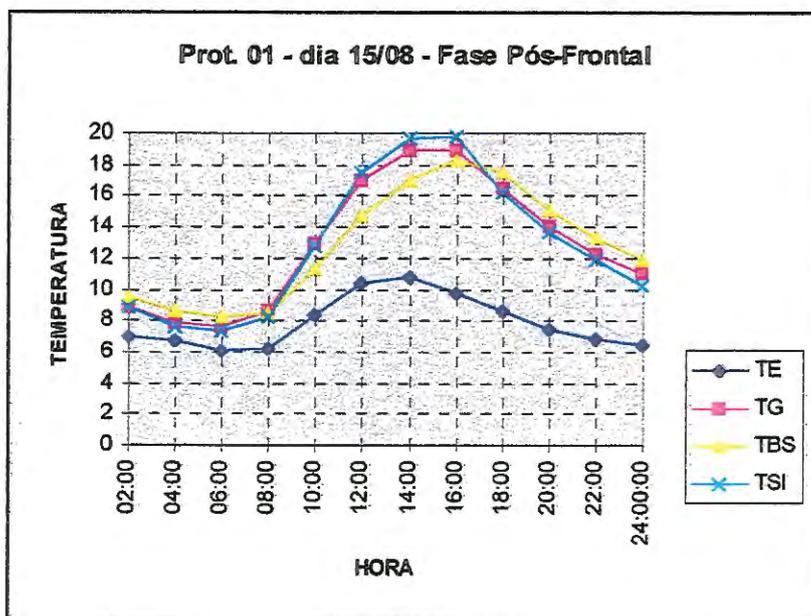


FIGURA 42: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01

TABELA 12: Variação horária de temperatura (15/08/99) - Protótipo 01

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	7,02	8,92	9,5	8,93
04:00	6,8	7,88	8,68	7,61
06:00	6,1	7,68	8,33	7,42
08:00	6,3	8,67	8,57	8,31
10:00	8,4	12,94	11,4	12,81
12:00	10,5	17,08	14,72	17,6
14:00	10,8	18,93	17,08	19,7
16:00	9,8	19,04	18,3	19,85
18:00	8,6	16,51	17,6	16,29
20:00	7,5	14,09	15,18	13,73
22:00	6,9	12,41	13,41	12
24:00	6,5	11,07	11,95	10,34

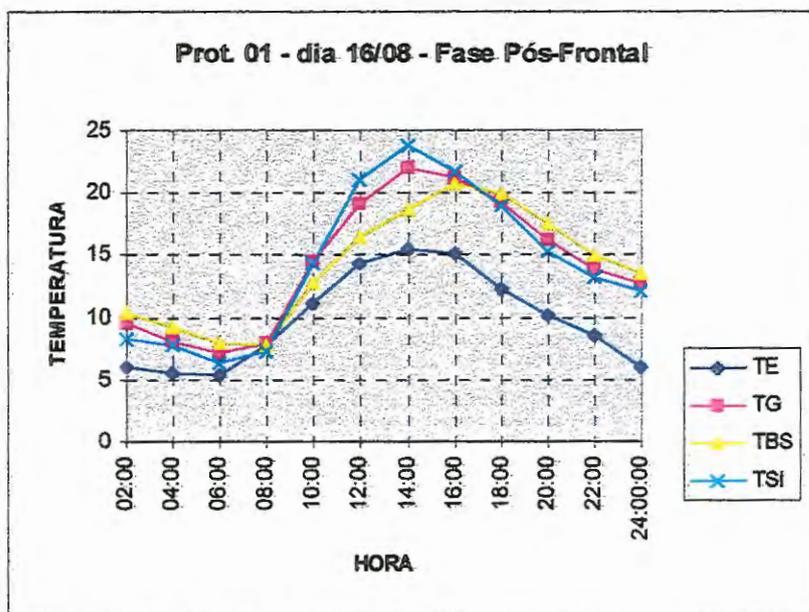


FIGURA 43: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01

TABELA 13: Variação horária de temperatura (16/08/99) - protótipo 01

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	6,1	9,6	10,38	8,4
04:00	5,6	8,23	9,23	7,81
06:00	5,4	7,27	7,94	6,35
08:00	7,9	7,94	7,89	7,32
10:00	11,2	14,58	12,84	14,4
12:00	14,5	19,2	16,44	21,15
14:00	15,5	22,18	18,83	23,91
16:00	15,2	21,35	20,83	21,81
18:00	12,4	19,42	20,01	19,05
20:00	10,3	16,33	17,6	15,34
22:00	8,7	13,93	15,09	13,23
24:00	6,1	12,77	13,6	12,2

Nas figuras 44 e 45, complementadas pelas tabelas 14 e 15, referentes ao comportamento térmico do protótipo 02 durante os dias 15 e 16, respectivamente, verifica-se que da mesma forma que ocorreu no protótipo 01, a temperatura externa (TE) permaneceu praticamente o dia todo inferior às temperaturas internas (TSI, TBS e TG).

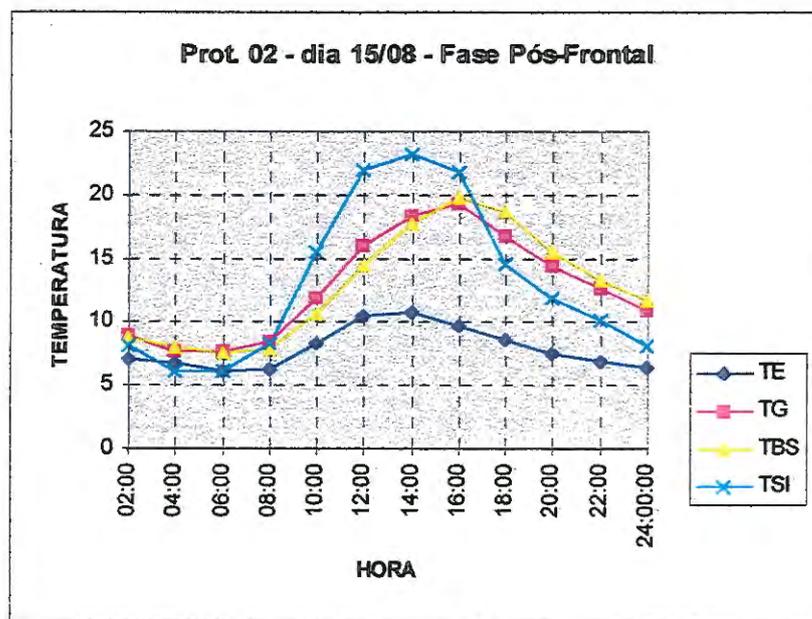


FIGURA 44: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02

TABELA 14: Variação horária de temperatura (15/08/99) - Protótipo 02

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	7,02	8,95	8,81	8,14
04:00	6,8	7,7	8,01	6,09
06:00	6,1	7,68	7,6	6,13
08:00	6,3	8,45	7,91	8,39
10:00	8,4	12,01	10,69	15,63
12:00	10,5	16,05	14,41	21,96
14:00	10,8	18,36	17,71	23,31
16:00	9,8	19,29	19,8	21,8
18:00	8,8	16,87	18,75	14,63
20:00	7,5	14,48	15,59	11,9
22:00	6,9	12,72	13,3	10,16
24:00	6,5	10,99	11,78	8,14



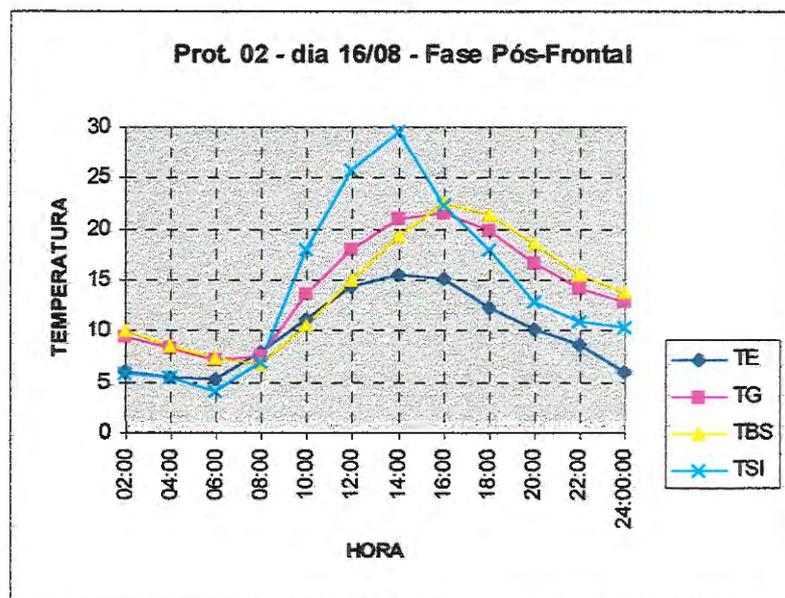


FIGURA 45: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02

TABELA 15: Variação horária de temperatura (16/08/99) - Protótipo 02

HORA	TE (°C)	TG (°C)	TBS(°C)	TSI (°C)
02:00	6,1	9,41	10,06	5,95
04:00	5,6	8,42	8,59	5,6
06:00	5,4	7,13	7,43	4,23
08:00	7,9	7,52	6,84	7,07
10:00	11,2	13,67	10,55	17,97
12:00	14,5	17,96	15,07	25,86
14:00	15,5	21,01	19,45	29,68
16:00	15,2	21,7	22,62	22,5
18:00	12,4	19,86	21,4	18,02
20:00	10,3	16,7	18,57	12,82
22:00	8,7	14,18	15,66	10,94
24:00	6,1	12,96	13,77	10,42

Comparando os valores dos dois protótipos, tanto no dia 15 como no dia 16, verificou-se alguns resultados inesperados relativos à TBS, ou seja, no protótipo 02, a partir das 14:00h até as 20:00, esta variável apresentou valores mais elevados do que no protótipo 01, contrariando o resultado obtidos nos dias anteriores. Acredita-se que possa ter havido problemas com a automação do sistema durante este período, comprometendo o registro dos dados.

5.3 DISCUSSÃO GERAL

A partir dos dados das variáveis climáticas, relativas ao ano climático típico adotado para a realização da simulação de desempenho térmico, o “software” utilizado foi capaz de emitir recomendações de projeto para adequação de edificações ao clima do local de estudo. As recomendações principais foram: a) construção compacta com alta inércia térmica; b) poucas aberturas nas fachadas; c) proteção contra chuva e contra a radiação solar excessiva; d) ventilação.

A simulação computacional do desempenho térmico dos dois protótipos utilizados neste estudo apresentou resultados que confirmam que o protótipo cuja cobertura foi feita apenas de telhas de barro (protótipo 01) possui menor inércia térmica em relação ao protótipo provido de laje e ático (protótipo 02), uma vez que, no primeiro, os valores das temperaturas externas aproximam-se muito dos valores das temperaturas internas, principalmente no período diurno.

O resultado simulado, relativo ao desempenho térmico do protótipo 02, apontou para a sua maior capacidade de resistir ao fluxo de calor de fora para dentro nos períodos de máximo aquecimento, e ao fluxo de calor de dentro para fora, mantendo o ambiente aquecido, nos períodos noturno e madrugada. Assim sendo, o sistema construtivo do protótipo 02, segundo as recomendações para projeto emitidas pelo programa computacional utilizado, está mais adequado às condições climáticas do local.

Apesar disto, comparando os valores simulados referentes às temperaturas internas dos dois protótipos com os limites de conforto humano estabelecidos na Carta Bioclimática de Givoni (temperatura entre 18 °C e 29 °C , e de umidade relativa do ar entre 20% e 80%), pode-se concluir que ambos apresentaram condições de conforto para o mês de agosto (considerando 50,75% para a umidade relativa média do mês, no ano climático típico), exceto nos intervalos horários entre 20:00h e 24:00h, e de 0:00h e 8:00h.

As baixas temperaturas internas apresentadas pela simulação, para o período noturno, justificam-se por não ter sido considerado para os cálculos, a presença de fontes de calor no ambiente interno (exemplo: lâmpadas, equipamentos e pessoas). Estes

elementos, dimensionados adequadamente ao ambiente, alteram as temperaturas internas, dos espaços construídos podendo aproximá-las dos valores considerados confortáveis, nos períodos mais frios.

Comparando estas conclusões com os resultados obtidos na experimentação, durante as três fases distintas do episódio climático estudado, pôde-se observar que existem concordâncias e contradições: as medições concordam com a simulação no sentido de apontar a maior resistência térmica do protótipo 02; porém, utilizando os dados obtidos referentes às temperaturas internas dos protótipos para classificar o ambiente interno como “confortável” ou “não confortável”, verificou-se contradições entre os resultados simulados e os registrados durante a ocorrência do episódio climático estudado.

No dia 12 de agosto de 1999, cuja atmosfera estava sob o domínio da massa de ar tropical, os resultados experimentais assemelham-se aos simulados, ou seja, no protótipo 01 a simulação acusa as temperaturas internas ligeiramente maiores nos horários noturnos e nas primeiras horas da manhã, e temperaturas internas e externas equivalentes nos horários de maior aquecimento (10:00h às 16:00h).

No protótipo 02, os resultados experimentais mostram a temperatura superficial maior que a temperatura externa a partir da 8:30h, mantendo-se desta forma até as 18:00h, quando praticamente iguala-se a TE até as 24:00h. Na simulação a TSI ultrapassa a TE após as 16:00h. Os resultados experimentais das temperaturas internas (TBS e TG) em relação a TE confirmam os resultados simulados, ou seja, demonstram que este possui maior resistência térmica que o protótipo 01.

Comparando os valores das temperaturas internas (TBS e TG) encontrados nos dois protótipos com os limites de conforto humano estabelecidos pela Carta de Givoni verifica-se que, para as condições climáticas do período estudado, ambos os protótipos apresentam condições de conforto no intervalo horário da 10:00 às 22:00h, sendo que durante o período noturno, após as 22:00, durante a madrugada e pela manhã, até as 10:00h, os valores estiveram abaixo daqueles considerados confortáveis.

No dia 13 de agosto de 1999, com atmosfera ainda sob o domínio da massa de ar tropical, mas já oferecendo prenúncios claros da aproximação de uma frente fria, as temperaturas externas apresentaram-se mais elevadas que as temperaturas internas dos

dois protótipos, durante todo o dia, exceto no período entre 2:00h e 8:00h, contrariando os resultados obtidos no dia anterior. Considerando a umidade relativa do ar média em 38%, as condições de conforto no interior dos dois protótipos foram atendidas, neste dia, apenas no intervalo horário entre 12:00h e 16:00h.

Durante o dia 14 de agosto de 1999, caracterizado pela queda de temperatura e aumento da umidade relativa do ar (média registrada: 69,7%), devido a entrada da frente fria, ambos os protótipos apresentaram o ambiente interno em piores condições que no dia anterior, ou seja, as temperaturas internas permaneceram inferiores às temperaturas externas, não registrando nenhum período horário em condições de conforto térmico, segundo os limites da Carta Bioclimática de Givoni.

Durante os dias 15 e 16 de agosto de 1999, ambos com atmosfera caracterizada pelo domínio da massa de ar polar, as curvas das temperaturas internas voltaram a subir, em relação à temperatura externa, em função de maior incidência de radiação solar direta (364,94 W/m² para o dia 16, 264,67 W/m² para o dia 15, contra 255,92 W/m² para o dia 14). Porém, devido às baixas temperaturas do ar exterior, as condições internas dos protótipos permanecem fora da “zona de conforto”, exceto nos intervalos horários entre 14:00h e 16:00h do dia 15, e entre 12:00h e 18:00 do dia 16.

Nota-se, através dos diferentes resultados do comportamento térmico dos protótipos durante as fases distintas do episódio climático estudado, que as edificações estão sujeitas às ações dinâmicas da circulação atmosférica, respondendo à elas conforme o estímulo externo recebido.

O ambiente interno comunica-se com o meio externo através dos mecanismos de trocas térmicas, tendo como veículos, as envoltivas (paredes e cobertura), o piso e as aberturas. O fluxo de calor do meio externo para o interior do edifício, e deste para o meio externo é alterado conforme as condições ambientais dos dois meios (interno e externo).

As curvas das temperaturas internas e externas verificadas nos dois protótipos analisados durante o episódio climático, não apresentaram as mesmas características todos os dias, ou seja, a mesma amplitude e o mesmo período (figuras 46 e 47).

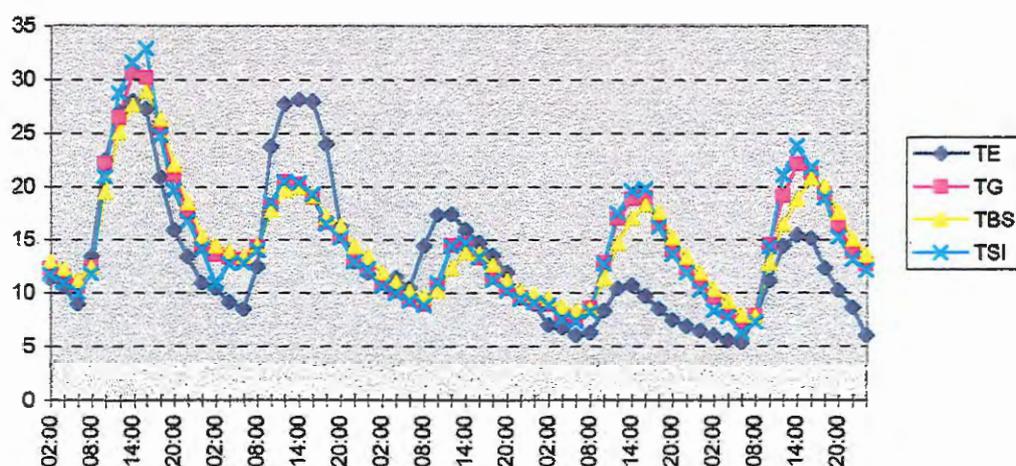


Figura 46: Gráfico representativo das variações das temperaturas externas e internas durante os dias 12, 13, 14, 15 e 16 de agosto de 1999 referentes ao protótipo 01.

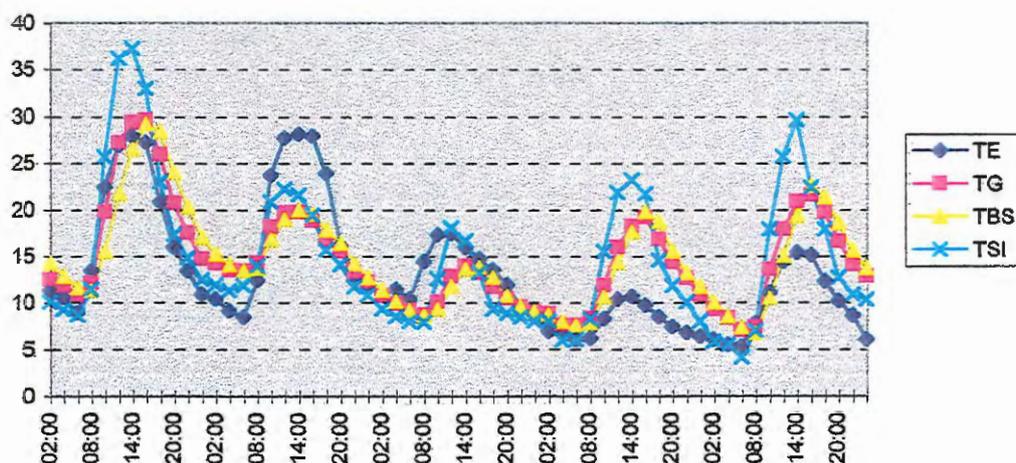


Figura 47: Gráfico representativo das variações das temperaturas externas e internas durante os dias 12, 13, 14, 15 e 16 de agosto de 1999 referentes ao protótipo 02.

6 CONCLUSÃO

A hipótese que norteou esta pesquisa, sobre a idéia de que é necessário identificar as situações críticas do clima local para se obter melhor interpretação das variações rítmicas do tempo às quais o local está submetido, para melhor adequar a arquitetura ao clima, foi verificada como verdadeira.

Através da análise experimental do comportamento térmico dos dois protótipos utilizados neste estudo, durante as três fases distintas de um episódio climático significativo de inverno, verificou-se que as condições externas que atuam sobre as envolventes dos edifícios são dinâmicas, portanto, oferecem estímulos variados aos materiais que as compõem, de forma que, estes se comportarão termicamente conforme a intensidade e natureza destes estímulos.

Para a verificação da hipótese foi utilizado um programa de simulação computacional de desempenho térmico de edificações, cujas informações climáticas necessárias para cálculo, foram extraídas de normais climatológicas representativas de uma série histórica de 10 anos, procedimento este, que caracteriza a abordagem clássica do clima. Através dos dados médios mensais das variáveis climáticas, traçou-se o perfil climático do local de estudo.

Definido o perfil climático predominante no local, foi possível traçar recomendações básicas para o projeto de edificações, e verificar o desempenho térmico dos protótipos, que foram feitos com sistemas construtivos considerados tradicionais, para o Estado de São Paulo. Cruzando os resultados da simulação com as recomendações para projeto identificou-se o protótipo construído de alvenaria comum e coberto com telhas de barro e laje mais adequado ao clima local do que o protótipo coberto apenas com telhas de barro, devido a sua maior resistência ao fluxo de calor ascendente e descendente. Os resultados da análise experimental também apontam o protótipo 02 como sendo mais resistente ao fluxo térmico que o protótipo 01.

Por outro lado, os resultados apresentados pela análise experimental demonstraram que, dependendo das excitações externas, o ambiente interno das construções oferecem respostas diferentes, podendo estar ou não, adequados às condições

climáticas, no sentido de proporcionar ambientes seguramente confortáveis aos usuários humanos.

Os resultados da experimentação acusaram que em condições extremas da temperatura externa, nem um dos dois protótipos apresentaram um desempenho térmico favorável às necessidades humanas de conforto, de forma que, edificações com características semelhantes às dos protótipos, não estão preparadas para garantir o conforto do ambiente construído, em tais situações, em áreas com características climáticas semelhantes às do local de estudo.

Estas situações extremas, mesmo que ocorram poucas vezes durante um ano, são conseqüências dos mecanismos da circulação atmosférica que atuam sobre a região, portanto são cíclicas e previsíveis. As condições atmosféricas de maior ou menor rigor térmico alternam-se continuamente, definindo um ritmo de variações temporais no clima local, de forma que tais variações constituem uma normalidade, e não uma excepcionalidade.

A simulação, da forma como foi aplicada neste trabalho, não acusou estes mecanismos, uma vez que foram lançados no banco de dados do programa, os dados climáticos referentes a um ano típico de referência, de forma que considerou-se uma situação climática única para um mês todo. Portanto, a formulação de diretrizes ou recomendações de projeto baseadas nas conclusões da simulação torna-se muito genérica, ou seja, pressupõe que para um determinado período do ano, as condições climáticas se apresentam de uma única maneira.

As recomendações genéricas são úteis e necessárias se consideradas como uma referência inicial para a tomada de decisões de projeto, mas não são suficientes para garantir o melhor desempenho térmico da edificação em todas as situações climáticas.

As questões levantadas por este trabalho, sobre o uso das médias dos valores das variáveis climáticas como parâmetros seguros, tanto para a avaliação do desempenho térmico de construções, como para sugerir recomendações e diretrizes de projeto de edificações e do desenho urbano, e sobre a abordagem climática regional, usualmente utilizada no campo da arquitetura e urbanismo, deverão, de início, sofrer resistências.

A adoção de médias diárias, mensais ou anuais constitui-se em um procedimento aceito internacionalmente há muito tempo. A representatividade das médias é estatisticamente comprovada.

O problema de considerá-las como parâmetros seguros para se garantir a eficiência de um espaço construído em relação aos rigores do clima, pode ser avaliado tomando como exemplo a maioria das construções residenciais de classe média no Planalto Paulista (em todo o Estado de São Paulo, a arquitetura dessas casas segue um mesmo padrão, seja no programa de necessidades básico, nas limitações impostas pelos loteamentos, como no sistema construtivo: uso de tijolos comuns, sendo paredes rebocadas de um tijolo para as externas e de meio tijolo para as internas; cobertura de telhas de barro com laje pré-moldada; ático sem ventilação; uma única abertura para iluminação e ventilação nos cômodos; pé-direito variando entre 2,80m a 3,10m).

Essas casas são confortáveis diante das condições “médias” de temperatura e umidade, que podem representar 50% ou mais, dos dias do ano. Porém, quando se tem situações mais rigorosas de verão ou inverno os ambientes internos não se comportam de maneira a garantir situações de conforto aos seus usuários. Quantas vezes já se ouviu dizer, em um dia de inverno, que “dentro de casa está mais frio que fora”? Ou o contrário, em um dia de verão, “que o ambiente interno está mais quente que o exterior”, expulsando as pessoas para os pátios externos, varandas e calçadas?

Não se trata de propor que o projeto das edificações seja concebido baseando-se exclusivamente nas condições extremas, porém, estas devem ser consideradas para que se obtenha uma edificação realmente preparada para ser um abrigo eficiente.

As alternativas de projeto para se adequar uma edificação à estas condições são inúmeras, variando desde soluções simples e econômicas como, cuidados com a definição do tipo de caixilharia adotada (exemplo: o uso das tradicionais janelas do tipo “guilhotina” que controlam a direção do vento no espaço interno conforme a necessidade do usuário), ao uso de tecnologias sofisticadas, como sistemas eletrônicos de controle da abertura de coberturas especiais e para-sóis.

A observação criteriosa dos ciclos climáticos que ocorrem no local onde se constrói é uma ferramenta poderosa nas mãos do arquiteto, pois assim, pode-se através do

projeto arquitetônico, evitar surpresas desagradáveis. Através deste conhecimento é possível criar elementos alternativos de controle térmico como: protetores reguláveis da radiação solar e da chuva, planejamento no uso de elementos vegetais (paisagismo), criar situações de sombra e insolação nas envoltentes, dispositivos de controle da velocidade e direção do ar no ambientes internos, sistemas de umidificação do ar, entre tantos outros, que serão particulares para cada local, para cada edificação. A definição das alternativas a serem adotadas vai depender da natureza da edificação e do perfil de seus usuários.

A utilização de dados obtidos através do estudo de episódios climáticos representativos do clima para a adequação, tanto da edificação, quanto do desenho urbano, às condições climáticas locais, vem somar elementos para contribuir na busca de parâmetros precisos que visam a garantia da qualidade dos espaços construídos.

Os resultados demonstrados por esta pesquisa apontam que durante a ocorrência de um episódio climático, as evidentes alterações, muitas vezes bruscas, nas condições da atmosfera interferem diretamente nos mecanismos de troca de calor entre as envoltentes da edificação e o meio externo, de forma que as condições térmicas dos espaços internos dos protótipos estudados, mostraram-se tão dinâmicas quanto o próprio tempo atmosférico. O episódio estudado caracterizou-se por alterações bruscas de temperatura, de forma que a leitura das temperaturas internas dos protótipos acusou resultados bastante contrastantes, de um dia para o outro.

Para ampliar os conhecimentos a respeito dos efeitos do clima sobre as edificações, utilizando da abordagem dinâmica do clima, sugere-se como seqüência deste trabalho:

1. Realizar medições, em protótipos com as mesmas características dos utilizados neste trabalho, em outro local da Região Sudeste do Estado de São Paulo em episódio de inverno, para comparar com os resultados apresentados por esta pesquisa;
2. Realizar medições durante outros episódios climáticos, em diferentes estações, principalmente durante o verão, quando as condições atmosféricas sofrem constantes alterações, tanto pela passagem de frente, como pelos constantes movimentos de convecção causadores das “chuvas de verão”, a fim de avaliar o desempenho térmico dos materiais componentes nos dois protótipos utilizados

neste trabalho sob condições opostas às observadas por este trabalho, ou seja, condições de alta umidade e altas temperaturas externas;

3. Avaliar o desempenho térmico de outros protótipos de edificações, construídos com materiais alternativos ou convencionais, a fim de poder estabelecer parâmetros sobre o comportamento de diferentes sistemas construtivos em relação a tipos de clima locais;
4. Avaliar o desempenho térmico de protótipos com formas e dimensões variadas, a fim de verificar a relação da forma e do volume do ambiente interno com as diferentes excitações térmicas do ambiente externo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-HOYOS, L.E.; GUERRERO, J.S.J. (1985). *Tecnologia e qualidade de vida (uma polêmica de nosso tempo)*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária.
- AKERMAN, M. et al. (1986). *Saúde e meio ambiente: uma análise de diferenciais intra-urbanos enfocando o município de São Paulo, Brasil*. Revista Saúde Pública, 28 (4): 320 - 325
- AKUTSU, M. (1988). *Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de revisão normativa*. Tecnologia de edificações. São Paulo, PINI / IPT. p. 469 - 472
- AKUTSU, M.; LOPES, D. (1988). *Simulação do desempenho térmico de edificações*. Tecnologia de edificações. São Paulo, PINI / IPT. p. 473 - 476
- AKUTSU, M.; PEDROSO, N. G. (1988). *Dia típico de projeto: instrumento para desenvolvimento de projeto arquitetônico*. Tecnologia de edificações. São Paulo, PINI / IPT p. 491 - 494
- ALVA, E. N. (1997) *Qualidade ambiental urbana*. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, FAUFBA/LACAM - ANTAC. Anais. p. 67 -71.
- ALUCCI, M.; CARNEIRO, C.M.; BARING, J. G. A. (1986). *Implantação de conjuntos habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica*. São Paulo, IPT.
- ALUCCI, M. P.; AKUTSU, M.; CARNEIRO, C. M. (1988). *Geometria dos ambientes: um dos fatores determinantes do desempenho térmico das edificações*. Tecnologia de edificações. São Paulo, PINI / IPT. p. 481 - 486
- ANDRADE, M. C. (1994). *O desafio ecológico: utopia e realidade*. São Paulo, Hucitec.
- ASHRAE (1985). *Handbook of Fundamentals*. New York. ASHRAE.
- AYLLÓN, T. (1996). *Elementos de meteorologia y climatologia*. México, Trillas.
- AYOADE, J. O. (1996). *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro, Bertrand do Brasil S. A.
- BALDO, M. C.; DEFFUNE, G. (1997). *Compartimentação urbana como derivação do clima de Maringá - PR - 1995/1996*. Boletim Climatológico - UNESP , Ano 2, n.3, p.12 -14, Rio Claro, 1997.
- BARBOSA, M.; LAMBERTS, R. (1993). *Avaliação térmica de edifícios. Subsídios para a normatização brasileira*. Núcleo de Pesquisa em Construção - UFSC. S. C.

- BARTALINI, V. (1986). *Áreas verdes e espaços livres urbanos*. Paisagem e Ambiente: ensaios. São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. p.49 -54.
- BEZERRA, T. S.; BRANDÃO, A. M. P. M. (1997). *Análise do espaço urbano na cidade do Rio de Janeiro sob a ótica climática: um estudo de caso aplicado ao Bairro Maracanã*. Boletim Climatológico, ano 2, n. 3. UNESP. p. 16 -19, Rio Claro, 1997.
- BENÉVOLO, L. (1976). *História da arquitetura moderna*, São Paulo. Perspectiva.
- BONDUK, N. (1997). *Habitat: as práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras*. São Paulo. Nobel.
- BRUAND, Y. (1981). *Arquitetura contemporânea no Brasil*. São Paulo. Perspectiva.
- CASTELO, G. C. D. (1995). *Sensação de conforto como metodologia para delimitar espaços bioclimáticos e biogeográficos no Estado de São Paulo*. Rio Claro. Dissertação (mestrado) - UNESP.
- CUADRAT, J. M.; PITA, M. F. (1997). *Climatologia*. Madrid, Cátedra.
- DEMILLO, R. (1998). *Como funciona o clima*. São Paulo, Quark Books.
- DINES, M. (1991). *Climatologia urbana e o desenho das cidades: ensaios para o planejamento da metrópole paulistana*. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- ETERNIT (1978). *Conforto térmico nas edificações*. s.l. Eternit, 1978. (Boletim Eternit n.º 100)
- _____ (1981). *Conforto térmico*. s. l. Eternit, 1981. (Boletim Eternit n.º 110)
- _____ (1987). *Conforto térmico*. s. l. Eternit. 1987. (Boletim Eternit n.º 133)
- FANGER, P. O. (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Mac Graw-Hill, New York, USA.
- FARIA, J. R. G. (1995). *Programa modular para aplicações didáticas e profissionais na área de conforto térmico*. In: III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído Gramado, RS, 1995. Anais. p. 221 - 226
- FERNANDEZ, P. (1998). *Integração das diretrizes energéticas no processo de concepção arquitetônica*. In: Arquitetura Pesquisa e Projeto, organização Vicente del Rio. Pró Editores. p. 25 - 35

- FORATINI, O. P. (1991). *Qualidade de vida e meio urbano. A cidade de São Paulo, Brasil*. Revista Saúde Pública, n. 25, v. 2, p.75 - 86.
- FREYRE, G. (1963). *Casa grande e senzala*. Universidade de Brasília. Brasília. 1963
- GIANINI, R. J. (1997). *Ambiente antrópico: a questão social e a saúde das populações humanas*. In: Indicadores Ambientais. Martos e Maia - Liber Arte. Sorocaba. p.245 - 252.
- GIVONI, B. (1976). *Man, climate and architecture*. London. Applied Science.
- _____ (1985). *Urban design in different climates*. Word Meteorological Organization, nº346.
- _____ (1992). *Confort, climate analysis and building design guidelines*. Energy and Building, v. 18. July/92. p. 11 - 23
- _____ (1994). *Urban design for hot humid regions*. Renewable energy, US, n.5. v.8, p.1047 -1053.
- GOLDEMBERG, J. (1998). *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.
- GOULART, S. V. G. et al. (1994). *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório interno nº 02/94. Núcleo de Pesquisa em Construção - UFSC. Florianópolis, S.C.
- GOUVÊA, L. A. C. (1995). *Desenhando a cidade com a natureza. Uma análise da importância dos fatores naturais nas decisões de projeto em localidades de clima tropical de planalto, caso Ceilândia - DF*. São Paulo. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- HASENACK, H. (1985). *O clima das cidades*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, Contribuições Técnico Científicas, Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Porto Alegre, 1985, p. 47 - 49.
- KLÜPPEL, G. P.; NERY, J. F. (1998). *A utilização das escalas de conforto no ensino de arquitetura: necessidade de revisão*. In: XV Encontro Nacional sobre o Ensino de Arquitetura e Urbanismo - ENSEA, Campo Grande, 1998. Anais. ABEA. p.49-55
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A. & SZOKOLAY, S. V. (1977). *Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Traduzido por Emílio Romero Ros. Madrid, H. Blume.

- KONYA, A. (1981). *Diseño en climas cálidos: manual práctico*. H. Blume Ediciones. Madrid.
- KUSUDA, T. (1976). *NBSLD, the computer program for heating and cooling loads in buildings*. Washington D. C., National Bureau of Standards. Building Science Series.
- KÜHN, T.; SCHNEIDER, P. S. (1997). *Elaboração de uma interface de dados geométricos para um programa de simulação do comportamento térmico de edificações*. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. FAUFBA / LACAM-ANTAC. Anais. p.180 - 186.
- LAMBERTS, R. (1997). *Normatização em eficiência energética e conforto ambiental*. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. FAUFBA/LACAM-ANTAC. Anais. p. 40 - 44.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. (1997). *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo. P W Editores.
- LANDSBERG, H.E. (1981). *The urban climate*. New York. Academic Press.
- LATIF, M. B. *A ventilação no trópico*. Arquitetura nº 51. P. 17 - 18, 1966.
- LEMOS, C. A. C. (1981). *O que é arquitetura*. São Paulo, Brasiliense.
- _____. (1999). *Casa Paulista*. São Paulo, EDUSP.
- LOMBARDO, M. A. (1985). *Ilha de calor nas metrópoles - o exemplo de São Paulo*. São Paulo. Hucitec.
- _____. (1996). *O clima e a cidade*. Boletim Climatológico, UNESP, ano 1 n. 2, p. 31 - 34. Rio Claro, 1996.
- LOMBARDO, M. A.; ZAMPARONI, C. (1997). *Ilha de calor em cidades de pequeno porte nos trópicos*. Boletim climatológico, UNESP, ano 2, n.3, p. 40 - 42. Rio Claro, 1997.
- MAGALHÃES, R. M. (1993). *Em busca da qualidade ambiental em centros urbanos*. In: II SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS CENTROS URBANOS - ECO-URBS'93. São Paulo. p..../Resumo/
- MAHONEY, C. (1971). *Climate house design*. New York, United Nations.
- MAITELLI, G. T. (1994). *Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá, MT*. São Paulo. Tese (doutorado) - Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Uni-

versidade de São Paulo.

MASCARÓ, L. (1991). *Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo, Projeto.

_____ (1996). *Ambiência urbana*. Porto Alegre. Sagra DC Luzzatto.

_____ (1997). *O conforto ambiental e a normatização*. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, FAUFBA/LACAM - ANTAC. Anais. p. 35 - 39.

MATHER, J. R. (1974). *Climatology: fundamental and applications*. New Uork. Mac Graw Hill.

MENDONÇA, M. A. (1994). *O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno - proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina - PR*. São Paulo. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.

MILLER, A. A. (1951). *Climatologia*. Barcelona. Omega.

MONTEIRO, C. A. F. (1962). *Da necessidade de um caráter genérico à classificação climática*. Revista Geográfica, p. 29 - 42. Comissão de Geografia, Rio de Janeiro, 1962.

_____ (1968). *Grande Região Sul*. Fundação IBGE. Vol. IV, Tomo I.

_____ (1973). *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. São Paulo. Instituto de Geografia, Laboratório de Climatologia, Universidade de São Paulo.

_____ (1976). *Teoria e clima urbano*. São Paulo. Tese (Livre-docência), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.

_____ (1976). *O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas*. São Paulo, IGEOG-USP. (Série Teses e Monografias)

_____ (1990). *Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil*. Geosul, n.9, ano 5, p.7 - 9. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1990,

_____ (1990). *Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura*. Geosul, n. 9, ano 5, p. 61 -79. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1990.

- _____ (1990). *A cidade como processo derivador ambiental e a geração de uma clima urbano - estratégias na abordagem geográfica*. Geosul, n.9, ano 5, p. 80-114. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1990.
- _____ (1990). *Comentário - Cidade e ambiente atmosférico*. Geosul, n. 9 ano 5, p. 115 - 123. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1990.
- NIMER, E. (1979). *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro. IBGE, SUPREN.
- OLGYAY, V. (1963). *Design whith climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, New Jersey. Princeton University Press.
- PAULINO, R. C. M. (1993). *Clima, moradia, hábitos alimentares na micro-região de São José do Rio Pardo - SP*. São Carlos. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- PEDELABORDE, P. (1959). *Introduction a l'étude scientifique du climat: notions elementaires de climatologie dynamique*. Cente de Documentation Catographique de Institut de Geographie de la Sorbonne. Paris.
- PEDROSO, N. G. (1988). *Clima, meio ambiente e edificação: orientações para obtenção de dados climáticos necessários ao planejamento e execução de projetos construtivos*. Tecnologia de edificações. São Paulo, PINI / IPT. p. 487 - 490
- PEIXOTO, A. (1917). *Clima e Saúde: introdução biogeográfica à civilização brasileira*. Ed. Nacional. Brasília.
- PEREIRA, F. O. R.; KREMER, A.; LAMBERTS, R. (1997). *Aplicação de princípios bioclimáticos no projeto de assentamentos humanos em Florianópolis*. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, FAUFBA/LACAM-ANTAC Anais. p. 192 - 196.
- PORTO, S. *Abrigo Natural*. Entrevista. Revista A.U. Ano 15 nº 81 dez/jan. 99. p. 24 - 25
- RIBEIRO, A. G. (1993). *As escalas do clima*. Boletim de Geografia Teorética. 23 945 -46): 288 - 294.
- RIBEIRO, H. (1996). *Ilha de calor na cidade de São Paulo: sua dinâmica e efeitos na saúde da população*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. Tese/livre docência. São Paulo.
- RIVERO, R. (1985). *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre. D.C. Luzzatto Editores: Ed. Da Universidade, UFRGS.

- ROMERO, M. A. B. (1988). *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Projeto São Paulo.
- RORIZ, M. (1987). *Zona de conforto térmico: um estudo comparativo de diferentes abordagens*. São Carlos. Dissertação (mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.
- RORIZ, M.; BASSO, A. (1988). *Arquitrop. Sistema integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia visando conforto térmico e economia de energia*. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos.
- RUANO, M. (1999). *Ecourbanismo. Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos*. Barcelona, Gustavo Gili.
- SAIA, L. (1972). *Morada paulista*. São Paulo, Editora Perspectiva .
- SAINI, B. S. *A arquitetura considerada como ciência da vida*. in O homem e seu ambiente. Trad. Gastão Jacinto Gomes. Rio de Janeiro, Ed. Fundação Getúlio Vargas. 1975 p. 221/237
- SANT'ANNA NETO, J. L. (1997). *Mudanças climáticas no Estado de São Paulo: a variabilidade e a tendência das chuvas nos últimos 100 anos*. In Indicadores Ambientais. Coord. Martos e Maia. Sorocaba, Martos.
- SANTOS, U.; RUMEL, D.; MARTARELLO, N.A.; FERREIRA, C. S. W.; MATOS, M. P. (1992). *Síndrome dos edifícios doentes em bancários*. Revista Saúde Pública, São Paulo, 26 (6): 400 - 404.
- SORRE, M. (1955). *Fundamentos biológicos de la geografía humana: ensayo de una ecología del hombre*. Barcelona, Editorial Juventud S. A.
- SOUZA, L. C. L. (1990). *Desempenho térmico de coberturas leves. Aplicação do modelo NBSLD*. São Carlos. Dissertação (mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.
- _____ (1996). *Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre*. São Carlos. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SPIRN, A. W. (1995). *O jardim de granito: a natureza no desempenho da cidade*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.
- STAMPER, E. (1977). *Wether Data*. ASHRAE Journal, February/77, pp. 47.

- STERLING, T. D.; COLLET, C.; RUMEL, D. (1991). *A epidemiologia dos edifícios doentes*. Revista Saúde Pública, São Paulo, 25 (1): 56 - 63
- STRAATEN, J. F. VAN (1967). *Thermal Performance of Buildings*. Amsterdam, London, New York, Elsevier Publishing.
- TEIXEIRA, W. N. S.; PEREIRA, L. R. S. (1997). *Edificação saudável: aspectos complementares ao conforto ambiental*. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. FAUFBA / LACAM - ANTAC. Anais. p. 221 - 224
- VASCONCELOS, S. (1983). *Arquitetura dois estudos*. Goiânia, MEC / SESU/ PIMEG - UCG.
- VECCHIA, F. A. (1997). *Clima e ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. São Paulo. Tese (doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- VIDAL, R. D. de M. (1992). *Influência da morfologia urbana nas temperaturas do ar na cidade de Natal - RN*. In: I Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE. João Pessoa. Anais. p.33 - 37
- ZEVI, B. (1992). *Saber ver a arquitetura*. São Paulo. Martins Fontes Editora Ltda.