Campus de São Carlos

Clima e Ambiente Construído.
Análise da "Predicting Indoor Air
Temperature Formula".

Valdir Specian

Orientador: Prof. Dr. Francisco Arthur S. Vecchia

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Valdir Specian

**Clima e Ambiente Construído.
Análise da “Predicting Indoor Air
Temperature Formula”.**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 27.10.103.

Ass:.....

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Arthur S. Vecchia

DEDALUS - Acervo - EESC

31100043574

São Carlos

2003

Class.	TESE-EESC
Curr.	5855
Tombo	T235/03
Sysno	1327170

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

S741c Specian, Valdir
Clima e ambiente construído : análise da " predicting indoor air temperature formula " / Valdir Specian. -- São Carlos, 2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Francisco Arthur S. Vecchia.

1. Ambiente construído. 2. Dinâmica climática.
3. Simulação de temperaturas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Licenciado **VALDIR SPECIAN**

Dissertação defendida e julgada em 25-03-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Dr. **OSNY PELLEGRINO FERREIRA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Profª. Dra. **SANDRA ELISA CONTRI PITTON**
(UNESP/Campus de Rio Claro)

aprovado

Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental

Profª. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

À minha família

Vivi e Renan

Dedico

Agradecimentos

Desenvolver uma pesquisa envolve trafegar por caminhos desconhecidos, em alguns momentos agradáveis e em outros momentos nem tanto, é preciso conversar com as pessoas, pedir opiniões, falar das dificuldades. Nesses caminhos percorridos vão ficando lembranças, de fatos, de pessoas, de palavras ditas e ouvidas.

Em alguns momentos percebemos que a caminhada começou muito antes, muito antes da entrada para o programa de pós-graduação, são gestos de incentivo de pessoas amigas, olhares de aprovação, pequenos empurrões necessários, entre outros. Nesta volta ao passado precisamos reconhecer a participação da base. Agradeço à minha grande família, que, muitas vezes, ajuda/atrapalha, aos meus pais e irmãos. Em especial à Nina que sempre me dispensou atenção, presença e, sem perceber, me ajudou em momentos importantes.

Devo lembrar a oportunidade oferecida pela Prof^a Dra. Maria Teresa de Nóbrega, que sempre abriu as portas e me incentivou para a vida acadêmica. Agradeço também aos amigos Edézio e Hêlio entre tantos outros da Universidade Estadual de Maringá, em especial à Maria Cleide, Roseli e Edvaldo.

Agradeço ao Chico Vecchia, pela orientação, incentivos e pela oportunidade que me deras.

Agradeço à Professora Sandra, pelas sugestões apresentadas para o desenvolvimento do trabalho no momento da qualificação.

Ao programa SEA e ao CNPQ pela bolsa e pelo incentivo à pesquisa, além do Betão, Matheus e América e de todo o pessoal do CRHEA que possa ter contribuído.

Agradeço aos amigos de Aquidauana/MS, principalmente do DGC/CEUA - UFMS, pela oportunidade de conhecer um pouco de clima e de poder adquirir experiência.

Agradeço ao Tony pelo incentivo para a vinda à USP e São Carlos, e, também, à Eva, Val, Elayne, Estela, Maristela, Ricardo, Reginaldo pelos momentos de convívio neste lugar. E também, nunca vou esquecer das amigas de República e demais amigos e agregados, além do pessoal de minha turma, pela convivência, pelas brigas, pelas festas: Jucélia, Patrícia, Simone, Davi, Marcelo, Sofia, Silvana, Karina, Willian, entre tantas outras.

Agradeço aos amigos Adeildo e Najila pela participação, apoio e incentivo na execução desse trabalho. A perseverança do Adeildo em instalar uma Estação Climatológica em Descalvado foi a pedra fundamental para o desenvolvimento deste e de muitos outros trabalhos.

Devo também lembrar do companheiro João Mota, do qual recebi bons conselhos de um nativo da Amazônia.

Agradeço aos senhores José Luís e José Otávio e suas famílias, proprietários das casas onde foram feitos os experimentos. A ajuda dessas famílias, com certeza, é parte muito importante desse trabalho.

E, por fim, um agradecimento especial à Vivi e ao Renan, pois são os que realmente assistiram, e participaram das lamentações, das minhas presenças (ausências), e que sempre tentaram de alguma forma me incentivar, ajudar, contribuir.

*Não se preocupe em entender.
Viver ultrapassa todo entendimento
Clarice Lispector*

RESUMO

SPECIAN, V. (2003). *Clima e Ambiente Construído. Análise da "Predicting Indoor Air Temperature Formula"*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

A previsão das condições térmicas de duas casas populares (ocupadas) na cidade de Descalvado - SP é tema deste trabalho. A pesquisa envolve o registro contínuo da variação das temperaturas interna e externa. A fórmula experimental, "Predicting Indoor Air Temperature Formula", proposta por Givoni (1999), está sendo aplicada e analisada para a previsão das temperaturas internas, máximas e mínimas. Para o registro contínuo das temperaturas, foi instalada no local uma estação meteorológica automática- CR10X - Campbell Scientific Inc., equipada com vários sensores para registro dos elementos do clima, e, também, por meio de multiplexador - AM416, de 32 canais, para conectar termopares - tipo T (cobre/constantan), que registram as temperaturas no interior das casas (ocupadas). Dos dados coletados, foram escolhidos 2 (dois) episódios representativos do clima, o primeiro representando a situação de primavera/verão (12 a 15/10/2000), e segundo, outono/inverno (14 a 20/05/2001), sendo analisados conforme a abordagem de análise dinâmica do clima, de acordo com a proposta de Vecchia (1997), adaptada de Monteiro (1967).

Palavras Chaves: Ambiente Construído; Dinâmica Climática; Simulação de Temperaturas.

ABSTRACT

SPECIAN, V. (2003). *Climate and Built Environment. Analysis of "Predicting Indoor Air Temperature Formulates"*. M.Sc. Dissertation - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

The forecast of the thermal conditions of two popular houses (busy) in the city of Descalvado - SP is theme of this work. The research involves the continuous registration of the variation of the internal temperatures and it expresses. The experimental formula "Predicting Indoor Air Temperature Formulates", proposed by Givoni (1999), it is being applied and analyzed for the forecast of the internal temperatures, maxims and low. It goes the continuous registration of the temperatures it was installed in the place an automatic meteorological station - CR10X - Campbell Scientific Inc, equipped with sensor several, goes registration of the elements of the climate and, also, through multiplexer - AM416, of 32 channels, to connect thermocouples - type T (copper/constantan) that register the temperatures inside the houses (busy). Of the collected data they were chosen 2 (two) representative episodes of the climate, the first representing the spring/summer situation (12 to 15/10/2000) and second autumn/winter (14 to 20/05/2001), being analyzed according to the approach of dynamic analysis of the climate, in agreement with the proposal of Vecchia (1997) adapted of Monteiro (1967).

Key words: Built Environment; Climatic Dynamics; Simulation of Temperatures

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Influência das áreas urbanas no comportamento da temperatura.....	09
FIGURA 2 - Contato de duas massas de ar de características diferentes.....	14
FIGURA 3 - Carta sinótica à superfície e Imagem do Satélite GOES.....	15
FIGURA 4 - Localização da área de estudo.....	18
FIGURA 5 - Planta baixa das duas casas em estudo.....	19
FIGURA 6 - Estrutura pré-moldada usada na construção das casas.....	20
FIGURA 7 - Fachadas frontais das duas casas em estudo.....	21
FIGURA 8 - Variação das temperaturas e umidade relativa do ar da estação do CRHEA - USP.....	26
FIGURA 9 - Conjunto de equipamentos que compõem o CR10X.....	28
FIGURA 10 - Distribuição dos sensores para aquisição de dados dos elementos do clima.....	28
FIGURA 11 - Planta baixa das casas em estudo e dispositivo para medir a temperatura interna do ar	29
FIGURA 12 - Exemplos de planilhas do MS- Excel usadas na tabulação dos dados coletados.....	30
FIGURA 13 - Equipamento usado para coleta, transporte, armazenamento e transferência dos dados do CR10X para o micro-computador.....	31
FIGURA 14 - Imagens do Satélite GOES, dias 12 e 13/10.....	40
FIGURA 15 - Evolução dos valores das temperaturas e umidade relativa do ar no período de 12 a 15 de outubro de 2000.....	41
FIGURA 16 - Radiação Solar Global (12 a 15/10).....	41
FIGURA 17 - Imagens do Satélite GOES, dia 13/10, 15 e 21 horas.....	42
FIGURA 18 - Imagens do Satélite MET-7 e GOES, dia 14/10, 12 e 18 horas.....	42
FIGURA 19 - Imagens do Satélite GOES, dia 15/10, 00 e 09 horas.....	43
FIGURA 20 - Relação das temperaturas do ar externa e as temperaturas interiores das duas casas (12 a 15/10).....	44
FIGURA 21 - Simulação das temperaturas máximas e temperaturas máximas internas registradas (12 a 15/10).....	46
FIGURA 22 - Simulação das temperaturas mínimas e temperaturas mínimas internas registradas (12 a 15/10).....	47
FIGURA 23 - Evolução dos valores das temperaturas e umidade relativa do ar no período de 14 a 20 de maio de 2001.....	49
FIGURA 24 - Imagens do Satélite GOES, dia 15/05, 12 e 18 horas.....	50

FIGURA 25 - Imagens do Satélite GOES, dia 16/05, 06 e 21 horas.....	50
FIGURA 26 - Radiação Solar Global (14 a 20/05).....	51
FIGURA 27 - Imagens do Satélite GOES, dia 17/05, 03 e 18 horas.....	51
FIGURA 28 - Relação entre a temperatura do ar e umidade relativa do ar (17 e 18/05).....	52
FIGURA 29 - Relação das temperaturas do ar externa e as temperaturas interiores das duas casas (14 a 20/05).....	53
FIGURA 30 - Simulação das temperaturas máximas em recinto fechado.....	54
FIGURA 31 - Simulação das temperaturas máximas e temperaturas máximas internas registradas (14 a 20/05).....	55
FIGURA 32 - Simulação das temperaturas mínimas e temperaturas mínimas internas registradas (14 a 20/05).....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAE - Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CRHEA - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

ENCAC - Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído

GOES - Geostationary Operational Environment Satellite

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISO - International Organization for Standardization

mPA - massa Polar Atlântica

MS - Mato Grosso do Sul

mTA - massa Tropical Atlântica

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PLEA - Conference on Passive and Low Energy Architecture

tbh - temperatura do bulbo úmido

tbs - temperatura do bulbo seco

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Organização do trabalho.....	03
II OBJETIVO.....	04
2.1 Objetivos específicos.....	04
III REFERENCIAL TEÓRICO.....	05
3.1 Escalas climáticas.....	05
3.2 Clima urbano e conforto ambiental.....	08
3.3 Dinâmica climática.....	11
3.3.1 Massas de ar e episódios climáticos.....	12
IV CARACTERÍSTICAS DO OBJETO DE ESTUDO (CASAS) E DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.1 Características da área de estudo.....	17
4.1.1 Características das plantas das casas em estudo.....	19
4.2 Características geográficas do município de Descalvado.....	21
4.3 Mecanismos de tempo e clima no estado de São Paulo.....	22
4.3.1 Características climáticas para a região de Descalvado - SP.....	25
V PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	27
5.1 Equipamentos.....	27
5.1.1 Equipamentos de campo.....	27
5.1.2 Equipamentos de gabinete.....	30
5.2 Métodos e técnicas.....	32
5.3 Descrição da fórmula experimental.....	33
VI RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6.1 Análise do episódio climático de 12 a 15 de outubro de 2000.....	39
6.1.1 Aplicação da fórmula experimental para a previsão dos valores da temperatura interna do ar.....	44
6.1.1.1 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas máximas.....	45
6.1.1.2 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas mínimas.....	46
6.2 Análise do episódio climático de 14 a 20 de maio de 2001.....	48

6.2.1 Aplicação da fórmula experimental para a previsão dos valores da temperatura interna do ar.....	52
6.2.1.1 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas máximas.	53
6.2.1.2 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas mínimas..	55
VII CONCLUSÕES.....	57
7.1 Considerações finais.....	58
VIII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

I INTRODUÇÃO

A necessidade de entendimento a respeito das relações entre clima e ambiente construído levou-nos a iniciar este trabalho. Dentre uma série de variáveis que poderiam ser abordadas no tema geral, acabou-se por escolher a investigação no campo da simulação de temperaturas interiores.

A proposta inicial de estudo surgiu a partir dos contatos mantidos com o Professor Dr. Baruch Givoni, da Universidade da Califórnia - "UCLA". O professor Baruch participou por duas vezes de reuniões e visitas técnicas às cidades de São Carlos e Descalvado - SP, conhecendo as casas construídas na Cidade de Descalvado, e que estão sendo monitoradas, desde setembro de 2000, pelo grupo de pesquisa em climatologia. O tipo de monitoramento, aquisição automática de dados em casas ocupadas, pode ser a condição ideal para a validação de sua fórmula, "Predicting Indoor Air Temperature", Givoni (1999).

O grupo de pesquisa mencionado vem realizando vários trabalhos na cidade de Descalvado - SP, usando a estação meteorológica automática que foi instalada no quintal de uma das casas. Esse monitoramento já possibilitou a realização de uma dissertação de mestrado e da publicação em congressos nacionais e internacionais de vários trabalhos ligados a áreas de clima e conforto ambiental e, por mais este motivo, é que apresentamos esta pesquisa, como uma continuidade das pesquisas já realizadas.

A fórmula experimental, "Predicting Indoor Air Temperature", começou a ser desenvolvida a partir da análise das temperaturas externas médias e da comparação com as temperaturas interiores. Segundo Givoni (1999), as temperaturas médias externas estão bem próximas das máximas internas. Além das médias das temperaturas externas, a fórmula usa ainda duas constantes, K e ΔT , que representam a massa térmica do edifício e a configuração da planta, aberturas e sombreamentos, respectivamente.

O destaque da investigação realizada, simulação de temperaturas interiores, a partir da "Predicting Indoor Air Temperature Formula", é que se trata de "casas ocupadas", segundo o uso de cada família residente, e não em protótipos, onde existe um controle de aberturas de janelas e portas. As casas que foram monitoradas pertencem a um conjunto de casas, conjunto "Sonho Meu", fabricadas a partir de um "kit" de construção, com colunas, vigas e laje, o qual posteriormente é concluído pelos moradores em regime de mutirão. A área onde esse conjunto foi construído trata-se de um local descartado na construção de um outro conjunto, o "Conjunto Morada do Sol".

Desta forma, o estudo realizado envolveu a análise das condições térmicas de casas ocupadas no Município de Descalvado - SP, relacionando as temperaturas do ar no interior das casas às temperaturas externas do ar. Médias, máximas e mínimas diárias.

Aplicada a fórmula experimental "Predicting Indoor Air Temperature Formula", Givoni (1999), se compara os valores previstos com os valores registrados da temperatura interna do ar. Para aplicação da fórmula, escolhem-se episódios climáticos, previamente definidos, conforme Vecchia (1997), buscados no conceito de tipos de tempo de Monteiro (1969). O autor (VECCHIA, 1997) realizou pesquisa na área de "Conforto Térmico no Ambiente Construído", analisando o clima segundo a proposta da dinâmica climática, por meio de episódios representativos do fato climático.

No trabalho desenvolvido, a aquisição de valores de temperatura interna nas casas foi feita por meio de termopares, do tipo T - cobre/constantan. Os termopares foram conectados ao multiplexador AM416, com 32 canais de aquisição, ligado à Estação Meteorológica Automática - CR10X, Campbell Scientific. A estação foi equipada com sensores responsáveis pela aquisição dos principais dados dos elementos do clima (temperatura, pressão, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos).

O período de análise adotado se limita ao de identificação de episódios climáticos representativos, conforme a proposta de abordagem dinâmica do clima, citada anteriormente. Foram escolhidos dois episódios climáticos, o primeiro entre a

primavera/verão, quando a atmosfera estava sob o domínio da massa de ar Tropical Atlântica, impedindo a chegada de massas de ar frias, e o segundo episódio, entre o outono/inverno, quando ocorreu a passagem da massa de ar Polar Atlântica sobre a região. Estes episódios foram escolhidos por representarem duas situações específicas na abordagem de conforto térmico, o stress de calor no primeiro, e o stress de frio no segundo.

A escala climática usada envolve desde a escala regional, que trata da circulação secundária, até a escala microclimática, abordada no comportamento térmico nos ambientes interiores das casas ocupadas que foram analisadas.

1.1 Organização do trabalho

O trabalho foi organizado da seguinte maneira: além da introdução que relata a visão geral do que se realizou e o porquê, têm-se outros itens que estão divididos da seguinte maneira:

- o item número II retrata os objetivos do trabalho realizado, o objetivo geral, e os objetivos específicos;
- o item número III faz um resgate teórico dos temas e conceitos usados na construção da pesquisa, entre eles, destacam-se: clima urbano, dinâmica climática, definições de escalas de abordagem do clima, entre outros, que serviram como base teórica chave para atingir os objetivos propostos;
- o item IV trata das características da área de estudo e do objeto de estudo. Nesse item foram descritas as características das casas estudadas, além das características geográficas da região de Descalvado - SP, e dentre estes, destaca-se a caracterização climática da região;
- o item V apresenta os equipamentos utilizados no desenvolvimento do trabalho, estação automática, equipamento para o armazenamento, transporte e comunicação de dados, entre outros recursos utilizados. O item também trata da metodologia empregada para atingir os objetivos propostos, e a descrição da fórmula experimental;

- o item VI trata dos resultados e discussão atingidos ao longo da pesquisa, apresentação dos episódios climáticos utilizados e a fórmula experimental aplicada;
- o item VII apresenta as considerações finais do trabalho, conclusões, algumas recomendações e as contribuições da pesquisa;
- e por fim, o item VIII, apresentação das referências usadas no desenvolvimento do trabalho.

II OBJETIVO

Analisar a consistência dos valores obtidos por meio da "Predicting Indoor Air Temperature Formula", que trata da previsão dos valores de temperatura interna do ar em função dos valores médios diários da temperatura do ar, externa, proposta por Givoni (1999), aplicada e analisada por meio de episódios climáticos, previamente definidos, traduz o objetivo nuclear desse estudo

2.1 Objetivos específicos

- Registrar e analisar as variações no padrão de comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, no interior das casas ocupadas, e da temperatura externa, com especial atenção aos seus valores médios, com referência à fórmula experimental proposta por Givoni (1999).

- Estudar o comportamento térmico das casas, por meio da Climatologia Dinâmica e do comportamento climático, sob a ótica dos Tipos de Tempo, segundo Monteiro (1969, 1971 e 1973), utilizando episódios climáticos, previamente definidos, conforme Vecchia (1997).

III REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão dos trabalhos que tratam do tema desta pesquisa foi dividida em itens, promovendo o conhecimento sobre os estudos que foram e estão sendo realizados nas áreas de Clima Urbano e de Conforto Ambiental.

Para o melhor entendimento, subdivide-se essa revisão nos seguintes itens, conforme os temas relacionados ao estudo, dentre os quais cabe destacar: escalas climáticas, clima urbano (clima e ambiente construído), climatologia dinâmica e conforto ambiental.

3.1 Escalas climáticas

Os estudos climáticos, como os demais estudos no ambiente, envolvem a análise da abordagem espaço-tempo. Qual o tempo de atuação de um fenômeno e, qual sua abrangência no espaço, são perguntas que se devem formular para entender e interpretar os resultados da investigação.

Definem-se vários níveis de escala para o estudo dos fenômenos climáticos, sendo preciso escolher a melhor correlação para cada abordagem do estudo.

Monteiro (1976), em "Teoria e Clima Urbano", argumenta que o estudo do clima urbano envolve tanto os fatos em escalas mais amplas e complexas, quanto os mais simples, devido a isso, é importante considerar todas as escalas de tratamento espaciais/temporais. O autor propõe uma tabela de categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano (Tabela 1, página 6), na qual relaciona as escalas climáticas com as estratégias de abordagem.

Monteiro (1990)¹, afirma que qualquer experimento aplicado a uma cidade principia por sondagem na escala local e daí para suas subdivisões. O autor conclui que "as condições de tempo meteorológico são geradas pela circulação atmosférica em nível regional, variando setorial e localmente". Neste nível de escala, pode-se usar a área de uma cidade como espaço de atuação, e um tempo mínimo, de 24 horas a alguns dias, como tempo de ação do fenômeno.

TABELA 1 - Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o Clima Urbano.

Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços Climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
				Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
10 ⁴ (milhões de km)	1: 45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-- . --	Satélites Nefanálises	Latitude Centro de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
10 ⁴ (milhões de km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-- . --	Cartas sinópticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes Transectos
10 ² (centenas de km)	1:1.000.000 1:500.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole - Grande área de metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos regionais	Mapeamento sistemático
10 (dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana - metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geocológica - Ação antrópica)	Análise espacial
10 ⁻² (centenas de km)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade Grande Bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (episódicos)	Urbanismo	
Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	Especiais
Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação - habitação/setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro (1976), "Teoria e Clima Urbano".

¹ MONTEIRO, C. A. de F. (1990). *Adentrar a Cidade para Tomar-lhe a Temperatura*. GEOSUL/UFSC, Florianópolis, ano v, nº 9, p. 61-79.

Ribeiro (1993), define as seguintes ordens de grandeza têmporo-espacial para o fenômeno climático:

Clima Zonal - é produzido pela distribuição latitudinal da radiação solar. Nesta escala, define-se a circulação geral da atmosfera. Segundo este autor, a permanência temporal de um estado climático, nesta escala, pode durar de uma semana a alguns meses. Os fenômenos do clima nesta escala podem apresentar uma extensão horizontal entre 1000 e 5000 quilômetros.

Clima Regional - a abordagem regional, que ocorre no interior de um clima zonal, se deve à ação modificadora da circulação geral da atmosfera provocada por um conjunto de fatores de superfície, entre eles, a distribuição entre as áreas continentais e as oceânicas, a forma dos continentes, as correntes marítimas, a rugosidade dos continentes, a continentalidade e a maritimidade. A compreensão dos climas regionais apoia-se na busca do ritmo da variação anual, sazonal e mensal dos elementos do clima e estes, por sua vez, estão ligados aos centros de ação intermediários, que ocorrem entre a circulação geral e secundária, e podem ser representados pelas massas de ar e frentes. A extensão horizontal dos climas regionais está entre 150 a 2500 quilômetros, e o tempo de atuação varia de 1 a 30 dias.

Clima Local - O clima regional pode apresentar significativas variações em seu interior devido à ação de determinadas feições fisiográficas ou antrópicas. Entre as feições fisiográficas responsáveis pela mudança na circulação regional, pode-se destacar o relevo, que provoca situações de barlavento e sotavento. O homem pode contribuir com os fatores de modificação das condições iniciais do clima local através de alterações na cobertura do solo, como substituição da vegetação, e, também, pela construção. O clima local pode possuir uma extensão de centenas de quilômetros quadrados, sujeito a algumas mudanças no tempo. O nível temporal pode ser o mesmo definido para o nível regional.

Topoclima - este nível de escala corresponde a uma derivação do clima local devido à rugosidade do terreno, fazendo com que o mesmo receba radiação solar de forma desigual ao longo do dia. Durante a noite, a rugosidade do terreno provoca a drenagem do ar frio em direção aos fundos de vale. A ocorrência de geadas e

nevoeiros pode estar relacionada ao efeito topoclimático. O tempo de ação do clima influenciado pela topografia não passa de 24 horas, e o nível espacial restringe-se à forma do relevo, variando de 0,5 a 5 km.

Microclima - O microclima define-se através da magnitude das trocas gasosas e energéticas, entre as feições ou estruturas particularizadas (inclusive objetos, plantas e animais). A microrugosidade, a cor e a textura das superfícies, aliadas aos abrigos dispostos junto ao solo, como as edificações e a vegetação, provocam a diferenciação das trocas energéticas junto ao solo. A extensão horizontal do microclima pode chegar a 10 quilômetros. Ribeiro (1993), afirma que o estabelecimento de limites rígidos para o microclima pode não trazer resultados satisfatórios, já que o mesmo depende muito da superfície em que foi gerado.

Neste estudo foram usadas duas escalas climáticas, a primeira que trata da circulação secundária, deslocamento das massas de ar, e, a segunda, no nível de microclima, abordada no estudo da diferenciação das temperaturas no interior das casas ocupadas.

3.2 Clima urbano e conforto ambiental

A abordagem entre o clima e o ambiente construído é entendida em várias áreas do conhecimento científico como: clima urbano, clima das cidades, entre outros.

Para Vecchia (1997), todo o espaço físico envolvendo as edificações, de uma maneira geral (casas, edifícios, escolas, etc), é considerado ambiente construído. O mesmo autor, em outra nota, define ambiente construído como “um conjunto constituído pelas envolventes das edificações: pisos, paredes, coberturas, entre outros elementos e dispositivos construtivos”.

As distintas áreas urbanas possuem um comportamento térmico diferenciado em relação a seus arredores. A influência do ambiente construído no clima local já é conhecida há tempos pelos pesquisadores. No Brasil, podem-se destacar trabalhos na área da Geografia e Arquitetura que tratam do tema:

Tarifa (1977) estudou a influência da natureza do espaço e do tipo de cobertura do solo nas variações de temperatura e umidade, além de estudar as variações impostas a esses elementos pelas diferentes exposições de vertentes, comparando a área urbana e rural de São José dos Campos – SP.

Na cidade de Rio Claro foram estudados os fenômenos de “ilhas de calor”, mostrando a influência do sítio urbano na temperatura e umidade do ar. O estudo define os períodos do dia onde se acentuam as ilhas de calor urbano, Camargo e Tavares, (1985).

Lombardo (1985) realizou estudo verificando a qualidade ambiental na cidade de São Paulo, mostrando a influência da ação do homem no ambiente, analisando as conseqüências dessa ação, como o fenômeno de ilhas de calor.

Reynolds e Stein (1992), demonstram a influência das áreas urbanas no comportamento da temperatura, conforme a Figura 1, a seguir:

FIGURA 1 - No gráfico A, os autores exemplificam o comportamento da temperatura a partir das áreas rurais em direção aos centros urbanos, no item B são apresentadas as isotermas em diferentes pontos dentro da cidade. Fonte: Reynolds e Stein (1992).

Isto ocorre devido à reação do ambiente construído em função das condições climáticas de cada região, acarretando, nas áreas construídas, alterações na direção dos ventos, nas temperaturas, na precipitação e na umidade do ar.

Tavares e Lastória (1994), concordando com a Figura 1 de Reynolds e Stein (1992), analisam que "as cidades possuem tendência para apresentar temperaturas mais elevadas nas áreas centrais, que declinam, rapidamente, em direção à periferia e às áreas adjacentes". Esta condição recebe a denominação de ilha de calor. Para a cidade estudada, Piracicaba - SP, este fenômeno cria condições quase permanentes de desconforto térmico.

Souza (1996), em seu estudo sobre a influência da geometria urbana na temperatura ao nível de pedestre, destaca que as características geométricas das edificações e a largura das vias de acesso têm impacto sobre o clima urbano e na formação das ilhas de calor

Para Pitton (1997), em, "As Cidades como Indicadoras de Alterações Térmicas", o uso do solo nas cidades, o conjunto de edificações, aliados aos atributos topográficos pode criar diversidades climáticas. A autora assinala que análise do clima urbano deve envolver todas as condições dos sítios, através de vários pontos de coleta, abordando diferentes níveis de escala climática.

Além dos trabalhos que relacionam o clima e as áreas urbanas, pode-se correlacionar a pesquisa aos trabalhos da área de conforto térmico.

O termo conforto térmico pode ser definido como a ausência de mal-estar, do ponto de vista térmico (VECCHIA, 1997). O autor define ainda o conforto térmico no ambiente construído, que consiste na sensação complexa que depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos.

Alva (1997), trata da qualidade ambiental urbana, definindo-a como conjunto de condições externas, que maximiza a sensação de bem-estar dos indivíduos e da própria comunidade. As estruturas materiais que conformam o meio ambiente urbano são, de fato, os elementos físicos nos que se apóiam os outros fatores que irão determinar a qualidade ambiental.

Pode-se destacar ainda o conjunto dos trabalhos apresentados no "Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/2001", entre eles: Schmid et al. (2001), cujo trabalho aborda a influência da tipologia das paredes na temperatura interna de um edifício de apartamentos residenciais, enfocando também a questão da economia de energia;

Ruas e Labaki (2001) fazem um resgate teórico das pesquisas realizadas, principalmente no Canadá, Europa e Japão, sobre a influência da ventilação sobre o conforto térmico nas edificações. Os autores mostram, também, a evolução das normas ASHRAE e ISO para determinação do padrão de ventilação do ambiente. Os mesmos concluem que existe uma carência de estudos na área, e que a temperatura máxima usada nas pesquisas é próxima à temperatura média registrada em grande parte do Brasil;

Papst e Lamberts (2001), fazem uma simulação das temperaturas internas, através de uma equação de regressão linear. A pesquisa faz uma relação entre as temperaturas internas e externas do edifício e a função dos ocupantes em resfriar o ambiente, segundo o controle da ventilação natural. Nessa mesma linha, Sasaki et al. (2001), apresentam pesquisa sobre o efeito da ventilação no desempenho térmico de um protótipo de unidade habitacional de blocos cerâmicos. Nesta pesquisa, o tempo de abertura das janelas e portas é controlado, e a temperatura interna também é relacionada à temperatura externa. Entre os resultados encontrados, pode-se destacar que: quanto maior a velocidade do ar, menor foram as temperaturas registradas; outra conclusão é que a direção do fluxo interno necessariamente não acompanha a direção do fluxo externo, e, por último, os autores concluem que a área de ventilação, para tais condições climáticas, devem ser superior a 20% da área de piso.

3.3 Dinâmica climática

A Climatologia Dinâmica consiste no estudo do clima através de eventos climáticos, abordagem distinta da proposta clássica, de estudar o clima por meio de medições de longos períodos e desvinculada das condições dos fenômenos da atmosfera.

A análise dinâmica do clima volta-se ao estudo do ritmo climático de uma determinada localidade. Segundo Monteiro (1971), o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima, em unidade de tempo cronológico, pelo menos diários, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo.

Segundo Monteiro (1969), o ritmo é a essência da análise dinâmica, sendo que a sequência, é que conduz ao ritmo. Por sequência, o autor entende a sucessão dos tipos de tempo, que, por sua vez, é explicado pelo encadeamento dos estados atmosféricos sobre determinado local. Dessa forma, a análise dinâmica reveste-se de um estudo dos tipos de tempo, sobre um determinado lugar, considerando os valores reais registrados e usando a análise do ritmo climático para interpretar o fenômeno atmosférico.

No Brasil, essa visão da climatologia foi introduzida por Serra e Ratisbona (1942), e Monteiro (1969, 1971 e 1973), que definem o clima como: "sucessão habitual dos tipos de tempo". Os precursores da aplicação da climatologia dinâmica no campo da Geografia são Sorre e Pedelaborde², que na década de 50 publicaram trabalhos que tratavam da dinâmica climática.

Nimer (1979) destaca a importância dos estudos de massas de ar como fundamento da climatologia moderna. O estudo do deslocamento, frequência e intensidade das massas de ar e, conseqüentemente, da invasão de frentes polares constituem a base da climatologia dinâmica.

3.3.1 Massas de ar e episódios climáticos

Entre os mecanismos de tempo meteorológicos, mais divulgados, estão as massas de ar e os distintos tipos de frentes. Massa de ar pode ser definida como sendo uma grande porção de ar, de grande espessura, que apresenta uma certa homogeneidade horizontal. Apresenta propriedades físicas quase uniformes no mesmo nível, principalmente em relação à temperatura e umidade (ANUNCIAÇÃO, 1984).

No Brasil, pode-se citar o clássico trabalho de Serra e Ratisbona (1942), *As Massas de Ar da América do Sul*. Os autores afirmam que para formação de uma massa de ar polar, além da homogeneidade, do revestimento e da divergência

² SORRE, M. (1951). Les fondements de la Géographie Humaine. Les fondements biologiques. Essai d'une écologie de l'homme, Tomo I. Paris, Arnold Colin, 448 p.

PEDELABORDE, P. (1959). Introduction à l'étude scientifique du climat. Paris: Centro de Documentation Universitaire.

anticiclônica, é importante o fato da circulação se produzir ao longo das isotermas que circundam o pólo.

Vianello e Alves (1991) entendem que as massas de ar se encontram em áreas capazes de manter temperatura e umidade homogêneas. Essas grandes porções de ar com propriedades bastante uniformes são, genericamente, denominadas por massas de ar.

Os autores assinalam ainda que, quando uma massa de ar se desloca de sua região de origem ela vai progressivamente perdendo suas propriedades originais, em consequência das trocas adiabáticas³, com a superfície sobre a qual escoa. Da mesma forma, em virtude dos movimentos verticais que ocorrem. Segundo essa afirmação, pode-se considerar que a massa de ar troca energia com a superfície sobre a qual se desloca. Desta forma, conclui-se que a mesma possui um papel fundamental na definição das características climáticas da região por onde se desloca.

Por frente, entende-se que é a linha de contato entre duas massas de ar, de qualidades diferentes, formando uma descontinuidade térmica e barométrica, sendo, portanto, uma zona de instabilidade, Deffune (1993). A Figura 2, página 14, demonstra a área de contato de duas massas de ar (frente fria) e os eventos associados a esse fenômeno. Na Figura 3, página 15, *A* representa o mapa de tempo (cartamarinha), mostrando o avanço de uma frente fria sobre a Região sudeste do Brasil e na *B* temos uma Imagem de Satélite, Satélite GOES, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE⁴.

Esse conjunto de figuras é importante na interpretação dos episódios climáticos. As imagens de satélite, disponibilizadas pelo INPE, em sete ou oito horários diferentes ao longo do dia, demonstram em sequência o avanço de massas de ar de origem polar sobre a América do Sul, enquanto as imagens disponibilizadas

³ Trocas adiabáticas - os processos onde ocorrem variações na energia interna sem se acrescentar ou retirar calor do sistema. Quando se trata de uma massa de ar considera-se que: as mudanças adiabáticas na temperatura acontecem como resultado da compressão ou expansão do ar. Estas mudanças de temperatura representam a conversão da energia mecânica em energia de calor. O ar comprimido fica mais morno, enquanto a expansão deixa o ar mais fresco.

⁴ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Site: <http://www.cptec.inpe.br>.

pela Marinha do Brasil⁵, em dois horários diferentes, ajudam a definir os campos de pressão, e também as áreas de frentes na América do Sul.

FIGURA 2 - Esquema da área de contato de duas massas de características distintas⁶, este tipo de fenômeno ocorre várias vezes ao longo do ano, principalmente no limite dos Estados de Paraná e São Paulo, sendo que sua intensidade é mais acentuada nos meses de abril a setembro.

Considerando as afirmações de Vianello e Alves (1991), entende-se que as massas de ar, quando estão se deslocando por superfícies, que apresentam condições térmicas e de umidade diferentes das quais as mesmas foram formadas, tendem a reagir com estas, passando a assumir as características da superfície. Diante disto, diferentes superfícies, sobpostas aos mecanismos de tempos iguais, apresentam respostas climáticas diferentes, expressos através de padrões desiguais de distribuição de temperaturas, chuvas, entre outros.

Por episódio, entendem-se as condições atmosféricas envolvidas por um sistema de circulação secundária. Dessa forma, o estudo climático dos dias em que um determinado local está submetido ao domínio de uma massa de ar com características próprias, abrangendo desde a fase de prenúncio até a sua fase de transição, pode ser considerado com um episódio climático.

⁵ Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil - Carta Sinótica à Superfície - Site: www.mar.mil.br

⁶ http://www.brasgreco.com/weather/frentes/f_frias.html (13/03.2000).

FIGURA 3 - Avanço de uma massa de ar de origem polar. A imagem (A) é uma carta sinótica à superfície, em 02/05/2001 - às 12h, do Serviço Meteorológico da Marinha, mostrando as áreas de avanço de frentes frias; a imagem (B) é do Satélite GOES, fornecida pelo CPTEC/INPE, esta imagem retrata o avanço de uma massa de ar de origem polar sobre a América do Sul, às 15 horas do dia 02/05/2001.

O clima na região Sudeste do Brasil, conforme descrito no item 4.3, é fundamentalmente marcado pelas incursões de massas de ar, de origem polar, provocando um ritmo climático diferenciando para cada época do ano. Segundo Monteiro (1969), "a natureza do ritmo de evolução dos estados do tempo é função de uma rica série de combinações; o grau de propagação latitudinal, bem como as diferenças de canalização da massa fria pelas rotas do interior e do litoral têm a ver com as ondulações que se produzem ao longo do eixo da frente polar em deslocamento".

São essas ondulações ou ciclogêneses que explicam *contrastes térmicos* (grifo nosso), gerados pela participação conflitante dos sistemas intertropicais e extratropicais, e dos quais depende a intensidade das chuvas⁷.

Em relação à análise episódica, Monteiro (1969), diz que "em apenas alguns dias é possível, e mesmo imprescindível, analisar a seqüência diária do tempo,

⁷ MONTEIRO, C. A. de F. (1969). *A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil*, (contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo. (Série teses e monografia, 1).

desdobrada em suas quatro cartas sinóticas, do mesmo modo que os elementos devem ser considerados em unidades horárias de observação".

Alguns trabalhos apontam o estudo do clima por meio de episódios, destacando-se os trabalhos realizados pelo INPE. Entre eles estão, Avila et al. (1994), que estuda a influência da circulação sub-antártica na ocorrência de um episódio frio. O trabalho enfoca a queda de neve em algumas localidades da Região Sul do Brasil.

IV CARACTERÍSTICAS DO OBJETO DE ESTUDO (CASAS) E DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Características da área de estudo

A área de estudo escolhida localiza-se no Município de Descalvado - SP, conforme mostra Figura 4, página 18. O objeto de estudo, casas populares, encontra-se na área periférica da cidade, integram o conjunto de casas populares denominado de "Sonho Meu", o conjunto está próximo do fundo de vale, área com cobertura vegetal.

O conjunto "Sonho Meu" integra o projeto da Secretaria de Promoção Social da Prefeitura do Município de Descalvado, que teve como objetivo a construção de casas populares para famílias carentes. Essas famílias viviam em condições de extrema pobreza, morando em barracos construídos em áreas de riscos. Segundo informações, por meio de entrevista, do ex-prefeito do município (gestão 1997 - 2000), senhor José Antônio Gabrielli, o objetivo, alcançado com a construção das casas, foi o de retirar famílias das áreas de riscos da cidade, geralmente ocupações irregulares, e, da mesma forma, proporcionar a essas famílias condições mínimas de habitabilidade. Ambas as famílias não possuíam casas e moravam em favelas, e, com a agravante de ter, cada uma, um filho com problemas mentais. Hoje essas famílias aparentam estar em condições melhores. Possuem as casas, os filhos freqüentam a escola e as duas crianças deficientes tem acompanhamento de profissionais junto à APAE do Município de Descalvado.

O segundo objetivo do projeto foi o de ocupar áreas próximas ao fundo do vale, descartadas na construção de um outro conjunto de casas populares financiado pela Companhia de Habitação do Estado de São Paulo (CDHU), conjunto "Morada do Sol".

Conjunto Morada do Sol, destacando a localização das casas em estudo.

FIGURA 4 - Localização da área de estudo - Descalvado - SP., confecção Specian, v. – Adaptado de Ranieri (2000).

A ocupação destas áreas próximas do fundo do vale foi importante para o desenvolvimento urbano desta área da cidade, promovendo a construção de vias de acesso ao conjunto "Morada do Sol" e, também, promovendo a ocupação de "vazios urbanos", comuns nas cidades brasileiras. Para a construção das casas, foram realizadas adequações nos terrenos, representadas basicamente no emprego de muros de contenção.

4.1.1 Características das plantas das casas em estudo

As casas em estudo estão situadas em terreno com dimensões de 10 m x 20 m, com recuo frontal de 4,85 m; recuo de fundos de, mais ou menos, 7,50 m; e recuos laterais de 1,50 m, segundo Silva (2001).

A forma de uso do solo difere no quintal das duas casas: a casa 1 possui quintal com solo exposto e uma pequena parte com vegetação, a parte frontal é revestida com brita, apresentando uma pequena área coberta (abrigo) para automóvel no lado esquerdo, de dimensões 4,50 m x 4,85 m; o quintal da casa 2 está revestido com piso em cimento (fundos). Nas laterais e na parte frontal, o solo está exposto.

As plantas das duas casas em estudo seguem o mesmo padrão, as duas possuem dois quartos, sala, cozinha e banheiro, o fator que diferencia as duas plantas é a distribuição dos cômodos, conforme mostra a Figura 5, a seguir:

FIGURA 5 - Planta baixa das duas casas monitoradas durante a pesquisa. Observa-se que a diferenciação das duas consiste na distribuição dos cômodos.

Segundo Vecchia et al. (2001), as duas casas possuem uma área construída de $40,6 \text{ m}^2$, sendo construídas com vigas e pilares de concreto pré- moldados, forro de laje alveolar, com paredes em alvenaria de blocos de concreto, rebocadas internamente. A Figura 6, a seguir, mostra a estrutura em concreto montada no terreno. Com a montagem da estrutura, resta aos moradores apenas o fechamento com paredes, instalações hidráulicas, elétricas e acabamento final.

FIGURA 6 - Estrutura pré-moldada instalada, composta de pilares, vigas e lajes, além do telhado. Segundo o projeto do Conjunto Sonho Meu, esse Kit é entregue ao morador, a fim de que o mesmo possa concluir a obra.

Segundo Vecchia et al. (1999), a vantagem do uso das estruturas pré-moldadas está na rapidez da instalação e construção, segurança para os moradores, que vão atuar no sistema mutirão para a construção das casas, além do custo final da obra.

As duas casas diferem quanto ao sistema de cobertura: na casa 1 a estrutura é de madeira, e, na casa 2, a estrutura é metálica, mas, ambas são cobertas com telha cerâmica, tipo capa canal. A Figura 7, página 21, mostra a fachada frontal das casas em estudo, além do detalhe do tipo de cobertura para cada casa.

O acabamento interno das casas consiste em piso cerâmico e o teto com laje alveolar, sendo que somente a casa 2 possui pintura interna, cor branca.

As casas se distanciam em cerca 3 metros, estando separadas por um muro de tijolos cerâmicos, conseqüentemente, tem-se 1,5 m de largura para o corredor de cada casa. Essa abertura permite além de um bom fluxo de ar no entorno das casas, o succionamento do ar interior pelas aberturas laterais.

FIGURA 7 - Fachadas frontais das casas em estudo. Observa-se que as casas não possuem acabamento externo, tendo apenas o chapisco. No detalhe, tem-se a imagem do sistema de cobertura de cada uma das casas, estrutura em madeira e aço, respectivamente.

As portas e janelas são fabricadas em esquadrias de aço, seguindo a seguinte orientação:

- fachada sudoeste (fachada principal) possui porta de (0,80m x 2,10m) e janelas (0,50m x 1,60m);
- fachada noroeste possui janela do quarto (1,00m x 1,20m);
- fachada nordeste (de fundos) não possui aberturas. Com as modificações feitas na casa 2, abriu-se uma porta (0,80m x 2,10m) na fachada nordeste, fechando com alvenaria a abertura anterior da porta na fachada sudeste.

4.2 Características geográficas do município de Descalvado

A base de informações geográficas do município de Descalvado é, senão incipiente, espalhada sobre a forma de dissertações, zoneamentos ambientais realizados pelo estado e demais publicações de diversos órgãos estaduais em escala regional ou estadual.

O município de Descalvado se localiza entre as coordenadas 21° 55' S e 47° 38' W, em uma porção ao nordeste do estado de São Paulo. A altitude média é de 648

m. O município tem seus limites ao norte com o município de Luís Antônio e Santa Rita do Passo Quatro, ao sul com o município de Analândia, a oeste com São Carlos e a leste com Porto Ferreira e Pirassununga.

De acordo com Ross e Moroz (1997), a unidade morfológica onde se encontra o município de Descalvado é a "Depressão de Mogi-Guaçu". Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais, cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos tabulares amplos. A altitude varia entre 500 e 650m, sendo que a litologia é representada por arenitos finos, arcóseos, argilitos, siltitos, calcários e folhelhos e os solos são do tipo Latossolo Vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho-escuro e Podzólico Vermelho-amarelo.

Segundo Oliveira (1995), o município de Descalvado insere-se na província geomorfológica das Cuestas Basálticas, o que condiciona uma heterogeneidade na paisagem do município.

O principal rio que passa pelo município é o Mogi-Guaçu, que limita Descalvado dos municípios de Santa Rita do Passa Quatro e Luiz Antônio. Outros importantes rios são o Ribeirão do Pântano e o Rio Bonito (RANIERI, 2000).

4.3 Mecanismos de tempo e clima no estado de São Paulo.

Para Serra e Ratisbonna (1942), o principal mecanismo que determina o clima na região Sudeste do Brasil é a massa Polar Antártida. A região de origem dessa massa localiza-se na zona polar, formada pelo altiplano antártico e pela banquiza fixa, onde se instala um anticiclone permanente, com ventos de SE e E.

As primeiras tentativas de classificação climática do Brasil datam do século passado. Mesmo com as dificuldades ocasionadas pela falta de estações meteorológicas, em um território de proporções continentais, alguns pesquisadores apontavam as diferenciações climáticas de nosso país.

Um dos trabalhos pioneiros na definição climática para o Brasil foi o de Morize (1922), que definiu uma tipologia climática para o Brasil. Nesse trabalho o estado de São Paulo foi dividido em dois tipos climáticos:

- o primeiro como de clima temperado, tipo semi-úmido das latitudes médias, abrangendo quase a totalidade do estado;

- o segundo, que ocupava a região noroeste, foi definido como de clima subtropical, tipo semi-úmido continental.

A partir da metade do século, outros trabalhos começaram a surgir, destacando os trabalhos de Monteiro (1969). Nesse trabalho o autor afirma que a participação da frente Polar Atlântica, através dos seus eixos principal e reflexo, é a responsável pela precipitação pluvial no território paulista em todas as estações do ano, sendo que essa responsabilidade, durante o inverno, chega a quase completa totalidade.

Monteiro (1973) conclui que o estado de São Paulo se encontra no limite de duas zonas climáticas, intertropical e subtropical. Na primeira se desenvolvem climas controlados por massas equatoriais e tropicais, enquanto que, na segunda o controle passa às tropicais e às polares.

No estado de São Paulo, a massa de ar que mais interfere no clima é a massa Polar Atlântica - mPA, sendo que a sua atuação é mais acentuada no inverno.

Nimer (1979) define que a latitude é um dos fatores primordiais que interferem no clima do estado de São Paulo. O autor reconhece na topografia um fator geográfico de modificação das condições iniciais do clima. “A topografia favorece as precipitações, uma vez que ela atua no sentido de aumentar a turbulência do ar, pela ascendência orográfica, notadamente, durante a passagem de correntes perturbadas”.

O autor propôs que a região Sudeste fosse dividida em quatro domínios:

a. clima quente: apresenta temperatura médias superiores a 18,0 °C, em todos os meses, no estado de São Paulo. Esse tipo de clima caracteriza as regiões norte e leste do estado de São Paulo, em altitudes abaixo de 600m e a oeste em altitudes abaixo de 300m;

b. clima subquente: típico de áreas com cortes altimétricos acima dos apresentados para o clima quente, se caracteriza por possuir um mês com temperatura média inferior a 18 °C;

c. clima mesotérmico brando: caracteriza-se por apresentar temperaturas médias no inverno inferiores a 15 °C (1 mês). É comum apresentar temperaturas próximas de 0 °C, aparece nas regiões mais elevadas da Serra do Mar e Mantiqueira, em altitudes acima de 700m;

d. clima mesotérmico médio: no estado de São Paulo esse tipo climático é típico de áreas acima de 1600m. A média dos meses mais quentes é inferior a 17 °C, sendo que, em algumas localidades, a média anual não ultrapassa 13,6 °C.

No projeto Radam Brasil (1982), através de seus estudos e revisões, concluiu-se que as massas de ar polar possuem atividade marcante durante o inverno, principalmente na região sudeste e sul do Brasil.

Barbosa e Ribeiro (1985) realizaram estudo sobre a circulação atmosférica, abordando a influência do relevo no regime de ventos predominantes de cada localidade.

Ribeiro (1985) aponta que os estudos da circulação atmosférica regional, através dos sistemas atuantes, os anticiclones subtropical e polar, a depressão continental e as frentes frias, além das linhas de instabilidade tropical, são indispensáveis para compreensão dos mecanismos responsáveis pela distribuição temporal e espacial das chuvas.

Sant'Anna Neto (1993), ao estudar a tipologia das chuvas no litoral de São Paulo, concluiu que a posição latitudinal de seu território e a localização zonal faz com que o estado de São Paulo (além do MS) possa ser considerado o palco maior do complexo jogo das atuações dos sistemas atmosféricos, visto que, é nessa faixa de transição que ocorre o confronto entre os climas controlados pelos sistemas tropicais e pelos extratropicais (polares) além dos fenômenos frontológicos.

Observando trabalhos sobre o clima, de acordo com diversos enfoques, pode-se analisar que o clima da região Sudeste e, especificamente, do estado de São Paulo, devido à sua posição latitudinal, é extremamente complexo, devido à atuação, em conjunto, de vários sistemas atmosféricos.

Para essa investigação é importante considerar a atuação da massa de ar de origem polar e seu reverso, pois esses mecanismos possuem uma atuação importante

nas condições de tempo e clima na região em estudo. Os episódios que envolvem a passagem de frentes pela região servirão como fator de análise dos dados coletados na estação meteorológica, instalada em Descalvado.

4.3.1 Características climáticas para a região de Descalvado - SP

Para a avaliação do clima do município de Descalvado, é necessário utilizar os dados registrados nas estações meteorológicas da região, pois a primeira estação meteorológica instalada no município é a que estamos utilizando para o nosso trabalho. As estações meteorológicas que usamos de referência, para o registro histórico dos elementos climáticos da região, é a da EMBRAPA (estação agrometeorológica) de São Carlos e do CRHEA/USP em Itirapina.

Silva et al. (2000), analisando os dados das estações acima citadas, por um período de 10 anos (1990 - 1999), destaca que as maiores temperaturas, médias das máximas, ocorreram nos meses de novembro e dezembro (29,42 °C - CRHEA). Na estação da EMBRAPA, o maior registro foi de 28,5 °C no mês de dezembro. As mínimas, médias das mínimas, registradas ocorrem nos meses de junho (9,15 °C - CRHEA) e em julho (11,7 - EMBRAPA). A variação geral da temperatura ficou entre 16 e 24° C.

Para análise da precipitação usamos os dados fornecidos pela estação meteorológica do CRHEA/USP. O registro compreende um período de 24 anos (1976 - 1999). A média pluviométrica anual para o período foi de 1500 mm. Os meses mais chuvosos foram dezembro e janeiro, cuja precipitação média ficou em 212,2mm e 224,1mm, respectivamente. Os meses com precipitações mínimas, médias abaixo de 50mm, foram julho e agosto, 43,5 mm e 36,9mm, respectivamente. Nos anos analisados, o mês de agosto foi o que teve o maior número de registro 0mm de precipitação, 6 anos. Na classificação proposta por Nimer (1979), o clima da região é o mesotérmico brando, temperatura média inferior a 15°C em pelo menos um mês do ano. A Figura 8, página 26, mostra os gráficos de temperatura, período de 10 anos (1990/1999) e a precipitação, período de 24 anos (1976/1999), para a estação meteorológica do CRHEA/USP Itirapina.

FIGURA 8 - Variação da temperatura e precipitação na estação meteorológica do CRHEA/USP - Itirapina. Os gráficos demonstram as características climáticas da região, um inverno seco, principalmente nos meses junho, julho e agosto, e verão chuvoso. As temperaturas de inverno ficam na média de 15 °C, temperaturas abaixo de 5° C ocorrem quando da passagem de massas de ar pela região.

V PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para realização dessa pesquisa podem ser divididos em dois grupos:

1º - equipamentos de campo, utilizados na aquisição automática de dados meteorológicos e do comportamento dos ambientes interiores das casas ocupadas;

2º - equipamentos utilizados na tabulação e análise dos dados em gabinete.

5.1.1 Equipamentos de campo

Os equipamentos utilizados no campo consistem de:

- estação meteorológica automática, conforme mostra a Figura 9, página 28, equipada com os seguintes componentes:

- CR10X - Campbell Scientific Inc. (datalogger);
- Bateria de 12 V;
- Painel Solar, para alimentação da bateria e do sistema;
- Multiplexador - AM416, com 32 canais de aquisição de dados.

Esse conjunto de equipamentos, conforme mostra a Figura 9, página 28, permite a instalação de uma série de sensores. Foram instalados os seguintes sensores para aquisição dos elementos do clima, conforme mostra a Figura 10, página 28:

- 02 sensores para medir a direção e a velocidade do vento, Anemoscópio e Anemômetro, respectivamente;
- 02 sensores para medir temperatura e umidade relativa do ar;
- 01 sensor para medir a pressão barométrica;

- 01 sensor para medir a radiação solar global.

FIGURA 9 - Conjunto de equipamentos que compõem a estação meteorológica automática. Na foto temos o detalhe do "Storage Module" (equipamento móvel), conectado ao CR10X, equipamento utilizado no armazenamento, transporte e repasse dos dados coletados na estação para o micro computador.

FIGURA 10 - Distribuição dos sensores na torre da estação meteorológica automática.

Para aquisição de dados do comportamento térmico das casas foram instalados sensores em todos os cômodos da casa 1, e, na casa 2 apenas na sala e um dos quartos (quarto 1), cujos parâmetros coletados foram:

- temperatura superficial (teto);
- temperatura de bulbo úmido (tbh);
- temperatura de bulbo seco (tbs).

Nesta investigação foram usados apenas os valores da temperatura de bulbo seco, sendo que, as temperaturas foram registradas a uma altura de 1,85 m do piso, através de termopares, do tipo T - cobre/constatan. A figura 11 mostra a distribuição dos cômodos das duas casas monitoradas e o detalhe do dispositivo instalado no interior das casas.

O conjunto descrito acima de estação meteorológica e sensores foram instalados no quintal de uma das casas, e inicialmente serviram para coleta de dados para uma pesquisa, orientado pelo Professor Francisco Vecchia, que analisa o conforto térmico das mesmas casas estudadas nesta pesquisa.(notas)

FIGURA 11 - Distribuição das repartições das duas casas em estudo, desenho A. A imagem B mostra o dispositivo instalado dentro de uma das casas, utilizado para medir temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, adaptado para o trabalho.

5.1.2 Equipamentos de gabinete

Os equipamentos de Gabinete consistem de:

- 1 Computador tipo - PC Pentium III.

No computador os dados coletados passam por uma análise de consistência, para isso é utilizado o software MS Excel. Foram montadas planilhas para análise e interpretação dos dados, conforme exemplo da Figura 12.

série	Ano	Dia	Hora	DBT externa (°C)	UR externa (%)	Rad. Solar Global (W/m2)	Pressão Baromet. (mB)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (graus)
100	2000	275	30	18,34	88,80	0,00	944,00	0,05	172,20
100	2000	275	100	17,69	91,50	0,00	944,00	0,05	37,54
100	2000	275	130	17,48	91,60	0,00	944,00	0,40	352,50
100	2000	275	200	17,05	97,10	0,00	944,00	0,32	2,94
100	2000	275	230	17,17	99,10	0,00	944,00	0,08	44,95
100	2000	275	300	17,33	98,70	0,00	943,00	0,01	65,13
100	2000	275	330	17,38	97,40	0,00	943,00	0,14	236,90
100	2000	275	400	17,22	97,50	0,00	943,00	0,08	183,10
100	2000	275	430	17,08	98,60	0,00	943,00	0,08	201,00
100	2000	275	500	17,07	98,10	0,00	943,00	0,12	210,20

CASA # 1												
série	Ano	Dia	Hora	DBT_cozi nha	DTB Sala	DTB quarto1	DTB quarto2	DTB média da casa	WBT cozinha	WBT sala	WBT quarto1	WBT quarto2
200	2000	275	30	24,04	23,73	23,73	23,77	23,82	20,47	17,69	20,71	19,90
200	2000	275	100	23,90	23,61	23,64	23,70	23,71	20,38	17,34	20,62	19,83
200	2000	275	130	23,79	23,50	23,55	23,61	23,61	20,34	17,03	20,64	19,87
200	2000	275	200	23,61	23,50	23,36	23,46	23,48	20,23	16,80	20,47	19,81
200	2000	275	230	23,48	23,44	23,29	23,26	23,37	20,19	16,73	20,41	19,85
200	2000	275	300	23,29	23,28	23,15	23,05	23,19	20,06	16,76	20,22	19,74
200	2000	275	330	23,10	23,12	22,91	22,93	23,02	19,95	16,67	20,12	19,64
200	2000	275	400	22,99	22,97	22,98	22,82	22,94	19,85	16,64	20,05	19,56
200	2000	275	430	22,85	22,90	22,77	22,78	22,83	19,76	16,59	19,99	19,49
200	2000	275	500	22,69	22,72	22,68	22,62	22,68	19,65	16,56	19,87	19,40

FIGURA 12 - A planilha do MS Excel apresentada constitui parte de uma das planilhas finais, pronta para a montagem de gráficos, essas planilhas estão apresentadas em sequência, incluindo a análise da casa nº 2.

Os dados da estação meteorológica e das medições internas das casas são armazenados no CR10X. No intervalo de até quinze dias são coletados e transportados, por meio do "Storage Module" (Figura 13, página 31) para o

microcomputador, descrito anteriormente. Para a efetivação desse processo, são utilizados:

- 01 filtro e conector (SR532A), Figura 13;
- 02 conectores com alimentador para conexão entre o microcomputador e os módulos de armazenamento e transporte de dados coletados (storage module), com cabo tipo 25/9 pinos, Figura 13;
- 01 software - PC208W, para programação e comunicação com o CR10X, instalado no microcomputador. Os dados coletados são copiados para o Software Excel.

Em gabinete são adquiridos, através da Internet, imagens infravermelho de satélite - dos satélites GOES e METEOSAT. Além das cartas sinóticas à superfície, as imagens são adquiridas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e no site do Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil, respectivamente.

Essas imagens são utilizadas para observar o deslocamento dos anticiclones (massa de ar polar) sobre a América do Sul. A análise das imagens e do comportamento dos elementos do clima, obtidos na estação meteorológica (CR10X), instalada no quintal de uma das casas monitoradas, contribuem para a definição dos episódios climáticos.

FIGURA 13 - Equipamento utilizado para o transporte, armazenamento e transferência de dados do CR10X para o micro computador. O equipamento, "storage module", possui capacidade de armazenar e transportar dados coletados em intervalo de tempo de até 15 dias.

5.2 Métodos e técnicas

A metodologia utilizada para atingir os objetivos dessa investigação é composta por duas técnicas bem definidas:

a) a principal proposta é de Vecchia (1997), aperfeiçoada para aplicação, no ambiente construído, a partir da idéias de Monteiro (1969, 1971 e 1973).

Monteiro, em várias publicações (1969, 1971 e 1973), aborda os estudos do clima através da análise dinâmica, já descrita no item 3.3, e se baseia na sucessão habitual dos tipos de tempo e na análise rítmica. A partir destes conceitos, Vecchia (1997) definiu episódios específicos aplicados à análise de conforto humano. Em sua abordagem, este autor analisa o conforto no ambiente construído, em períodos que correspondem aos eventos climáticos, analisando os elementos do clima (temperatura, umidade relativa, ventos, etc) junto aos mecanismos de circulação atmosférica, vinculados aos mecanismos de massas de ar atuantes na região, ao longo do período analisado.

Para esta investigação a definição dos episódios foi realizada conforme descrito abaixo:

As coletas se realizaram desde outubro 2000 até junho de 2001. Nesse conjunto de dados coletados foram escolhidos dois episódios climáticos:

1º - No período de primavera/verão foi escolhido um episódio climático, intervalo dos dias 12 a 15 de outubro de 2000. Nessa ocasião, a atmosfera local estava sob o domínio de massa de ar Tropical Atlântica (mTA). A situação verificada foi a de temperaturas elevadas, com baixa amplitude térmica diária e reduzida umidade relativa do ar.

2º - Na situação de outono/inverno, intervalo dos dias 14 a 20 de maio de 2001, a atmosfera local recebeu a passagem de uma frente fria que trouxe em sua retaguarda a massa de ar Polar Atlântica (mPA), a situação verificada foi de temperatura mais amena e com amplitude térmica elevada, considerando as fases pré-frontal e pós-frontal, no período analisado, e também considerando a amplitude térmica diária.

Nessas condições descritas, foi analisado o comportamento entre as temperaturas máximas e mínimas interiores, aplicando-se a fórmula experimental

"Predicting Indoor Air Temperature Formula". Os resultados da simulação foram comparados com as temperaturas registradas no interior das casas.

b) a segunda técnica aplicada e avaliada, diz respeito ao estudo da fórmula experimental "Predicting Indoor Air Temperature Formula", Givoni (1999). O modelo experimental de Givoni está sendo avaliado sob distintas condições atmosféricas, em casas ocupadas, conforme descrito anteriormente.

Essa fórmula se aplica à previsão das temperaturas mínimas, médias e máximas no interior das casas monitoradas. Nesta investigação, está-se aplicando a fórmula para a previsão das temperaturas máximas e mínimas, por entender que são elas que oferecem suporte à previsão do desempenho térmico de edifícios.

5.3 Descrição da fórmula experimental: "Predicting Indoor Air Temperature Formula"

A fórmula experimental começou a ser testada em protótipos em Pala, cidade próxima a San Diego, Califórnia. Segundo Givoni (1999), o objetivo inicial da pesquisa foi o de testar alternativas para diminuir o uso do condicionador de ar com base eletro-mecânica. Dessa forma, o autor começou a estudar a temperatura interior máxima esperada, correlacionando-a com as condições climáticas ao ar livre, na estação de verão.

Segundo Givoni (1999), a primeira fórmula desenvolvida considera apenas a média das temperaturas externas para previsão das temperaturas internas. Uma segunda fórmula foi elaborada, levando-se em consideração o efeito das mudanças diárias na radiação solar incidente. O desenvolvimento das fórmulas, usando vários parâmetros climáticos, foi avaliado através da correlação linear entre esses parâmetros.

No mesmo artigo o autor completa que para se chegar à fórmula inicial, no estudo da previsão das temperaturas internas máximas, é preciso considerar os seguintes fatores experimentais:

- ✓ o parâmetro climático que melhor se correlaciona com a temperatura máxima interior é a temperatura externa média;

- ✓ *em condições de tempo estáveis, quando a média ao ar livre é quase constante, a elevação da temperatura máxima em recintos fechados sobre a temperatura média exterior depende da configuração do edifício: de sua massa térmica, das condições de sombreamento das janelas, da cor do edifício e, também, das condições de ventilação. A elevação da temperatura máxima comum (constante) está designada na fórmula de previsão de temperaturas internas como DelT;*
- ✓ *em condições de clima dinâmico, quando ocorre alteração (aumento e ou diminuição) nas temperaturas, a temperatura máxima interior (recinto fechado), em edifícios de massa alta, sofre mudanças a uma taxa de aproximadamente metade da amplitude térmica diária. A taxa da mudança em edifícios de massa baixa a temperatura máxima está próxima da média ao ar livre. Essa taxa relativa de mudança é designada na fórmula de previsão das temperaturas internas como K.*

Com estas variáveis, o autor estrutura a primeira equação experimental, conforme segue:

$$T \text{ indoor máx} = GT_{avg} + DelT + K1 * (T_{avg} - GT_{avg})$$

Acrescentando a taxa de radiação solar diária, tem-se uma segunda fórmula:

$$T \text{ indoor máx} = GT_{avg} + DelT + K1 * (T_{avg} - GT_{avg}) + K2 * Solar,$$

Onde:

T indoor max - temperatura máxima interna (°C);

GTavg - "grande média", média principal das temperaturas externas, analisadas no período de estudo (evento climático);

Tavg - médias das temperaturas externas em um dia, °C.;

DelT - Elevação da média da temperatura interna máxima abaixo da temperatura externa média, representando um fator de ganho solar da configuração do edifício;

K1 - relação das mudanças diárias da temperatura máxima interior e a taxa diária de mudança da temperatura média externa. Esta variável relaciona-se com a massa térmica efetiva do edifício em estudo;

K2 - expressa uma constante que relaciona os efeitos de mudanças diárias na radiação;

Solar - radiação solar global, total diária, em W/m^2 ;

As variáveis DelT e K representam as características térmicas do edifício: resistência térmica, massa, sombreamento, cor externa e a taxa de ventilação noturna, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Valores experimentais para as variáveis do edifício K e DelT

K		
Massa térmica leve	massa térmica pesada	
0,8	0,5	
DelT		
Variáveis	massa térmica leve	massa térmica pesada
Janelas sem ventilação; sem ventilação noturna.	22	14
Janelas com dispositivo de proteção; sem ventilação noturna	18	11
Janelas com dispositivos de proteção; com ventilação noturna de pequena velocidade	16	6
Janelas com dispositivos de proteção; com ventilação noturna de alta velocidade	14	4
Massa térmica elevada; pintura externa branca e ventilação natural (estudo em Israel).	0,5	1

Fonte: Givoni (1999).

De acordo com Givoni (1999), as fórmulas mais simples proporcionaram boas respostas para previsão das temperaturas internas. Estas fórmulas incluem os parâmetros DelT, que consiste na elevação comum da temperatura máxima em ambiente fechado sobre a média da temperatura externa e K1, que consiste na relação das taxas de mudanças diárias da temperatura máxima em ambiente fechado para temperatura média externa.

A constante DelT determina o quanto pode ser mudado com um ganho constante de radiação solar, com uma configuração específica do edifício, por

exemplo, cor do edifício. Da mesma forma, a variável pode ser afetada pela massa térmica e pelo padrão de ventilação. Na previsão das temperaturas máximas em protótipos fechados, o autor acrescenta que, um único valor de ΔT foi suficiente para a simulação, mesmo durante estações diferentes. Os valores de ΔT devem ficar menor, conforme Tabela 2, com uma maior resistência térmica.

A constante K1 é principalmente fruto do efeito da massa térmica do edifício. Seu valor mostra-se quase que independente das condições de sombreamento, cor externa e ventilação. Conforme descrito na Tabela 2, para edifícios com massas altas seu valor foi 0,5 e para edifícios de massa baixa o valor é 0,8 (GIVONI, 1999).

A fórmula inicial deu origem uma série de outras fórmulas para previsão das temperaturas máximas, médias e mínimas. Algumas considerando a radiação solar, outras apenas as médias das temperaturas externas. Para aplicação e análise, optamos por usar duas fórmulas simplificadas para previsão das temperaturas máximas e mínimas, conforme segue.

Para a previsão das temperaturas máximas, usamos a fórmula:

$$T_{\text{indoor máx}} = GT_{\text{avg}} + (0,0098 * \text{Rad. solar máx.}) + 1,2 * (T_{\text{avg}} - GT_{\text{avg}}) + 3,5$$

Onde:

T indoor máx = temperatura interna máxima (°C);

GTavg = média das temperaturas externas do período analisado (episódio), ou grande média;

Rad. Solar máx = radiação solar global, máxima diária;

Tavg = média das temperaturas externas no dia;

1,2 * (Tavg - GTavg) = significa que a taxa diária de mudança é, no máximo, em recinto fechado, 1,2 vezes as mudanças diárias na média ao ar livre.

Para a previsão das temperaturas mínimas usamos a fórmula:

$$T_{\text{indoor mín}} = T_{\text{avg}} - 0,5265 \cdot (T_{\text{avg}} - T_{\text{mín}}) + 2,7$$

Onde:

T indoor mín = temperatura interna mínima (°C);

Tavg = média das temperaturas externas no dia;

Tmín = temperatura externa mínima;

0,5265 e 2,7 = Significam que o mínimo, em recinto fechado iguala, a média ao ar livre, menos 0,5265 vezes a diferença entre a média ao ar livre e o mínimo, mais 2,7, valores obtidos a partir da análise dos dados.

Estas duas últimas fórmulas, usadas para a previsão das temperaturas máximas e mínimas, e que foram aplicadas neste trabalho, foram testadas por Givoni e Vecchia (2001), os autores trabalharam nas fórmulas quando o professor Givoni esteve visitando São Carlos e Descalvado.

Os trabalhos desenvolvidos durante e após a visita técnica do professor Givoni, utilizando os dados coletados em Descalvado, foram remetidos ao Congresso Internacional de Arquitetura (PLEA 2001), realizado em Florianópolis - Santa Catarina. Os artigos foram aceitos e referendados pelo comitê científico do congresso.

VI RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fórmula proposta pelo professor Givoni se mostrou eficaz em simulação para protótipos instalados em Pala - Califórnia/EUA, (GIVONI, 1999).

De acordo com Givoni e Vecchia (2001), a aplicação da fórmula para residências ocupadas começa a apresentar resultados satisfatórios. No artigo que os autores apresentaram no PLEA- 2001, a fórmula foi aplicada para a simulação das temperaturas internas em diferentes períodos dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2000. A escolha dos períodos ocorreu de forma aleatória, sem considerar as condições atmosféricas para o momento.

Os autores, Givoni e Vecchia (2001), destacam a importância de se considerar o padrão normal de uso de cada família, sendo preciso também considerar as diferenças entre as condições climáticas da região onde foi proposta a fórmula e as condições climáticas da região de Descalvado - SP, onde está sendo aplicada.

Para testar e analisar os resultados obtidos com as fórmulas experimentais, estas foram aplicadas em duas condições atmosféricas distintas, para casas ocupadas, considerando o padrão "normal" de uso de cada família.

A aplicação da fórmula foi feita em dois episódios climáticos previamente definidos: o primeiro ocorreu entre os dias 12 e 15 de outubro de 2000, e o segundo ocorreu entre 14 e 20 de maio de 2001. Esses episódios, previamente escolhidos, procuram representar duas condições atmosféricas distintas: o primeiro apresenta a simulação da fórmula para temperaturas elevadas, e o segundo para temperaturas mais baixas, quando as incursões das massas de ar polar se fazem proeminentes.

Na análise foram usadas observações sensíveis do tempo atmosférico, anotadas na época dos eventos. Principalmente para o segundo episódio, o critério era descrever as condições da atmosfera no decorrer do dia.

6.1 Análise do episódio climático de 12 a 15 de outubro de 2000

Conforme já descrito no item 3.3.1, episódios climáticos consistem em intervalos de alguns dias em que é possível observar visualmente e através dos registros dos principais elementos do clima, como: variações de temperatura do ar, umidade atmosférica, pressão atmosférica e em algumas ocasiões precipitações, que se alternam em relação ao "comportamento habitual da atmosfera". Essas variações, na região estudada, ocorrem quase sempre com a passagem de massas de ar e frentes, sendo que, na maioria das vezes, essas massas de ar e frentes são de origem polar.

O primeiro episódio climático analisado compreende o intervalo entre os dias 12 e 15 de outubro de 2000, este episódio já foi discutido em outra pesquisa, intitulada: "Estudos Climáticos e Ambiente Construído no Município de Descalvado – SP", apresentada como dissertação de mestrado junto ao programa de pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental - USP por Silva (2001). O mesmo episódio foi analisado e publicado em alguns artigos.

Silva (2001) usou este período para análise de conforto térmico das mesmas casas dessa investigação em Descalvado, este período registrou as temperaturas mais altas dos últimos anos na região, sendo importante analisar o comportamento térmico diante do "stress" de calor.

Vecchia et al (2001) analisaram o comportamento térmico das casas populares durante 5 períodos no ano de 2000, nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro. No mês de outubro, os autores consideraram uma sequência de dados mais ampla que a estudada nesta investigação, estendendo-se do dia 09 ao dia 18 de outubro⁸.

Em outro artigo publicado também no PLEA 2001, Givoni e Vecchia (2001) simularam os valores das temperaturas internas para as casas populares, ocupadas, de Descalvado. Os autores analisaram o mesmo período utilizado no presente estudo, onde também se considerou o comportamento térmico de duas casas monitoradas em Descalvado. A aplicação da fórmula experimental "Predicting Indoor Air Temperature" se mostrou eficaz naquelas condições, apresentando boa correlação

⁸ Artigo publicado no PLEA 2001 (18th Internacional Conference on Passive and Low Energy Architecture), realizado em Florianópolis, Santa Catarina.

entre as temperaturas registradas e as simuladas, tanto para as temperaturas médias, quanto para as temperaturas máximas e mínimas diárias.

Por uma questão de padronização e entendimento não foram utilizados os gráficos que os autores publicaram, mas novos gráficos foram confeccionados especialmente para a análise desse episódio em tela.

O fato que caracteriza esse episódio climático é a atuação da massa Tropical Atlântica, mTA, sobre a região Sudeste do Brasil, barrando a passagem, sobre a região, das frentes frias que têm em suas retaguardas a massa Polar Atlântica, mPA. Este fenômeno é um dos fatores que caracterizam o clima no estado de São Paulo, conforme descrito por Monteiro (1973). Ocorre em alguns momentos durante o inverno, ou na transição do outono/inverno e inverno/primavera e os meteorologistas costumam denominar de veranico, ou seja, um acentuado aumento da temperatura em épocas de tendência de temperaturas menos elevada.

O período analisado não se trata de uma época de inverno e sim transicional, inverno-verão, mas a atuação da massa de ar polar, em contato com a massa de ar Tropical Atlântica, provoca uma situação em que ocorre o aumento das temperaturas, como observado no dia 15/10, quando foram registradas as mais altas temperaturas na região para os últimos anos, sendo que as temperaturas em Descalvado chegaram a atingir 37°C. A Figura 14 mostra as imagens de satélite no momento do prenúncio e do avanço da massa de ar polar sobre a região. Na Figura 15, página 41, tem-se o registro das temperaturas e umidade relativa do ar para o episódio analisado.

FIGURA 14 - Imagens do Satélite GOES - CPTEC/INPE, dos dias 12/10 - 21h, fase de prenúncio da massa de ar, e dia 13/10 - 9h, fase de avanço da massa de ar polar sobre a região Sudeste.

As temperaturas registradas no dia 12 de outubro de 2000 ainda não estavam elevadas, como no dias subseqüentes, mas a amplitude térmica verificada foi menor, conforme mostra a Figura 15. Após às 21h e durante as primeiras horas do dia 13/10, período que se considera como a fase de prenúncio da massa de ar polar, as temperaturas não apresentaram uma maior diminuição. No decorrer do dia 13/10 as temperaturas começaram a se elevar e a umidade relativa do ar a diminuir, caracterizando o prenúncio/avanço da massa de ar sobre a região. Da mesma forma, os índices de radiação solar, neste dia, foram os mais baixos do período, condição explicada pelo aumento da nebulosidade sobre a região, Figura 16.

FIGURA 15 - Evolução das temperaturas e umidade relativa do ar no período estudado, observa-se um aumento da temperatura a partir do dia 13, chegando a registros acima de 35°C, enquanto ocorre uma diminuição das taxas de umidade relativa do ar.

FIGURA 16 - Mostra o desenvolvimento da linha de radiação solar, observa os menores índices no dia 12/10 e nos demais dias os valores estiveram equilibradas, com algumas quedas, como no dia 14/10, quando a linha sai do padrão habitual.

No dia 14/10, as temperaturas continuaram em elevação, conforme mostra a Figura 15. Nessa condição, a massa de ar Polar Atlântica - mPA não conseguiu avançar sobre a região Sudeste do Brasil, sendo barrada pela massa de ar quente e seca, estacionada sobre essa região. As Figuras 17 e 18, mostram a evolução da massa polar no dia 13/10, em dois horários distintos. No dia 14/10, observa-se que essa massa de ar começa a se desviar para o Oceano Atlântico.

FIGURA 17 - Imagens do Satélite GOES - CPTEC/INPE, nos dias 13/10 das 15 e 21 horas, fase de avanço da mPA. Observa-se que, apesar de ter aumentado a nebulosidade, sobre todo o Brasil, a massa de ar polar não consegue avançar sobre a região Sudeste do Brasil, tendendo a desviar-se para o Oceano Atlântico.

FIGURA 18 - Imagens dos satélites MET-7 e GOES, CPTEC/INPE, no dia 14/10 das 12 e 18 horas, respectivamente. Às 12 horas é possível observar uma nebulosidade acentuada do sul a oeste do estado São Paulo. Na imagem das 18 horas observa-se que a nebulosidade já havia diminuído.

Segundo as observações sensíveis do tempo (anotações de campo), no dia 14/10 ocorreram chuvas fracas na cidade de São Paulo, acompanhado de queda de temperatura do ar. Esta observação se relaciona com o que se refere a Figura 18, presença de nebulosidade acentuada sobre uma faixa do estado de São Paulo. Na região de Descalvado, não ocorreu aumento da nebulosidade conforme evidenciam as Figuras 16 e 18. Ao contrário, nesse dia foram registradas as maiores temperaturas dos últimos 10 anos, conforme descrito por Silva (2001)⁹ O mesmo autor descreve que nesse especial episódio não houve fase de domínio da massa polar - mPA, mas da massa Tropical Atlântica - mTA, na região de Descalvado, continuou predominando, portanto, temperaturas elevadas e ar predominantemente seco.

No dia 15/10, conforme Figura 19, as imagens não mostram a presença da massa de ar polar sobre a região. As temperaturas continuaram elevadas, chegando ao nível mais alto dos últimos 10 anos na região (37,2 °C). A radiação solar continuou com sua intensidade habitual, o que evidencia a ausência de nebulosidade, caracterizando uma condição de atmosfera estável.

FIGURA 19 - Imagens do Satélite GOES, CPTEC/INPE, no dia 15/10 a 00 e 09 horas, respectivamente, observa-se o desvio da massa de ar polar para o oceano, na imagem das 09 horas a nebulosidade é menor em relação ao registrado na imagem da 00 hora.

⁹ Silva (2001), descreve que ocorreu, durante os dias 14 e 15/10, elevação dos registros de temperatura do ar exterior, devido à presença da massa Tropical Atlântica e o conseqüente aumento da radiação solar global.

6.1.1 Aplicação da fórmula experimental para a previsão dos valores da temperatura interna do ar

Nesse item tem-se a aplicação da fórmula experimental para a previsão dos valores da temperatura interna do ar (Predicting Indoor Air Temperature Formula).

O episódio descrito anteriormente, de 12 a 15 de outubro de 2000, retrata condições atmosféricas diferenciadas em relação ao padrão normal, ou seja, registros de temperaturas que não são comuns à época analisada para a região Descalvado e, devido a estas condições peculiares de temperatura e umidade do ar, o mesmo foi escolhido para a aplicação da fórmula experimental proposta por Givoni (1999).

A Figura 20 registra a evolução das temperaturas no interior das casas ocupadas, em estudo ao longo do episódio de 12 a 15/10, relacionando-as com as temperaturas externas do ar. Considerando que as duas casas mantêm o mesmo padrão de comportamento térmico¹⁰, nas condições atmosféricas analisadas, as temperaturas internas tomadas serão apresentadas na forma de médias de 1/2 em 1/2 hora entre as duas casas para a comparação com os valores simulados.

FIGURA 20 - Relação entre as temperaturas do ar externas registradas e as temperaturas medidas no interior das duas casas monitoradas, período de 12 a 15/10/2000. Nota-se que as temperaturas internas das duas casas seguem a mesma tendência de oscilação ao longo do tempo.

¹⁰ Padrão de comportamento térmico significa que os valores registrados experimentalmente, ao longo do episódio escolhido, mantiveram-se com magnitudes semelhantes, em resposta aos valores registrados para a temperatura externa do ar.

Segundo Silva (2001), as casas estudadas em Descalvado apresentaram boa resposta térmica em relação às oscilações do clima exterior, apesar dos valores da temperatura externa, nos dias de análise, se apresentarem acima dos 35°C. Apenas em alguns momentos a temperatura interna do ar ultrapassou o limite superior de conforto térmico de 29°C, conforme proposto por Givoni (1992)¹¹.

6.1.1.1 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas máximas

A simulação aplicada por Givoni e Vecchia (2001) para as duas casas ocupadas, em um intervalo mais longo de dias, 09 a 18/10/2001, resultou em boas respostas na previsão das temperaturas internas máximas, conforme publicado no *refereed paper* no PLEA 2001 (18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), realizado em Florianópolis, Santa Catarina.

A simulação efetuada para as temperaturas do ar, interna máxima, foi utilizada a fórmula experimental, descrita a seguir, e conforme apresentado na página 36, item 5.3, métodos e técnicas.

$$T_{\text{int. máx.}} = GT_{\text{média}} + (0,0098 * \text{rad. solar máx.}) + 1,2 * (T_{\text{ext. méd.}} - GT_{\text{média}}) + 3,5$$

A Figura 21, página 46, mostra a simulação para as temperaturas internas máximas, comparando-as com as temperaturas máximas registradas no interior das casas durante o episódio. Apesar da restrição de se aplicar o estudo a apenas quatro dias de análise é importante considerar que, nesse período, foram registradas as temperaturas mais altas dos últimos 10 anos, conforme Silva (2001) e Vecchia et al. (2001).

As curvas das temperaturas simuladas e as curvas de temperaturas registradas ficaram quase que sobrepostas. A exceção ocorreu no início do dia 12/10, quando as temperaturas simuladas ultrapassaram em 1,6 °C, as temperaturas registradas para o mesmo período. Nos demais dias as temperaturas simuladas ficaram, em média, 0,5°C acima das temperaturas registradas.

A fórmula aplicada levou em consideração, basicamente, as temperaturas externas médias (médias diárias) e a radiação solar global. Os valores encontrados na

¹¹ Segundo Givoni (1992), os limites apropriados de conforto para países de clima quente estão entre 18°C, limite mínimo e, 29°C, máximo de temperatura e umidade relativa do ar entre 20%, limite

simulação quando comparados aos valores reais definem a precisão da fórmula. Deve-se ainda considerar as condições climáticas da região e o padrão de utilização das casas analisadas. O fato das mesmas estarem ocupadas, e como o uso habitual das famílias lhes confere uma dinâmica de uso própria, isto pode interferir nos resultados.

FIGURA 21 - Temperaturas do ar, internas máximas simuladas, e registro das temperaturas máximas, das casas ocupadas em Descalvado, no período de 12 a 15 de outubro de 2001. No período analisado, apenas no dia 12/10 as temperaturas monitoradas apresentaram valores inferiores aos da simulação.

Outro fato importante é observar que as temperaturas máximas simuladas se mantiveram sempre acima dos valores de temperaturas máximas registradas no interior das casas. Esta condição se apresenta como uma margem de garantia para a simulação das temperaturas máximas.

6.1.1.2 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas mínimas

Para a simulação das temperaturas internas mínimas foi usada a fórmula experimental, a seguir, conforme já descrito no item 5.2, métodos e técnicas.

$$T_{\text{indoor mín}} = T_{\text{avg}} - 0,5265 \cdot (T_{\text{avg}} - T_{\text{mín}}) + 2,7$$

O episódio climático para o qual a simulação foi aplicada, como já descrito, consiste de uma incursão parcial da massa de ar polar sobre a região. O choque com a massa de ar Tropical Atlântica não permitiu o avanço da massa polar, mas provocou o aumento de temperaturas na região, até a estabilização, quando predominou o ar quente e seco da massa de ar Tropical Atlântica.

Diante do exposto e da Figura 21, o fator mais importante para a análise neste episódio são as temperaturas máximas no interior das casas monitoradas, já que as mínimas ficaram acima dos 17°C. Dessa forma, para análise do conforto térmico, para essa condições de tempo, a preocupação maior é baixar as temperaturas que em alguns horários apresentaram valores acima dos 35°C.

Na Figura 22 tem-se a simulação das temperaturas mínimas para o episódio descrito.

FIGURA 22 - Simulação das temperaturas mínimas internas e mínimas registradas no interior das casas em estudo. A curva das temperaturas simuladas ficou muito próxima das registradas, sendo que, na fase de prenúncio do episódio, inserção da massa de ar polar, as temperaturas simuladas ficaram cerca de 1°C acima das registradas.

A simulação das temperaturas mínimas mais uma vez mostrou a eficácia da fórmula experimental, considerando que para as condições atmosféricas descritas acima, existia uma maior preocupação com a simulação das temperaturas máximas.

Apesar de nesta pesquisa não estarem sendo discutidos os fatores do projeto que influenciam na temperatura interna, é preciso afirmar, mais uma vez, que a fórmula experimental para a simulação das temperaturas mínimas foi eficaz, pois as

as casas em estudo não apresentam dispositivos para resfriamento, como sombreamento, pintura branca das paredes e boas aberturas para estimular a ventilação.

6.2 Análise do episódio climático de 14 a 20 de maio de 2001

O segundo evento escolhido para a aplicação da fórmula experimental abrange o período que vai de 14 a 20 de maio de 2001. Neste período foi registrado a entrada de uma massa de ar de origem polar no sul do Brasil e que avançou para a região Sudeste, provocando mudanças nas condições de tempo. Apesar da definição destes 7 dias para a análise, no dia 11/05 uma outra massa de ar, de origem polar, provocou chuvas e queda de temperatura na região.

No dia 11/05 se registrou forte nebulosidade, no final da tarde ocorreram chuvas na região. Já no dia 12/05, segundo as observações sensíveis do tempo (anotações de campo), a temperatura esteve em rápida elevação, com formação de muitas nuvens durante à tarde. Neste dia, ocorreram precipitações nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. Durante a noite, a chuva chegou ao estado de São Paulo e a temperatura sofreu uma acentuada queda. No amanhecer do dia 13/05, uma forte nebulosidade cobria a região. Ocorreram precipitações e a temperatura estava baixa, mas, ao longo do dia, o tempo se estabilizou, apresentando céu claro e temperaturas baixas, condições típicas de inverno.

A descrição acima retrata a passagem da massa Polar Atlântica, mPA, sobre o estado de São Paulo, fato que pode ser observado na análise das imagens de satélite do período e também pela análise de algumas variáveis registradas na estação automática de Descalvado. Esses dados e resultados não serão apresentados devido ao fato de que na sequência ocorreu a passagem de uma outra massa de ar polar com maior intensidade. O pequeno intervalo entre passagem da primeira massa polar para esta segunda pode ter contribuído para maior intensidade de atuação deste segundo episódio.

As observações sensíveis anotadas registram estabilidade no amanhecer do dia 14/05, sendo que as temperaturas estavam bastante baixas, aumentando ao longo do dia, voltando a esfriar à noite. O tempo estável, sem nenhuma nebulosidade, são condições típicas registradas após a passagem da massa de ar Polar Atlântica. A Figura 23 registra a temperatura e a umidade do ar para o período estudado. Observa-se que no dia 14/05 as curvas da temperatura e umidade têm oscilação habitual: elevação da temperatura durante o dia e queda da umidade, invertendo as curvas, durante a noite, queda da temperatura e elevação da umidade.

FIGURA 23 - Mostra a relação entre a temperatura e umidade do ar (externa). Observa-se que, a partir do dia 15/5, ocorre uma queda acentuada da temperatura, enquanto a umidade do ar atinge valores máximos, caracterizando o período avanço/domínio da frente. No dia 18/05, as temperaturas continuam baixas, enquanto a umidade volta a sua curva habitual, caracterizando a fase de transição do episódio climático.

No dia 15/05, a temperatura continuou em elevação durante o dia, segundo nossas anotações. No início da noite, ocorreu uma fraca precipitação, com temperatura estável. Esta elevação da temperatura, durante o dia, junto com a fraca precipitação, caracteriza a presença da massa Polar Atlântica, mPA, fase de prenúncio e avanço, conforme registrado nas imagens de satélite, Figura 24, página 50.

No decorrer do dia 16/5, a temperatura teve uma acentuada queda, conforme Figura 23. Foram registradas em nossas anotações chuvas fracas durante todo o dia, com intervalos de precipitações mais intensas, principalmente entre 10h e 11h30. A chuva continuou durante a noite, com as temperaturas em declínio. Neste dia, as imagens de satélite mostram uma densa camada de nuvens sobre o estado de São

Paulo, Figura 25. Relacionando este fator, forte nebulosidade, com as precipitações e a radiação solar, que atingiu os níveis mais baixos do período, conforme se pode observar na Figura 26, página 51, constata-se a fase de avanço/domínio da massa polar.

FIGURA 24 - Imagens do Satélite GOES, do dia 15/5, 12 e 18 horas, respectivamente, fase de prenúncio e avanço da massa Polar Atlântica - mPA, sobre a região Sudeste do Brasil

FIGURA 25 - Imagens do Satélite GOES, do dia 16/5, 06 e 21 horas, respectivamente, fase de domínio da massa Polar Atlântica - mPA, sobre a região Sudeste do Brasil.

No dia 17/05 a chuva fraca continuou, mas, por volta das 14 horas, a precipitação cessou, o céu ficou claro e o frio se intensificou. Condição típica da fase domínio/transição.

No dia 18/05 foram registradas as temperaturas mais baixas do período, próximas de 5 °C, Figura 23. A massa polar continuou avançando pela região Sudeste do Brasil. No dia 19/05, registrou-se baixas temperaturas durante a

madrugada, e esta condição prevaleceu no dia 20, mas com um aumento gradativo das temperaturas.

O gráfico de radiação solar, Figura 26, contribui para a interpretação do episódio climático estudado. As anotações de campo, que apontaram chuvas e baixas temperaturas, são confirmadas pelos baixos níveis de radiação nos dias 16 e 17/05 e pelos valores da umidade relativa do ar, 100%, apresentados na Figura 23. No mesmo dia 17/05, já é possível ver um aumento significativo da radiação, fato confirmado em nossas anotações, que registram a estabilização das condições atmosféricas, a partir das 14h.

FIGURA 26 - Caracteriza o desenvolvimento da linha de radiação solar. Observa-se que nos dias 16 e 17/5 a curva de radiação mostra seus índices mais baixos. É o momento da entrada da massa de ar na região, provocando inclusive chuvas.

As imagens de satélite do dia 17/05, Figura 27, registram o avanço da massa de ar polar sobre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Na imagem das 3h ainda observam-se nuvens ao norte do estado de São Paulo.

FIGURA 27 - Imagens do Satélite GOES, do dia 17/5, 03 e 18 horas, respectivamente, fase de transição da massa de ar sobre o sudeste do Brasil

No dia 17/05, registra-se uma inversão das curvas habituais da temperatura e de umidade relativa do ar, conforme apresentado na Figura 28. A umidade chega ao 100%, caracterizando as precipitações que ocorreram neste dia, e as temperaturas nos níveis esperados para o inverno, lembrando que o período corresponde ao final de outono. No dia 18/05, o gráfico, Figura 28, apresenta a continuidade habitual das curvas de temperatura e umidade relativa do ar, registrando uma leve ascensão da temperatura.

FIGURA 28 - Relação entre a temperatura e umidade relativa do ar para os dias 17 e 18/5. Evidencia-se a diminuição acentuada da temperatura, abaixo dos 7° C, e a inversão da curva habitual em relação à umidade relativa do ar, que apresentou valores máximos no início do dia 17/05.

6.2.1 Aplicação da fórmula experimental para a previsão dos valores da temperatura interna do ar

O episódio descrito acima foi escolhido para a aplicação da fórmula de previsão de temperaturas internas devido às condições atmosféricas peculiares, frio aliado a umidade. A equação apresentou-se bastante eficaz para simulação de temperaturas máximas, conforme descrito na análise do episódio em condições de verão.

A Figura 29, página 53, registra a evolução das temperaturas no interior das casas em estudo ao longo do episódio, de 14 a 20 de maio de 2001, relacionando a estas, os valores da temperatura externa. Como na análise do episódio de primavera/verão (12 a 15 de outubro), as duas casas mantêm o mesmo nível de

temperatura nas condições atmosféricas analisadas. Desta forma, vamos apresentar as temperaturas internas medidas como uma média entre as duas casas.

FIGURA 29 - Relação entre as temperaturas do ar externas registradas e as temperaturas registradas no interior das duas casas monitoradas, período de 14 a 20/5. Nota-se que as temperaturas internas das duas casas seguem uma tendência, predominando em alguns momentos temperaturas mais elevadas para a casa 2. Outro fato é que a curva das temperaturas externas segue o mesmo padrão das temperaturas internas.

6.2.1.1 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas máximas

Para a simulação das temperaturas internas máximas foi usada a fórmula experimental:

$$T_{\text{indoor máx}} = GT_{\text{avg}} + (0,0098 * \text{Rad. solar máx.}) + 1,2 * (T_{\text{avg}} - GT_{\text{avg}}) + 3,5$$

conforme já descrito no item 5.3 deste trabalho (métodos e técnicas). A aplicação aleatória da fórmula, ou seja, em períodos sem uma análise prévia, ou que não corresponda a episódios climáticos previamente definidos, e que por sua vez possa apresentar temperaturas mais baixas ou mais altas durante o decorrer de um ano, para as mesmas casas em Descalvado, se mostrou eficaz, conforme *refereed paper* de Givoni e Vecchia (2001), publicado no PLEA 2001. No artigo, os autores mostram a eficiência da fórmula aplicada em alguns dias dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro.

A simulação pareceu ser mais eficiente para o trato com as temperaturas máximas, conforme apresentado na Figura 30, a seguir.

FIGURA 30 - Simulação das temperaturas máximas em recinto fechado para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2001 (GIVONI e VECCHIA, 2001).

Relembramos que a simulação foi aplicada em um ambiente ocupado, com uso normal pelas famílias, conforme seus hábitos. É importante destacar esta consideração, já que há abertura de portas e janelas e /ou os hábitos dos ocupantes vão influenciar no comportamento térmico da casa, principalmente em relação à ventilação, que é um fator de resfriamento do edifício.

A simulação das temperaturas máximas para o período estudado (14 - 20/05) é apresentada na Figura 31, página 55. Em condições normais, com o tempo estável, ocorre uma melhor aproximação das curvas das temperaturas simuladas e registradas.

Para o episódio climático de frio, com a incursão de massa polar, em época de outono/inverno, a simulação das máximas parece não ser tão precisa, comparando com a precisão da simulação das máximas para o período primavera/verão. De qualquer forma, a simulação apresenta-se eficaz, já que as diferenças não ultrapassam 2°C. Considerando ainda a análise da simulação para o conforto térmico, a equação apresenta um bom resultado, já que em condições frias é preciso verificar o stress de frio, conforme vamos apresentar abaixo. As temperaturas máximas registradas no episódio climático estudado estão dentro dos limites propostos por Givoni entre 18 °C e 29°C (GIVONI, 1992).

FIGURA 31 - Simulação das temperaturas máximas internas e máximas registradas no interior das casas. Observa-se que no período de maior queda das temperaturas a curva das temperaturas simuladas não acompanhou de maneira uniforme a curva das temperaturas registradas.

6.2.1.2 Aplicação da fórmula experimental para as temperaturas mínimas.

Para a simulação das temperaturas internas mínimas foi usada a fórmula experimental, apresentada abaixo, conforme item 5.3, métodos e técnicas.

$$T_{\text{indoor mín}} = T_{\text{avg}} - 0,5265 \cdot (T_{\text{avg}} - T_{\text{mín}}) + 2,7$$

O período analisado, consistiu de um episódio climático que trouxe chuvas e baixas temperaturas para toda a região Sudeste do Brasil. Para estas condições de tempo, as simulações das temperaturas mínimas tornam-se mais interessantes, pois é justamente para as condições de frio que se necessita da previsão das mínimas, o mesmo ocorrendo com as máximas, quando se tem uma maior necessidade de previsão em épocas mais quentes.

A previsão das mínimas é apresentada na Figura 32, página 56. As temperaturas previstas ficaram quase sempre abaixo das temperaturas registradas no interior das duas casas, mas a exceção para esta tendência, ocorreu no dia de avanço da massa de ar (15/05), quando ocorre um aumento da temperatura. Nestas condições, a diferença entre o simulado e o medido ficou abaixo do 0,5°C. No final

do período analisado, quando a massa polar começa a se tropicalizar, as curvas de temperaturas medida e simulada apresentam uma diferença de $0,3^{\circ}\text{C}$, condição que também ocorre no início do período analisado, dia 14/05.

FIGURA 32 - Simulação das temperaturas mínimas internas e mínimas registradas no interior das casas. Observa-se que, assim como ocorre com as temperaturas máximas, no período de maior queda das temperaturas, a curva das temperaturas simuladas não acompanhou, de maneira uniforme, a curva das temperaturas registradas. A proximidade das curvas é maior nos períodos de avanço e transição/tropicalização da massa de ar.

No dias de domínio da massa Polar Atlântica, mPA, as temperaturas simuladas ficaram mais baixas que as temperaturas registradas, não ultrapassando a diferença de 2°C , com exceção do dia 18, onde a diferença chegou a $2,3^{\circ}\text{C}$.

Por fim, nas condições atmosféricas registradas, a simulação também apresenta um bom resultado já que o objetivo é a simulação das temperaturas mínimas registradas internamente, e, neste caso, a simulação teve uma diferença para baixo, mais frio. O importante, nesta situação, era registrar o máximo de "stress" frio que o edifício deveria apresentar.

VII CONCLUSÕES

A proposta inicial de aplicação da fórmula experimental "Predicting Indoor Air Temperature Formula", para casas ocupadas e com uso habitual das famílias residentes e em condições atmosféricas diferenciadas, episódios climáticos, foi concluída de forma satisfatória.

O trato com a simulação de temperaturas para o interior de edifícios é possível, mas se faz necessário novos testes em outras edificações, com outros padrões de projeto, e também para outras situações climáticas, para provar a eficácia da fórmula.

De qualquer forma, é possível analisar, no nível de escala climática, que as escalas regionais, representadas pelas incursões de massas de ar, mantém uma relação direta com os acontecimentos que ocorrem na escala microclimática, ou seja, no interior dos edifícios, quando essas variações do tempo atmosférico vão interferir no desempenho térmico dos mesmos.

Relacionado à climatologia regional, tem-se um outro fator: a simulação de temperaturas internas e/ou análise de conforto térmico pode ser feita com base na climatologia dinâmica, ou seja, procurando entender melhor a atuação dos mecanismos do tempo atmosférico sobre um lugar e suas conseqüências sobre os elementos do clima e, conseqüentemente, sobre a superfície. O uso desta metodologia pode ser mais eficaz que a análise do clima que é realizado em geral, o qual leva em consideração a determinação de médias mensais, anuais, ou dias típicos, dentro de um intervalo amostral (trimestral ou anual).

Quando se trabalha com os conceitos de ritmo climático e sucessão de tipos de tempo, por exemplo, é possível registrar e interpretar valores mais condizentes com a realidade dos aspectos de conforto térmico.

Conclui-se também que, com o uso da fórmula (Predicting Indoor Air Temperature Formula) existe a possibilidade de elaborar projetos de habitação popular mais adequados com a realidade climática de cada região do Brasil, considerando a grande extensão latitudinal do país.

Apesar da eficácia da fórmula "Predicting Indoor Air Temperature Formula" a mesma apresenta algumas limitações.

A equação, apesar de ter se apresentado eficiente para as casas ocupadas, em estudo, pode não apresentar bons resultados para outras tipologias de casas, pois necessitam de outras formulações para a relação entre temperatura externa do ar e temperatura interna.

Novas edificações, com um K diferente, precisam ser constantemente calibradas, pois qualquer mudança na massa térmica do edifício muda a equação e, conseqüentemente, o resultado da simulação.

Considerando que existem variadas tipologias de casas, conclui-se que há a necessidade de padronizar a fórmula. Diferentes projetos vão apresentar uma série de alternativas em relação à abertura de vidros, massa térmica, sombreamento, isolamento térmico, ou seja, K e ΔT diferenciados, que influenciam nos valores de temperatura interna.

7.1 Considerações finais

Apesar de ter sido usado o conceito de ritmo climático para a escolha dos intervalos de análise, buscando perceber as mudanças de tempo ao longo de um dia, na aplicação da fórmula, usa-se a média diária. O uso desta média se faz necessário devido aos parâmetros empregados na fórmula, como variação da radiação solar global, que varia de 0 a 800 W/m², ao longo das 24 horas.

O emprego da análise dinâmica contribui no sentido de escolher dias que registram condições de tempo diferentes de "padrão habitual", como as temperaturas acima de 37°C, registradas em outubro de 2000, ou, temperaturas abaixo do 5°C, registradas em maio de 2001. O emprego da fórmula de simulação permitiu uma boa correlação entre estes valores registrados e os valores previstos.

Em relação aos dados coletados na estação instalada no quintal de umas das casas é preciso considerar que:

- Os registros dos elementos do clima como, temperatura e umidade relativa do ar coletados, ficam restritas a aquele espaço, sendo questionável, por exemplo,

usar esses dados para interpretação fenômenos climáticos em outros bairros da própria área urbana de Descalvado;

- Os mesmos dados coletados e comparados foram usados para a aferição da fórmula. Em condições "normais", dificilmente se teria uma estação com essa proximidade do edifício. Neste caso, devemos refletir que, quanto mais distante estiver a estação em relação ao objeto de estudo, maiores serão os problemas com a aferição da fórmula e conseqüentemente com a qualidade dos resultados;

- Em relação à distância da estação meteorológica instalada nas casas pesquisadas, precisa-se, para comparação, buscar dados de uma outra estação, que esteja localizada dentro do raio admitido pela OMM, mas que não esteja dentro do próprio quintal das casas, e com estes dados deve-se aplicar a fórmula, verificando a proximidade dos resultados.

Estas indagações são importantes, já que, existe a possibilidade da influência de condições peculiares na área onde foram construídas as casas e instalada a estação meteorológica automática. Os registros podem sofrer influência de um fator local ou microclimático da área.

As dúvidas em relação à aplicação da fórmula e do entendimento mais profundo de algumas de suas variáveis fazem parte de uma próxima etapa de nossas pesquisas.

VIII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, E. N. (1997). Qualidade Ambiental Urbana. In ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2000, Salvador. *Anais...* Salvador, FAUFBA/LACAM - ANTAC.

ANUNCIAÇÃO, P. E. M. (1984). *Meteorologia para Agricultura*. Maringá: Gráfica Clichetec.

AVILA, A. M. H.; FERREIRA, N. J.; CALBETE, N. O.; RAD, V. B. (1994). Influência da Circulação Sub-Antártica na Ocorrência de um Episódio Frio na Região Sul do Brasil. In: BALBOA, R. A. M.; PEREIRA, E. B. *Ciências Espaciais e da Atmosfera na Antártica*. trabalhos do Simpósio de Serra Negra. São Paulo, Transtec Editorial. p.359-382.

BARBOSA, G. V.; RIBEIRO, C. M. (1985) Relevo e Ventos: Um estudo para locação de anemômetros. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, v.15, n.29 - 30, p.393-404. Número Especial.

CAMARGO, J. C. G.; TAVARES, A. C. (1985). A Influência da Cidade de Rio Claro na Temperatura e na Umidade do Ar. *Geografia*, Rio Claro, v.10, n.20, p. 149-168.

DEFFUNE, G. (1993). *O Estudo do Clima e do Tempo Atmosférico e o Planejamento Ambiental*. Maringá: UEM, n.16, p.47 (Série apontamentos).

GIVONI, B (1992). *Comfort, climate e analysis and building design guidelines*. Energy and building, v 18. July/92.

----- (1999). Minimum Climatic Information Needed to Predict Performance of Passive Buildings in Hot Climates. In: THE 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 17., 2000, Brisbane - Australia. *Anais...* Brisbane. p.197-202.

GIVONI, B.; VECCHIA, F. A. S. (2001). *Predicting Thermal Performance of Occupied Houses*. In: The 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001, Florianópolis - Brasil. *Anais...* Florianópolis. p.701-705.

LOBARDO, M. A. (1985). *Ilha de Calor nas Metrôpoles*. São Paulo: Hucitec.

MONTEIRO, C. A. de F. (1969). *A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil*, (contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo. (Série teses e monografia, 1).

----- (1971). *Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho*. São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo.

----- (1973). *A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo* (estudo geográfico sob a forma de atlas). São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo, USP - Instituto de Geografia.

MONTEIRO, C. A. de F. (1976). *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo. (Série teses e monografias, 25).

MORIZE, H. (1922). *Contribuição ao Estudo do Clima do Brasil*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio - Observatório Nacional.

NIMER, E. (1979). *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: FIBGE - Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN). (Série recursos naturais e meio ambiente, 4).

OLIVEIRA, H. H. (1995). *Proposta de criação e caracterização da Área de Proteção Ambiental de Descalvado - SP*. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo 1995.

PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. (2001). Relacionamento da temperatura interna e externa em edificações residenciais naturalmente ventiladas. In: VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro - São Paulo. *Anais...* São Pedro: ANTAC. 1 CD-ROM.

PITTON, S. E. C. (1997). *As Cidades como Indicadoras de Alterações Térmicas*. 225p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

RADAM BRASIL (1982). *Projeto Radam Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral, Folha SF.21 - Campo Grande: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, 5 mapas (levantamento dos recursos naturais, 28). 416 p.

RANIERI, V. E. L. (2000). *Discussão das Potencialidades e restrições do meio como subsídio para o zoneamento ambiental: o caso do município de Descalvado (SP)*. 87p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

REYNOLDS J. S.; STEIN, B. (1992). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. 8th ed. New York: John Wiley e Sons

RIBEIRO, A. G. (1993). As Escalas do Clima. *Boletim de Geografia Teorética (AGETEO)*, Rio Claro, v.23, n.45-46, p. 288-294.

RIBEIRO, C. M. (1985). Análise da Distribuição Temporal das Chuvas no Norte do Estado de Minas Gerais. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, v.23, n.45 - 46, p.362-371. Número especial.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. (1997). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: [s.n.].

RUAS, A. C.; LABAKI, L. C. (2001). Ventilação do Ambiente e Conforto Térmico. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro - São Paulo. *Anais...* São Pedro: ANTAC. 1 CD-ROM.

SANT'ANNA NETO, J. L. (1993). Dinâmica Atmosférica e Topologia das Chuvas na Zona Costeira Paulista. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, v.23, n.45-46, p.186-192. Número especial.

SASAKI, M. M.; BARBOSA, M. J.; SAKAMOTO, J.; MOURA, J. D. M.; ZEBALLOS ADACHI, A. (2001). O Efeito da Ventilação no Desempenho Térmico de um Protótipo de Unidade Habitacional de Blocos Cerâmicos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro - São Paulo. *Anais...* São Pedro: ANTAC. 1 CD-ROM.

SCHMID, A. L.; STANESCU, G.; DRUSZCS, M. T.; SILVA, S. (2001). Análise do Desempenho Térmico de um Edifício de Apartamentos Residenciais em Regiões de Temperatura Elevada: otimização do sistema de vedação. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro - São Paulo. *Anais...* São Pedro: ANTAC. 1 CD-ROM.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. (1942). *As Massas de Ar da América do Sul*. [S.l.]: Ministério da Agricultura - Serviço de Meteorologia.

SILVA, A. C.; BATTISTELLE, R. A.; G. CABRAL, N. R. A. J. (2000). Clima. In: ESPÍNDOLA, et al. *A bacia hidrográfica do Rio do Monjolinho*. São Carlos, SP.: Rima. p.60-76.

SILVA, A. C. (2001). *Estudos Climáticos e Ambiente Construído no Município de Descalvado - SP*. 92p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.

SOUZA, LÉA C. L. (1996). *Influência da Geometria Urbana na Temperatura do Ar ao Nível de Pedestre*. 125p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996.

TARIFA, R. J. (1977). Análise Comparativa da Temperatura e Umidade na Área Urbana e Rural de São José dos Campos – SP. *Geografia*, Rio Claro, v.02, n.04, p.59–80.

TAVARES, A. C.; LASTÓRIA, A. C. (1994). Comparação entre as Temperaturas Obtidas no Centro e na Periferia de Piracicaba (SP). *Geografia*, Rio Claro, v.19, n.01, p.61-76.

VECCHIA, F. A. S. (1997). *Clima e Ambiente Construído* - A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. 489p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 1997.

VECCHIA, F. A. S. et al. (1999). Vivendas prefabricadas en paneles ahuecados: su aplicación para el tema de huracanes y sismos. In: SEMINARIO IBEROAMERICANO SOBRE CUBIERTAS Y ENTREPISOS PARA LA CONSTRUCCION Y REHABILITACION DE VIVENDA, 2., 1999, Havana. *Anais...* Havana:CYTED.

VECCHIA, F. A. S.; GIVONI, B.; SILVA, A. C. (2001). Analyzing Thermal Performance of Occupied Houses in Descalvado, Brazil. In: The 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001, Florianópolis - Brasil. *Anais...* Florianópolis. p.1055-1060.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. (1991). *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: Imprensa Universitária, (UFV).