

ARMANDO SHALDERS NETO

REGULAMENTAÇÃO DE DESEMPENHO
TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Energia.

São Paulo

2003

ARMANDO SHALDERS NETO

REGULAMENTAÇÃO DE DESEMPENHO
TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Energia.

Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP

Orientador:
José Roberto Moreira

São Paulo
2003

Shalders Neto, Armando

Regulamentação de desempenho térmico em edificações. 213p.

Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

1. Conforto ambiental
2. Conservação de energia
3. Regulamentação.

Ao meu pai, Luiz Carlos.

À Zely,

Laura

e

Tháisa.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Símbolos	vi
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. ARQUITETURA E CLIMA -- REFERENCIAL HISTÓRICO E TEÓRICO	4
2.1 Edificação Vernacular	5
2.2 Sistematização do Conhecimento	14
2.3 Adequação Necessária	22
3. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	27
3.1 Atmosfera Terrestre	28
3.2 Radiação Solar	32
3.3 Distribuição da Radiação	34
3.4 Balanço de Energia	37
3.5 Temperatura do ar	39
3.6 Circulação Atmosférica	45
4. CONDIÇÕES DE CONFORTO	57
4.1 Índices de Conforto	59
4.2 Cartas Bioclimáticas de Olgyay e Givoni	62
4.3 Zona de Conforto de Szokolay	65
4.4 Zona de Conforto – ASHRAE	67
4.5 Aclimação Térmica	69
4.6 Estudos Realizados no Brasil	71
5. ADEQUAÇÃO CLIMÁTICA E ENERGIA	73
5.1 Ventilação	73

5.2	Inércia térmica	76
5.3	Aquecimento Solar	81
5.4	Resfriamento Radiante	82
5.5	Sombreamento	83
5.6	Energia em Edificações	85
6.	EXPERIÊNCIA EM REGULAMENTAÇÃO	92
6.1	Estados Unidos	93
6.2	Califórnia	94
6.3	Argentina	95
6.4	França	96
6.5	Portugal	98
6.6	Brasil	102
6.7	Outros regulamentos	105
7.	PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO	106
7.1	Objetivos	106
7.2	Diretrizes	108
7.3	Estrutura	111
7.4	Tratamento dos dados climáticos	115
7.5	Equações básicas	127
7.6	Definição das condições de referência	133
7.7	Roteiro para aplicação do regulamento	137
	CONCLUSÃO	153
	Referências bibliográficas	159
	Anexos	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1	Habitação “troglodita” na Tunísia - vista geral - província de Haddej 6	6
Figura 2.1.2	Habitação “troglodita” na Tunísia - província de Haddej	6
Figura 2.1.3	Habitações escavadas na província de Shaanxi – China	7
Figura 2.1.4	Classificação climática de Köppen e a distribuição dos tipos de telhado	9
Figuras 2.1.5	Habitação em aldeia Xavante	10
Figura 2.1.6	Habitação em aldeia Kuikuro	10
Figura 2.1.7	Habitação em vila rural no Panamá	12
Figura 2.1.8	Vista da Vila de Medenine – Tunísia	13
Figura 2.1.9	Vista do Pueblo de Taos-Novo México	13
Figura 2.1.10	Planta de casa grega	17
Figura 2.1.11	Planta e ruínas de Olinto	19
Figura 2.1.12	Planta de Priene	20
Figura 2.1.13	Residências gregas e chinesas	21
Figura 3.1.1	Comprimentos de onda das radiações do espectro eletromagnético	29
Figura 3.1.2	Concentração de CO ₂ na atmosfera terrestre, segundo cenários do IPCC	30
Figura 3.2.1	Movimentos terrestres	33
Figura 3.3.1	Espectro da radiação solar	35
Figura 3.4.1	Balanço global de radiação	37
Figura 3.5.1	Temperatura média anual de algumas capitais	40
Figura 3.5.2	Correntes oceânicas quentes e frias	43
Figura 3.5.3	Variação anual da temperatura média	44
Figura 3.6.1	Força de Coriolis	46

Figura 3.6.2	Diagrama de formação de ventos térmicos	47
Figura 3.6.3	Células de circulação atmosférica	48
Figura 3.6.4	Áreas de formação de ciclones e anti-ciclones	49
Figura 3.6.5	Ventos Superficiais de verão e inverno	50
Figura 3.6.6	Perturbações decorrentes das alterações na topografia	51
Figura 3.6.7	Perfil de ventilação no meio urbano	52
Figura 3.6.8	Condições de vento em vale urbano	54
Figura 4.1.1	Diagrama <i>PMV/PPD</i> - Fanger	60
Figura 4.2.1	Carta de Olgyay	62
Figura 4.2.2	Diagrama de Givoni	63
Figura 4.3.1	Zona de conforto de SZOKOLAY	66
Figura 5.2.1	Inércia térmica – atraso e amortecimento	79
Figura 5.6.1	Consumo de energia no setor comercial	87
Figura 5.6.2	Consumo de energia no setor residencial	87
Figura 5.6.3	Energia consumida durante a construção e operação de edificações	88
Figura 5.6.4	Carga térmica recebida nas fachadas	89
Figura 7.4.1	Temperaturas simuladas e medidas (Normais Climatológicas)	117
Figura 7.4.2	Simulação de temperaturas diárias e médias mensais das Normais Climatológicas	119
Figura 7.4.3	Mapa das Normais Climatológicas – Temperatura máxima Anual	122
Figura 7.4.4	Mapa das Normais Climatológicas – Temperatura mínima anual	123
Figura 7.6.1	Fator solar de referência	136
Figura 7.6.2	Proporção de referência das aberturas	137
	PROJETO CDHU	139
	PROJETO ADEQUADO	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.1	Composição da atmosfera - principais gases do ar seco	28
Tabela 3.3.1	Albedo de algumas superfícies	34
Tabela 3.5.1	Variação da amplitude média em função da latitude	43
Tabela 4.1.1	Escala de sensações – ASHRAE	61
Tabela 4.4.1	Taxas metabólicas	68
Tabela 4.4.2	Índice de resistência térmica de vestimentas – clo	68
Tabela 4.6.1	Temperaturas limites de diversas metodologias	72
Tabela 5.6.1	Uso final de energia setor residencial e comercial	86
Tabela 7.4.1	Temperaturas de referência – resultados da simulação x Normais Climatológicas	121
Tabela 7.4.2	Fatores de correção de temperatura exterior e desvio em torno da média – necessidades de resfriamento	126
Tabela 7.4.3	Fatores de correção de temperatura exterior e desvio em torno da média – necessidade de aquecimento	126
Tabela 7.6.1	Definição da transmitância de referência	134
Tabela 7.6.2	Definição do atraso térmico de referência	135
Tabela 7.6.3	Valores de referência: absorvidade das superfícies, transmitância de vidros.	136
Tabela 7.6.4	Fator Solar de referência das aberturas em função da orientação	136
Tabela 7.6.5	Proporção de referência das aberturas em função da orientação	137

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortividade das superfícies externas	
λ	Comprimento de onda	m
λ	Condutividade térmica	W/m . K
ρ	densidade	Kg/m³
β	latitude	
δ	declinação	
γ	azimute da superfície	
ω	ângulo horário	
ϕ	inclinação da superfície	
φ_c	Atraso térmico – cobertura	horas
θ_h	ângulo de incidência dos raios solares no topo da atmosfera	
φ_p	Atraso térmico – paredes	horas
α_r	Absortividade de referência das superfícies externas	
φ_{rc}	Atraso térmico de referência – cobertura	horas
φ_{rp}	Atraso térmico de referência – paredes	horas
ω_s	Amplitude térmica superficial	°C
θ_s	Amplitude térmica exterior	°C
α_T	Difusividade térmica	m²/s
A_c	Área de cobertura	m²
A_{ma}	Maior amplitude média mensal	°C
A_{me}	Menor amplitude média mensal	°C
$Ampl$	Amplitude térmica	°C
A_p	Área de parede	m²
A_{pi}	Área do pavimento	m²
A_v	Área das aberturas envidraçadas	m²
C_p	Calor específico a pressão constante	J/kg . K
C_T	Capacidade térmica do componente	KJ/m² . K
d	Dia (número seqüencial do dia)	
D_f	Dia da menor temperatura mínima	
D_{ma}	Dia de maior amplitude	
D_{me}	Dia de menor amplitude	
D_q	Dia da maior temperatura máxima (°C)	°C

<i>E</i>	Espessura da atmosfera	Km
<i>E_{λs}</i>	Espalhamento de Rayleigh	
<i>ef</i>	Efusividade térmica	W . s^{0,5}/m² . K
<i>FS</i>	Fator solar	-
<i>FSr</i>	Fator solar de referência	-
<i>h</i>	Hora	
<i>h max</i>	Hora de temperatura máxima (14hs.)	
<i>h min</i>	Hora de temperatura mínima (05hs)	
<i>K_t</i>	Índice de transparência média da atmosfera	
<i>M</i>	Taxa metabólica	W/m²
<i>Pd</i>	Pé direito	m
<i>PMV</i>	Voto médio estimado	
<i>PPD</i>	Porcentagem de pessoas insatisfeitas	%
<i>Qaq</i>	Necessidades de referência de aquecimento	W
<i>Qar</i>	Trocas térmicas por ventilação	W
<i>Qc</i>	Trocas térmicas pela cobertura	W
<i>Qp</i>	Trocas térmicas pelas paredes	W
<i>Qres</i>	Necessidades de referência de resfriamento	W
<i>Qv</i>	Trocas térmicas pelas aberturas envidraçadas	W
<i>RS</i>	Radiação solar	W/m²
<i>Rsc</i>	Radiação solar incidente em um plano perpendicular à direção, no topo da atmosfera	W/m²
<i>RS_{cc}</i>	Radiação solar corrigida – cobertura	W/m²
<i>RS_{cp}</i>	Radiação solar corrigida –paredes	W/m²
<i>R_{se}</i>	Resistividade superficial externa	-
<i>Rsn</i>	Radiação solar incidente em um plano perpendicular à direção, no topo da atmosfera, no dia n	W/m²
<i>Rsp</i>	Radiação solar incidente em um plano perpendicular à direção, ao nível da superfície terrestre.	W/m²
<i>R_T</i>	Resistência térmica de superfície a superfície	m² . K/W
<i>T max</i>	temperatura média das máximas mensais das Normais Climatológicas	°C
<i>T maxq</i>	Maior temperatura média das máximas	°C
<i>T medf</i>	Menor temperatura média mensal (°C)	°C
<i>T medq</i>	Maior temperatura média mensal (°C)	°C
<i>T min f</i>	Menor temperatura média das mínimas mensais	°C
<i>T min n</i>	Temperatura média das mínimas mensais das Normais Climatológicas	°C
<i>T min q</i>	Maior temperatura média das mínimas mensais	°C

$T^*d \max$	Temperatura máxima no dia (°C)	°C
$T^*d \text{ med}$	Temperatura média no dia d (°C)	°C
$T^*d \min$	Temperatura mínima no dia (°C)	°C
TBS	Temperatura de bulbo seco	°C
TBU	Temperatura de bulbo úmido	°C
$Td \max$	Temperatura máxima no dia	
$Td \max$	Temperatura máxima no dia	°C
$Td \min$	Temperatura mínima no dia	°C
TE	Temperatura Efetiva	°C
TEc_{aq}	Temperatura externa corrigida – aquecimento	°C
TEc_{res}	Temperatura externa corrigida – resfriamento	°C
Th	Temperatura na hora	°C
T_{imax}	Temperatura interna máxima – resfriamento	°C
T_{imin}	Temperatura interna mínima – aquecimento	°C
$T_{max.}$	Temperatura média das máximas	°C
T_{maxf}	menor temperatura média das máximas	°C
$T_{min.}$	Temperatura média das mínimas	°C
U_c	Transmitância– cobertura	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
U_p	Transmitância – paredes	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
U_{rc}	Transmitância de referência – cobertura	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
U_{rp}	Transmitância de referência – paredes	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
U_{rv}	Transmitância de referência –vidros	$W/m^2 \cdot ^\circ C$

RESUMO

O desempenho energético e as condições de conforto das edificações são diretamente dependentes da adequação climática dos projetos arquitetônicos. Recuperar a capacidade de desenvolvimento de projetos energeticamente eficientes e estruturar uma regulamentação que possa ser introduzida nos procedimentos de aprovação das edificações, na esfera do poder público, foi o objetivo principal desse trabalho.

A experiência internacional tem demonstrado a eficácia da regulamentação de desempenho como instrumento da promoção do conforto ambiental e da redução do consumo de energia, especialmente nos setores residencial e comercial. O sucesso destas regulamentações está diretamente ligado à coerência e simplicidade das metodologias adotadas para a avaliação do desempenho térmico.

Sendo assim buscou-se incorporar na metodologia proposta as estratégias mais eficazes para o aprimoramento da qualidade ambiental das edificações, com sistemáticas de cálculos e metodologia de aplicação, que a princípio, já são de domínio daqueles que tem a obrigação de zelar pela qualidade das habitações.

ABSTRACT

The energy consumption and the comfort conditions in architecture are directly dependent on weather adaptation of the architectural projects. To recover the ability to develop energy efficient architectural projects and to structure a regulation that can be introduced in the procedures of approval of constructions by public administration was the main objective to be achieved.

The international experience has demonstrated the effectiveness of regulation as instrument to promote thermal comfort and reduction of energy, consumption, especially in the residential and commercial sectors. The success of the regulations are directly linked to the coherence and simplicity of the methodologies adopted for thermal performance evaluation.

We tried to incorporate in this methodology proposal the most effective strategies to improve environmental quality of constructions, with systematic of calculations and application methodology, that at first, are already of domain of those that has the obligation of caring for the quality of the buildings.

1. INTRODUÇÃO

A regulamentação de desempenho energético e conforto ambiental em edificações no Brasil ainda é insipiente. Praticamente o que existe está contido nos códigos de edificações e posturas municipais que condicionam a aprovação dos projetos. Esses códigos não abordam as questões relacionadas com o conforto e o consumo de energia de forma adequada. Os regulamentos municipais normalmente remetem as exigências construtivas e projetuais para as normas técnicas brasileiras, que ainda não contemplam as características de desempenho energético passivo da envolvente exterior e conforto ambiental em seu corpo.

Projetar adequadamente, tendo as condições climáticas locais como referência, é uma ciência que já foi dominada integralmente por arquitetos e projetistas, mas que em certa dimensão foi perdida, em decorrência da concepção que, independentemente do clima, uma edificação poderia ser edificada em qualquer região, com as mesmas características arquitetônicas e construtivas, promovendo o mesmo conforto aos seus usuários, pois a energia, especialmente elétrica, garantiria um desempenho adequado.

De fato, a experiência histórica demonstra que, quando restrições energéticas se apresentaram como condicionante ao desenvolvimento econômico e social, a adequação climática das edificações deixou o campo da retórica e se consolidou em regulamentações de desempenho energético e conforto ambiental.

A estruturação de uma regulamentação de caráter regional passa pela incorporação das experiências de sucesso, bem como de sua validação em termos locais. Neste sentido, baseado nos exemplos mais significativos de regulamentação já implantados, nas características climáticas do Estado de São Paulo e no conhecimento das principais estratégias de adequação climática, buscou-se estruturar *uma Proposta de Regulamentação* que pudesse ser imediatamente aplicada para as novas edificações.

Trata-se de um primeiro passo no sentido do aumento da eficiência energética em edificações, dado o estágio insipiente das posturas municipais existentes. A metodologia proposta foi estruturada a partir de equações de simples aplicação, baseadas em condições de regime permanente, para cálculo das trocas térmicas limites que condicionam as condições internas de conforto. Procuramos seguir uma abordagem pedagógica, pois mesmo reconhecendo a existência de escolas de arquitetura e engenharia com tradição no tema, o conhecimento geral dos projetistas sobre o comportamento térmico das edificações e sua vinculação com o clima local, ainda é frágil.

A experiência internacional indica que existe uma dificuldade inicial para a implantação de regulamentação, de caráter cultural, que precisa ser enfrentada, pois a tradição conduz à manutenção das sistemáticas mais simples possíveis para a aprovação dos projetos. Uma regulamentação baseada na avaliação de desempenho, como a que está sendo proposta nesse trabalho, implica em maior conhecimento sobre o comportamento térmico das edificações e uma complexidade maior na sistemática de aprovação. Por outro lado, a regulamentação, caso não seja capaz de estabelecer com clareza o ponto de partida de sua aplicação, ou seja o estado da arte em termos de técnicas de projeto e construção, pode induzir ao aumento dos custos de construção ou à iniquidade das exigências.

O trabalho desenvolvido nessa dissertação pretende definir uma condição de referência, com as quais os novos projetos poderão ser confrontados, que retrata os padrões típicos e usuais das edificações do setor residencial e comercial do Estado de São Paulo.

A aplicação da metodologia proposta é uma importante idéia de referência para o arquiteto na fase de desenvolvimento do projeto e pode ser sistematizada em um programa computacional muito facilmente, apesar de não ter sido esse o objetivo pretendido.

Tratou-se de elaborar uma proposta de regulamentação de desempenho energético e conforto ambiental de edificações do setor residencial e comercial que

pudesse ser imediatamente transformada em Legislação Estadual e que permitisse aprimoramentos constantes. Esses aprimoramentos tornam-se possíveis, pela avaliação sistemática da qualidade dos dados climáticos utilizados, pela caracterização mais precisa das condições de referência e pela disseminação das estratégias de adequação climática, com o gradativo aprimoramento do desempenho energético das edificações.

2. ARQUITETURA E CLIMA - REFERENCIAL HISTÓRICO E TEÓRICO

A busca por soluções arquitetônicas e urbanas adequadas ao clima produziu inúmeros exemplos que ilustram a tentativa de solução de um problema ainda atual: melhorar as condições de conforto ambiental das edificações e, conseqüentemente, da qualidade de vida nos aglomerados humanos e minimizar o uso dos recursos energéticos e naturais. O homem primitivo procurava abrigo em cavernas e “climatizava” seu ambiente consumindo principalmente lenha. Buscava habitar ambientes que amenizassem os rigores climáticos e lançava mão, com maior ou menor intensidade dos recursos energéticos disponíveis, dada a adequação do local escolhido.

A escolha de um local apropriado resultava na maximização do tempo dedicado a caça e demais afazeres indispensáveis para sua sobrevivência, senão aqueles de obter “energia” para seu conforto. O sítio apropriado era sinônimo de sucesso para as coletividades primitivas. A busca pela melhor caverna foi o primeiro momento em que se vinculou a noção de desempenho térmico das edificações e condições de conforto com os elementos característicos do clima local como determinantes para a sobrevivência, resultando direta e indiretamente em uma maior disponibilidade de recursos naturais. Por ser um elemento de significado tão fundamental a escolha da “caverna”, do abrigo, do ambiente para repouso, do ponto de encontro, entendido como resultado de um esforço de compreensão sobre como melhor viver e se relacionar com o meio ambiente e com o clima, representou o início da estruturação de um conhecimento que viria a se desenvolver e se consolidar com o surgimento das primeiras vilas e aglomerados urbanos construídos, como destaca LEWIS MUMFORD.

“... a caverna deu ao homem antigo sua primeira concepção de espaço arquitetônico, seu primeiro vislumbre da faculdade que tem um espaço emparedado de intensificar a receptividade espiritual e a exaltação emocional. A câmara pintada dentro de uma montanha prefigura o túmulo da pirâmide egípcia, também esta uma

montanha feita pelo homem e propositadamente imitativa. As variações desse tema são incontáveis; todavia, a despeito de suas diferenças, a pirâmide, o zigurate, a gruta mitraica, a cripta cristã, todos tem seu protótipo na caverna da montanha. Tanto a forma quanto a finalidade desempenham papel no desenvolvimento final da cidade. Ao retroceder em era tão distante, em busca das origens da cidade, não se devem, evidentemente, esquecer as necessidades práticas que, em determinadas épocas, faziam com que se ajuntassem os grupos de famílias e as tribos em habitats comuns, numa série de acampamentos, mesmo numa economia de coleta e caça. Também essas necessidades tinham um papel a desenvolver; e muito antes que as aldeias rurais e as pequenas cidades se tornassem uma característica da cultura neolítica, já provavelmente se havia sondado seus sítios favoráveis...” (MUMFORD, 1982).

2.1 Edificação Vernacular

As habitações trogloditas na Tunísia na província de Haddej e as habitações chinesas, escavadas no solo, na província de Shaanxi, demonstram que povos com origens culturais e geográficas distintas, que experimentaram diferentes condições de evolução, desenvolveram soluções semelhantes em termos de concepção dos espaços arquitetônicos, técnica e características construtivas, pois situavam-se em regiões com características climáticas similares: clima quente e seco, radiação solar intensa e grande variação diária de temperatura.

Nestas habitações, a inércia térmica da massa de solo que envolve os ambientes internos, reduz significativamente a amplitude térmica diária e estabiliza as temperaturas internas em níveis adequados. Estratégias como estas foram bastante disseminadas e ainda estão presentes em regiões com climas semelhantes. Atualmente na China, mais de 17 milhões de pessoas ainda habitam residências com estas características, assim como em todo norte da África soluções semelhantes são utilizadas regularmente (LAUDE, 2002).



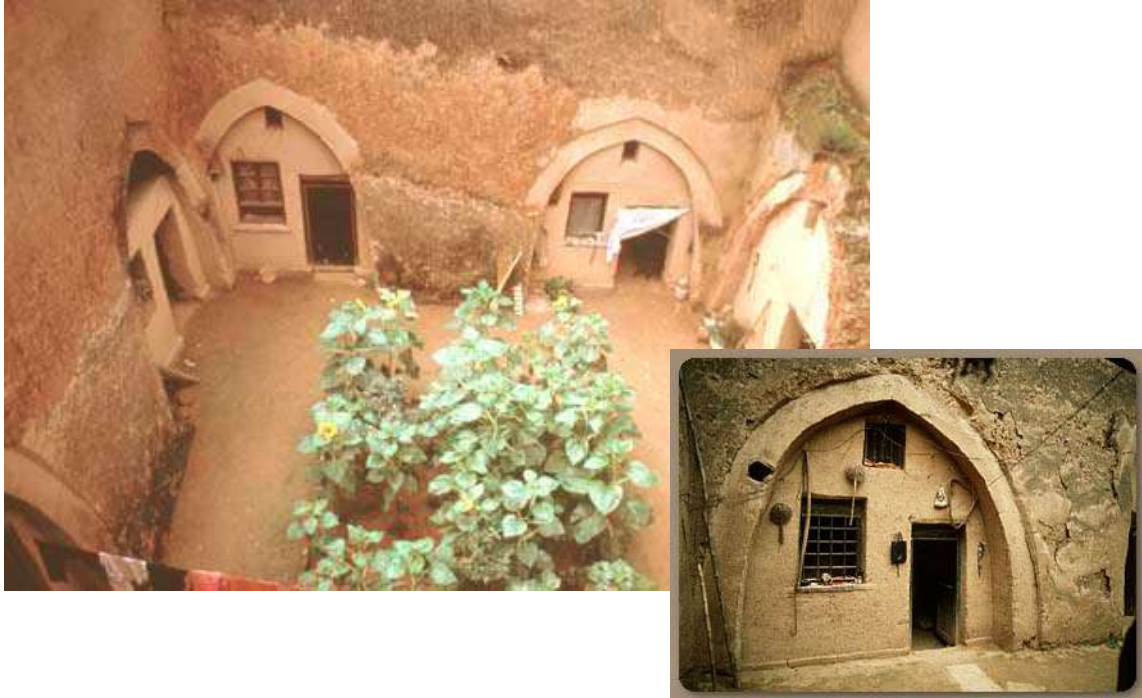
Habitação situada em clima desértico, escavada no solo. A solução propicia proteção contra os ventos e o forte calor do sol durante o dia e o frio da noite. A inércia térmica da massa de solo estabiliza a temperatura interna reduzindo significativamente a amplitude térmica diária.

Figura 2.1.1 Habitação “troglodita” na Tunísia - vista geral - província de Haddej.
Fonte: KJEILEN, T.



Vista da solução de implantação de um conjunto de residências situadas em clima desértico, que adotam estratégias de adequação climática similares a outros exemplos de arquitetura que se desenvolveram em climas semelhantes. Essa tipologia se originou nas habitações trogloditas e ainda hoje é uma solução utilizada regularmente pela população, com resultados excepcionais em termos de conforto térmico.

Figura 2.1.2 Habitação “troglodita” na Tunísia – província de Haddej.
Fonte: KJEILEN, T.



Vista da solução de implantação de habitações chinesas, onde se verifica a similaridade de estratégias adotadas para condições climáticas em que predomina o clima desértico. Vilas chinesas como esta representam a solução de habitação para extensas populações ainda hoje. A alternativa de construir abaixo do solo, com agrupamento voltado para um pátio comum, representa o mesmo tipo de estratégia verificado em habitações do norte da África.

Figura 2.1.3 Habitações escavadas na província de Shaanxi – China.

Fonte: OLIVER LAUDE.

Ao se analisar a evolução dos padrões arquitetônicos ao longo da história verifica-se que a percepção das condições climáticas locais - variação diária de temperatura, disponibilidade de luz e calor solar, característica dos ventos, regime de chuvas, entre outros — determinou a escolha dos materiais e técnicas construtivas, moldou formas e proporções, dando origem a padrões arquitetônicos regionais, adaptados ao clima, com condições de conforto adequadas. Contudo, climas semelhantes podem dar origem a padrões arquitetônicos distintos, mas que em última análise, são resultantes de estratégias similares de adequação climática, conforme destaca OLGAY (1998).

“...Jean Dollfus, com su muestrario de viviendas características de todo el mundo, confirma que el principal objetivo de los constructores ha sido siempre la búsqueda de las condiciones óptimas de confort térmico. Según los resultados de sus análisis, concluye que la tipología constructiva se encuentra definida más por las zonas climáticas que por las fronteras territoriales. Aún existiendo variaciones, producto de la tradición o del gusto local, puede afirmarse que la forma general de la vivienda autóctona nace de su relación con el entorno.” (OLGYAY, 1998)

A disposição dos ambientes internos na edificação, o volume externo, aberturas e janelas, paredes e cobertura assumem importância diferenciada — quando o objetivo é propiciar condições adequadas de conforto — em função das características climáticas do local onde estão situadas e como decorrência de considerações de ordem cultural e social, mas, de um modo geral, são mais relevantes quanto maiores forem as restrições de recursos naturais e os rigores do clima.

Assim como para todos os demais componentes da edificação, a similaridade das soluções e tipologias das coberturas das edificações vernaculares, encontradas nas diversas regiões climáticas do globo, demonstram o processo de adaptação secular de formas e técnicas construtivas. Processo esse que conduziu ao enriquecimento do vocabulário arquitetônico, sempre em harmonia com a natureza do lugar, empregando materiais simples e abundantes, organizados e dispostos em função das condições climáticas locais e das tradições culturais de seus povos.

Em seu trabalho JEAN DOLLFUS¹, conforme destacou OLGAYAY (1998) demonstrou a correlação existente entre diversas tipologias arquitetônicas, especialmente as coberturas. As soluções adotadas e as características climáticas, indicando claramente que climas semelhantes conformam soluções tecnológicas e estratégias similares.

¹ Jean Dollfus, em seu trabalho acerca das residências características de todo o Mundo, confirma que o principal objetivo dos construtores foi sempre a busca por condições ótimas de conforto Térmico. Segundo os resultados de suas análises, conclui que a tipologia construtiva é definida mais pelas zonas climáticas que pelas fronteiras territoriais. Mesmo que existam variações, produto da tradição ou do gosto local, pode-se afirmar que a forma geral da residência autóctone surge da relação com seu entorno.

“Existe una marcada correlación entre las zonas del mapa climático y las localidades en las que se da una tipología común de cubierta. Las cubiertas planas se encuentran en zonas calurozas, las abovedadas en regiones áridas y las inclinadas en los climas templados con veranos mui secos. Las tipologías con cubiertas inclinadas son comunes en los territorios más húmedos e frios.” (OLGYAY, 1998)²

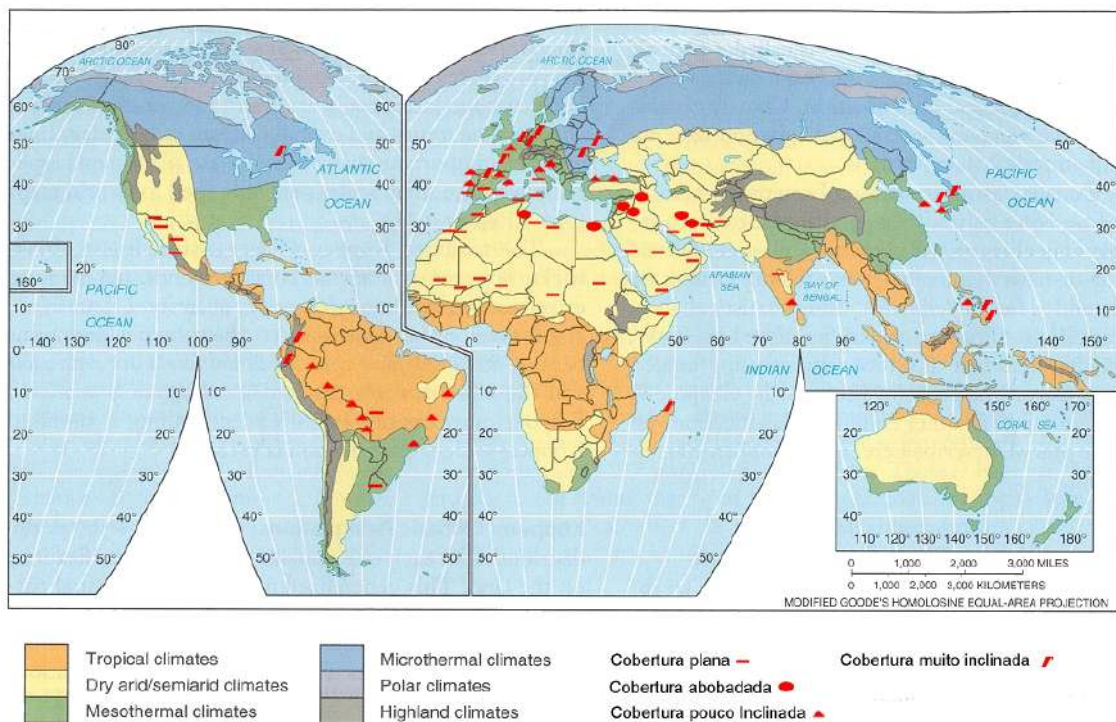


Figura 2.1.4 Classificação climática de Köppen e a distribuição dos tipos de telhado.
Fonte: adaptado de OLGAYAY.

A utilização de materiais leves e ambientes em contato permanente com o ar exterior, buscando a melhor ventilação e sombreamento possíveis, são estratégias típicas dos padrões arquitetônicos das regiões tropicais. A arquitetura indígena brasileira é um bom exemplo da aplicação dessas estratégias. Para construir suas habitações, as civilizações indígenas lançam mão do conhecimento sobre o clima das regiões que habitam, fruto da

² Existe uma correlação marcante entre as zonas do mapa climático e as localidades em que se encontra uma tipologia comum de cobertura. As coberturas planas se encontram nas zonas quentes, as abobadadas em regiões áridas e as inclinadas em climas temperados com verões muito secos. As tipologias com coberturas inclinadas são comuns nas regiões mais úmidas e frias.

relação harmoniosa com o meio ambiente, no qual não se faz necessário uma separação clara entre o ambiente interno das habitações e o exterior.



Etapas de construção de habitações em aldeia dos índios Xavante, com a utilização de materiais leves para o fechamento tanto da cobertura como das paredes. Verifica-se a montagem de estrutura para recebimento de material de cobertura, constituída de fibras de palmeira. O material empregado na cobertura também é aplicado no fechamento das paredes. A edificação permite a ventilação constante do ambiente interno, protege contra a radiação solar direta e contra a chuva.

Figura 2.1.5 Habitação em aldeia Xavante.

Fonte: FERNANDO ZAMBADA.



Aspectos da construção e do interior de habitações em aldeia dos índios Kuikuro onde pode ser observada a utilização de estruturas leves, que protegem contra a radiação solar direta, chuvas e ventos, porém permitem a ventilação constante dos ambientes internos. Estas características são usualmente encontradas nas edificações de regiões com clima tropical.

Figura 2.1.6 Habitação em aldeia Kuikuro.

Fonte: MUSEU DO ÍNDIO – FUNAI.

As técnicas construtivas e arranjos arquitetônicos utilizados, produziram diversos modelos que se diferenciam principalmente a partir de componentes culturais, como destaca ANTONELLA TASSINARI (2002), mas que mantêm as estratégias básicas utilizadas em edificações típicas de outras regiões tropicais.

“Em relação as habitações, também são muito variados os modelos das construções, a forma como são dispostas e o número de famílias que residem nelas. Temos que ter em mente que a arquitetura indígena, os espaços das casas, os detalhes de construção e o traçado das aldeias, não visam simplesmente suprir as necessidades elementares e práticas de moradia e conforto, mas como tudo mais, podem envolver explicações de ordem mística e sobrenatural e implicam em considerações gerais sobre o mundo e sobre o espaço que homens, mulheres e crianças ocupam neste mundo.

Há povos como os Yanomami ou os Tukanos, nos quais cada aldeia é composta de uma única e grande casa (redonda e circular, respectivamente) que abriga todas as famílias. Já entre os Kayapó as casas são construídas ao longo de um círculo, que compõe o desenho de todas as aldeias (inclusive aquelas levantadas rapidamente durante os períodos de acampamento na floresta) e entre os Xavante a disposição das casas desenha o formato de meia lua ou ferradura.” (TASSINARI, 2002)

As figuras 2.1.5 e 2.1.6, exemplificam as estratégias de adequação climática e o comportamento térmico das edificações, empregadas pelo povos indígenas em regiões de clima tropical.

A estrutura e os materiais de fechamento são leves, a concepção básica busca fornecer sombra e garantir ventilação, visto que foram desenvolvidas para regiões em que as estações são pouco definidas, a variação diária e sazonal de temperatura ambiente é pequena, predominantemente elevada, com presença de umidade e precipitação altas e grande insolação.

Nestas condições, as cobertura tem uma função preponderante para o desempenho térmico em relação as paredes, que em determinados modelos podem até não existir, como exemplifica a edificação Panamenha apresentada na figura 2.1.7.



Figura 2.1.7 Habitação em vila rural no Panamá.
Fonte: Panamá News.

Nas regiões de climas áridos e quentes — com grande variação diária de temperatura, elevadas durante o dia, umidade e precipitação baixas e presença de ventos secos — se desenvolveram padrões arquitetônicos que utilizam paredes de grande massa e elevada inércia térmica, aberturas reduzidas, cores claras, fachadas protegidas dos ventos sempre que necessário.

A disposição das edificações é normalmente compacta aproveitando as sombras que o conjunto pode produzir, as superfícies expostas tendem a ser as menores possíveis em função do volume do conjunto. Busca-se agrupar os cômodos ao redor de pátios, com janelas de pequena abertura, localizadas preferencialmente próximas aos tetos para reduzir os ganhos de calor vindos do solo e minimizar a ventilação.

As edificações autóctones localizadas em regiões desérticas da Tunísia ou as Habitações dos Pueblos, no deserto do Novo México, são exemplo da similaridade de soluções.



Figura 2.1.8 Vista da Vila de Medenine – Tunísia.
Fonte: KJEILEN, T.

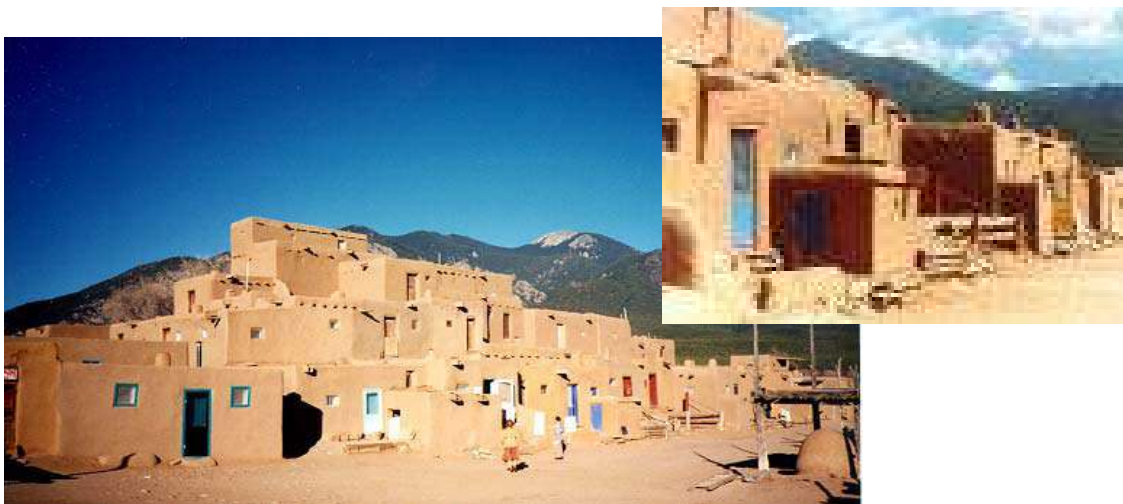


Figura 2.1.9 Vista do Pueblo de Taos-Novo México.
Fonte: MURPHEY WESTERN INSTITUTE.

Já naquelas regiões de clima temperado, com estações mais definidas, a orientação das fachadas das edificações e de suas aberturas assumem um papel relevante. As características de isolamento térmico da envolvente, especialmente da cobertura, são importantes para garantir condições adequadas de conforto durante o inverno, que apresenta temperaturas médias diárias baixas, com pouca amplitude térmica. Expor a edificação adequadamente ao sol nos períodos frios é indispensável. Portanto, proteger contra frio e ventos e ao mesmo tempo permitir que o sol penetre nos ambientes internos é uma estratégia presente na arquitetura vernacular destas regiões. Os telhados podem assumir formas diversas, principalmente em função da presença de períodos com chuvas ou neve intensas, mas sempre são construídos com materiais isolantes.

Embora com padrões arquitetônicos distintos, as estratégias de adequação climática são similares nas edificações encontradas nas diversas regiões em que este tipo de clima predomina.

2.2 Sistematização do conhecimento

O desenvolvimento do conhecimento e a disseminação de técnicas e materiais construtivos adequados ao clima, podem ser verificados em inúmeros outros exemplos da arquitetura vernacular de diversos povos, não se limitando apenas aos aspectos arquitetônicos e construtivos, mas alcançando também o arranjo e a estrutura urbana. A principal base para o desenvolvimento e sistematização desse conhecimento foi a compreensão de como o Sol atua e pode contribuir para o conforto das habitações humanas, conduzindo, conseqüentemente, a uma avaliação mais detalhada sobre todos os aspectos relacionados ao clima local. Quando este conhecimento e sua aplicação não resultaram em técnicas projetuais ou construtivas adequadas ao clima a conseqüência imediata foi o aumento das pressões exercidas sobre os recursos energéticos e ambientais.

A busca pela sistematização destes conhecimentos conduziu a formulação de princípios e regras construtivas e urbanísticas compreensíveis e reprodutíveis. Na história

das civilizações antigas, como os padrões arquitetônicos adequados ao clima se tornaram um aspecto chave para o desenvolvimento, o conhecimento sobre a arte de projetar de acordo com o clima local se tornou indispensável para aqueles diretamente ligados ao projeto e construção das edificações, mas também se tornou um dado cultural importante para os demais atores sociais, culturais e institucionais.

A civilização grega disponibilizou uma rica e vasta documentação sobre a forte correlação que existe entre o ambiente construído, clima e energia.

Em vasta literatura se encontra referência à afirmação de Sócrates de *que "...a casa ideal deveria ser fresca no verão e quente no inverno..."*. Contudo, na Grécia antiga há 2500 anos, como em diversas outras regiões e civilizações do planeta, estas condições não eram obtidas com facilidade. Não se dispunha de meios artificiais para refrescar os ambientes no verão e os sistemas de aquecimento utilizados - basicamente a queima de carvão ou lenha - não eram suficientes ou adequados para propiciar temperaturas confortáveis durante o inverno. Nesse contexto, uma vez mais a relação entre a adequação climática das edificações e a escassez de recursos ambientais e energéticos se manifestou de modo a conformar padrões arquitetônicos, estratégias construtivas e soluções urbanísticas.

A dificuldade para obtenção dos combustíveis necessários para aquecer e cozinhar provavelmente aumentou as dificuldades para se obter ambientes confortáveis.

Os habitantes das áreas povoadas na Grécia antiga, praticamente dizimaram os bosques vizinhos para obter a lenha e o carvão necessários para cozinhar e aquecer suas casas. No século V a.C. vastas áreas da Grécia não possuíam mais cobertura arbórea, caracterizando um dos primeiros processos de devastação de cobertura vegetal realizado de forma consciente pelo homem (BUTTY e PERLIN, 1985). Quando tornou-se necessária a importação de lenha de regiões distantes várias Cidades Estados passaram a elaborar regulamentações restringindo o uso de lenha e carvão para fins de climatização, dando início aos primeiros processos de formulação de regulamentos energéticos relacionados

com as características construtivas das edificações. No século IV a.C. os atenienses proibiram a utilização de madeira de oliveira para fazer carvão. O governo da ilha de Cos, por exemplo, adotou um imposto sobre a madeira utilizada para cocção e aquecimento. Em Delos foi aplicada severa restrição à venda de carvão, pois compreenderam que uma fonte energética tão valiosa não poderia ser controlada apenas por uns poucos comerciantes, para atender as necessidades de conforto dos mais ricos, como ocorria. Embora a escassez e as distancias cada vez maiores das fontes de suprimento energético elevassem drasticamente os custos deste combustível, a região, afortunadamente, dispunha de uma fonte de energia abundante e gratuita: o sol. Hoje, dados e análises históricas de escavações revelam que a denominada “*arquitetura solar*”³ — representou o primeiro passo na direção da adequação climática das edificações — se desenvolveu com vigor na região. A estratégia principal, dadas as condições climáticas locais, era orientar as edificações principalmente para o sul, sendo que cidades inteiras foram desenhadas para que todas as edificações tirassem o melhor proveito possível da energia solar, permitindo que o sol no inverno aquecesse todas igualmente (BUTTY e PERLIN, 1985).

Esta estratégia, adotada também por outras civilizações que ocupavam regiões com características climáticas semelhantes no hemisfério norte, representou um impacto positivo para a redução do uso de lenha e carvão para aquecimento dos ambientes. Era senso comum a exposição adequada aos raios solares como condição para a saúde humana e higiene das habitações. O desenho arquitetônico de então e os arranjos urbanos se baseavam no conhecimento da variação da trajetória solar no decorrer das estações do ano, abrangendo as mais diversas localidades por onde o império Grego se expandiu.

³ O termo “arquitetura solar” tem sido utilizado por diversos autores para descrever aquelas propostas arquitetônicas que consideram o clima como parâmetro indispensável para o desenvolvimento dos projetos. Nesse trabalho citamos o termo com a ressalva que a utilização de critérios climáticos para o desenvolvimento de projetos de arquitetura deve ser adotada por todos os arquitetos e projetistas, não cabendo portanto a denominação de “arquitetura solar” apenas por incorporar parâmetros que, por fim, não podem estar ausentes no desenvolvimento dos projetos arquitetônicos. O termo citado pode induzir, pela suposição da existência de seu oposto - “arquitetura não solar” - a compreensão que pode-se praticar arquitetura sem a consideração do clima como parâmetro indispensável e fundamental, postura que este trabalho questiona.

ORIBASIO, autoridade médica grega afirmava que as habitações orientadas para o norte eram menos saudáveis "...pois estas recebem pouco sol, incidindo obliquamente, sem suficiente vitalidade..." (ORIBASIO *apud* BUTTI e PERLIN, 1985).

Na Grécia, com base em princípios como estes, as casas eram projetadas de forma que o sol do inverno penetrasse com facilidade nos ambientes através de um pórtico voltado para o sul. Entre o pórtico, em contato com o ar exterior e os cômodos no interior do edifício não existiam anteparos ou janelas de vidro, pois os gregos não dispunham deste material ou outro similar para o fechamento dos vãos de janelas e portas. A figura 2.1.10 é um exemplo da planta grega típica.

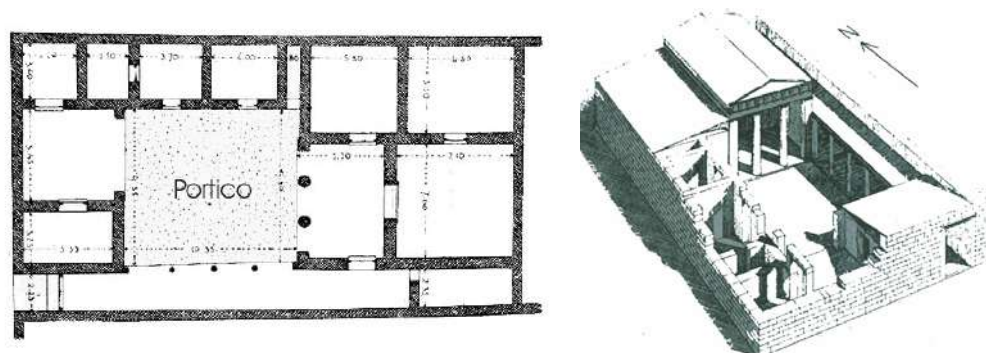


Figura 2.1.10 Planta de casa grega.
Fonte: KIMBAL, F. e EDGELL, G.H., 2003

Os principais cômodos da habitação não eram apenas aquecidos pelos raios solares que penetravam através do pórtico, mas também estavam protegidos dos ventos frios procedentes do norte. No verão beirais e telhados projetados para além das empenas verticais protegiam as habitações do sol alto durante grande parte do dia. SÓCRATES explicava o sistema nestes termos:

“ Nas casas orientadas para o sul, o sol penetra pelo pórtico no inverno, enquanto no verão o arco solar se eleva sobre nossas cabeças e por cima dos telhados e beirais, produzindo sombreamento...”(SOCRATES apud BUTTI e PERLIN, 1998)

A ampliação de Olinto - Colina Norte - uma das cidades mais importantes do norte da Grécia durante o período Helnico é um bom exemplo de como os gregos utilizavam os princípios de adequação climática em comunidades densamente povoadas, conforme pode-se observar na figura 2.1.11. A Colina Norte foi uma cidade inteiramente planejada, construída sobre um platô, com ruas perpendiculares, todas implantadas seguindo as direções norte-sul/leste-oeste, o que permitia que todos os edifícios pudessem obter o máximo benefício de uma orientação adequada.

O projeto das edificações comuns e o processo construtivo previa a construção em bloco de um conjunto de residências. Este conjunto era constituído de 6 residências de 2 pavimentos totalizando aproximadamente 300 metros quadrados de planta. Cada residência teria uma forma quadrada normatizada que compartilhava estruturas de fechamento, tipo casas germinadas, cobertura e o muro voltado para o norte, com as demais residências, constituindo-se em um conjunto nico. O muro norte, de adobe com espessura de 45 cm, protegia dos ventos frios vindos do norte durante o inverno.

Os cômodos mais importantes das residências davam para um pórtico, sustentado por pilastras de madeira, voltado para o sul . Este pórtico se abria para um pátio interno que era separado da rua por um muro baixo. Neste ambiente, os habitantes podiam desfrutar da intimidade do lar e obter a maior parte de luz e do calor que necessitavam durante o inverno, pois os raios solares mais inclinados penetravam nos cômodos através do pórtico, esquentando os ambientes.

As paredes de adobe absorviam e retinham grande parte da radiação solar durante o dia e quando a temperatura interna começava a diminuir, fornecia aos ambientes internos o calor acumulado durante o dia.

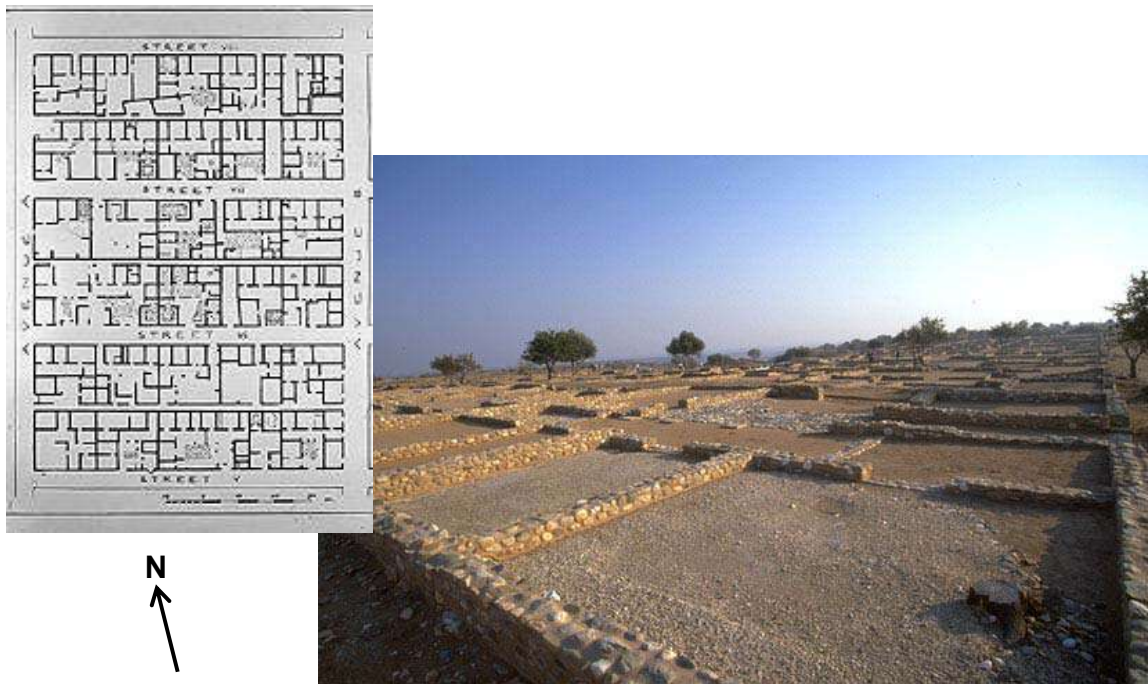


Figura 2.1.11 Planta e ruínas de Olinto.
 Fonte: TOKER, F.

O projeto das residências de Olinto funcionava bem no inverno e no verão, pois os pórticos corretamente orientados protegiam os ambientes dos raios solares fortes do verão e permitiam o aquecimento dos ambientes no inverno. Por outro lado a inércia térmica das paredes, especialmente as de face sul, reduziam as necessidades de aquecimento dos ambientes durante o inverno.

O vasto território grego e de suas colônias na Ásia Menor não apresentavam sempre condições topográficas tão propícias como as encontradas em Olinto.

A cidade de Priene é um bom exemplo de como os arquitetos e urbanistas da época enfrentaram esta adversidade topográfica. A implantação estrategicamente definida da cidade pode ser vista na figura 2.1.12. Atingidos por constantes inundações os habitantes de Priene decidiram abandonar a cidade em busca de um local mais seguro nas encostas do

Monte Micala. Seus urbanistas buscaram adaptar os princípios utilizados em Olinto, para a situação de uma cidade a ser construída nas encostas de um morro.

As avenidas principais foram implantadas paralelamente à vertente, seguindo uma orientação norte-sul e as vias secundárias no sentido leste-oeste subiam pelas encostas. Como resultado da grande inclinação da vertente do Monte Micala, muitas ruas se apresentam mais como escadarias que como ruas propriamente ditas.

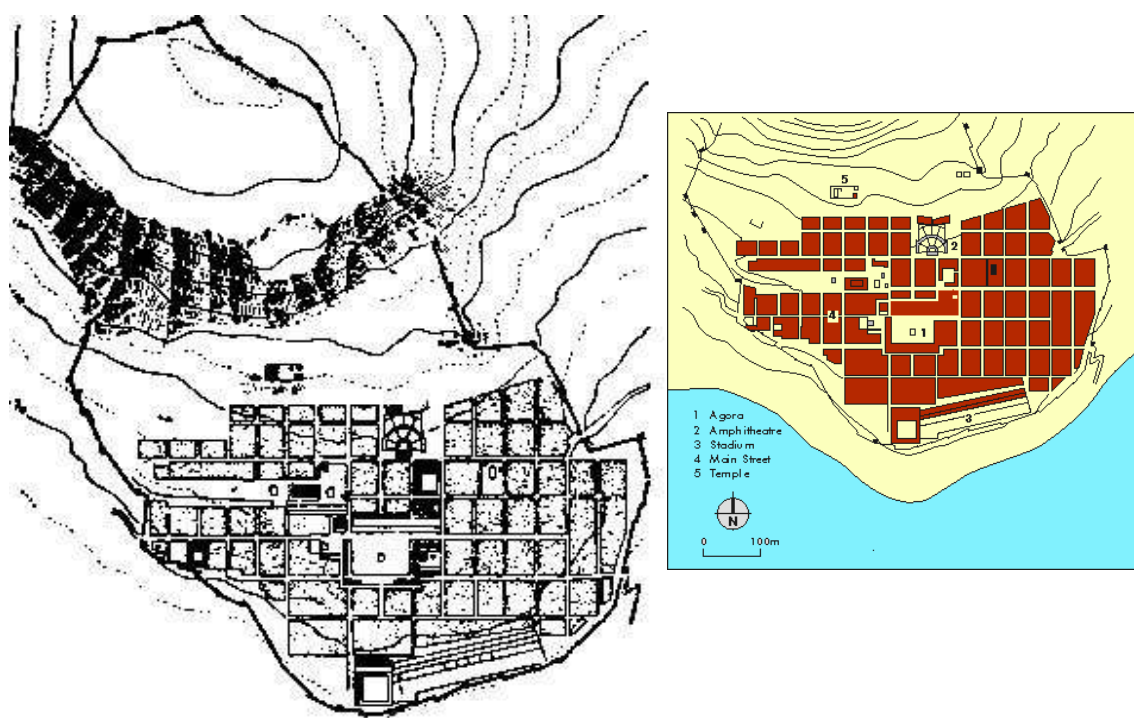


Figura 2.1.12 Planta de Priene.
Fonte: TOKER, F.

Apesar das dificuldades de implantação das ruas e avenidas, todas as habitações, de qualquer tamanho, foram projetadas seguindo os princípios decorrentes dos conceitos da melhor adequação climática das edificações. Mesmo as residências dos habitantes mais pobres podiam desfrutar do calor do sol no inverno e evitá-lo no verão.

Exemplos de arquitetura que se baseavam nos princípios de adequação climática podem ser verificados em diversas localidades na Grécia antiga, inclusive em condições ainda mais adversas que as encontradas em Olinto e Priene. Também na China, antiga as ruas das principais cidades foram traçadas a partir de um alinhamento ortogonal aos pontos cardeais. Como pode-se observar na figura 2.1.13 quando as condições topográficas permitiam a planta típica das residências chinesas da época mostravam enorme semelhança com as de Olinto

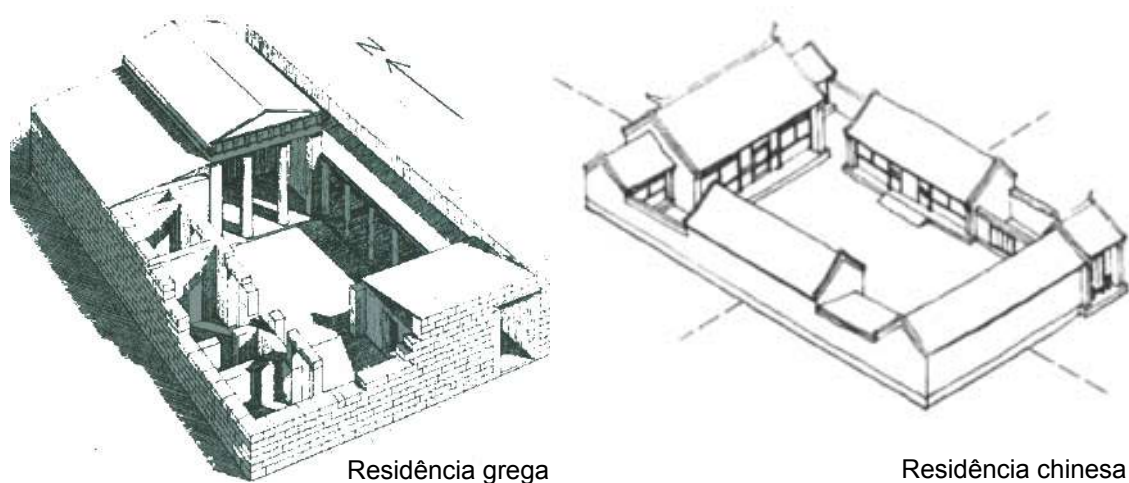


Figura 2.1.13 Residências gregas e chinesas.
Fonte: KIMBAL, F. e EDGELL, G. H.

Os Romanos, por sua vez, basearam-se no conhecimento de “*arquitetura solar*” desenvolvida na Grécia e estruturaram um conjunto de códigos para projeto e construção das edificações que se constitui no primeiro exemplo do que se poderia chamar de uma regulamentação do desempenho da edificação e de regras de urbanização. O celebre tratado de VITRUVIO, *Dez Livros de Arquitetura de Vitruvius*, estabelece um conjunto de regras e orientações projetuais de adequação climática e conforto ambiental, envolvendo diversos aspectos das diversas tipologias de edificações — edifícios públicos, residenciais, comerciais e templos — bem como o seu arranjo urbanístico. Não se limitando aos temas relativos ao conforto ambiental, VITRUVIO formulou orientações para temas, como

abastecimento público de água, esgoto, técnicas construtivas e obtenção de materiais (VITRUVIO, 1982).

Na civilização Romana, da mesma forma que na civilização Grega, o conhecimento sobre o comportamento solar, como princípio elementar da adequação climática, se transformou em objeto de legislação. Em Roma os cidadãos tinham o direito que sua residência recebesse no mínimo uma determinada quantidade de luz solar direta, indispensável para promover a salubridade do ambiente e conforto térmico dos habitantes. As técnicas construtivas e de projeto foram capazes de produzir construções altamente eficientes do ponto de vista energético. Como exemplo desta eficiência estão os banhos públicos, que necessitavam de muito calor para aquecer suas águas, mas que possuíam um sistema de distribuição deste calor altamente sofisticado.

A arquitetura colonial brasileira também demonstra esta antiga capacidade de desenvolver padrões e técnicas construtivas, altamente eficientes do ponto de vista energético, capazes de propiciar condições de conforto interno adequadas. Basta entrar em um casarão colonial para ter uma noção do conforto térmico que propicia, tanto no inverno como no verão, consumindo pouquíssimos recursos energéticos. Inércia térmica elevada das paredes, beirais ou varandas que protegem da radiação solar direta, pé-direito elevado, orientação correta das fachadas são elementos sempre presentes nessas edificações.

2.3 Arquitetura necessária

Com o surgimento e desenvolvimento da indústria energética, a partir do final do século dezenove, teve início um processo de apropriação e disponibilização, em grande escala e de forma crescente, dos recursos ambientais e energéticos do planeta, trazendo como consequência a alteração significativa das técnicas de projeto e construção das edificações e especialmente, da postura de projetista frente a problemática da adaptação climática.

Padrões arquitetônicos foram drasticamente alterados pela possibilidade do uso generalizado da energia elétrica para a climatização e iluminação. Energia elétrica esta que era produzida basicamente à partir de combustíveis fósseis. Nesse contexto, pode-se afirmar que os princípios fundamentais que permitiram o desenvolvimento da moderna arquitetura estão ancorados na disponibilidade energética. A "máquina de morar" de LE CORBUSIER a possibilidade de um movimento arquitetônico com padrões aplicáveis a diversas regiões do planeta, a construção em grande escala, os planos urbanísticos que se aplicavam igualmente em Paris ou Brasília somente foram possíveis devido a disponibilização dos recursos energéticos propiciada pelo acelerado desenvolvimento da indústria energética no século 20 (BOESIGER,1971).

Tornou-se possível, pela primeira vez na história da arquitetura e do urbanismo projetar e construir independentemente do clima. Um edifício de New York poderia ser construído em São Paulo, pois a energia supriria a carência de técnicas construtivas e de projeto adequados ao clima. Este movimento distanciou os projetistas e construtores do conhecimento do clima local e das técnicas que permitiam a construção de edificações climaticamente adequadas.

A arquitetura energeticamente eficiente, climaticamente adequada ou bioclimática, ou mais corretamente a *boa arquitetura*, como contraponto a atual tendência da arquitetura mundial, tem sido debatida no Brasil e no mundo sob diversos aspectos que vão, desde a necessidade de preservação e recuperação dos recursos naturais, passando pela possibilidade de restrições energéticas crescentes, até a necessidade de adoção de um modelo de desenvolvimento ambientalmente sustentável.

Nesse contexto, as necessidades humanas de habitação e abrigo — para o desempenho das mais diversas atividades — e sua vinculação com o consumo energético devem ser analisadas de maneira suficientemente fundamentada, considerando a realidade social em que se inserem, suas características culturais e condições climáticas, bem como a problemática tecnológica e os custos ambientais e econômicos envolvidos.

Meio ambiente, energia, clima e necessidades de conforto ambiental estão intimamente ligados e devem ser entendidos como os elementos que, em última análise, moldam as características arquitetônicas e urbanísticas dos espaços que ocupamos e que por sua vez condicionam o uso de energia nas edificações. A experiência histórica comprova que a correta adequação ao clima é o elemento fundamental, o ponto de partida, para a produção de edifícios que, sem abrir mão do conforto de seus usuários, apresentem um reduzido consumo de energia, com repercussões ambientais e sociais benéficas para toda a sociedade.

O Brasil tem características climáticas extremamente favoráveis do ponto de vista energético. Sua abóbada celeste é uma das mais claras do mundo, privilegiando a utilização da luz natural durante a maior parte do ano em todo o seu território. A diferença entre as temperaturas de conforto - situadas entre 18 e 26 °C - e as médias diárias de temperatura também é uma das mais baixas do mundo. Outros países, com invernos rigorosos e prolongados, são obrigados a consumir grandes quantidades de energia para aquecer e climatizar os ambientes. As temperaturas médias, verificadas na maioria do território brasileiro, permitem que sejam obtidas condições adequadas de conforto ambiental com mínimo consumo de energia, se o conjunto edifício-instalações estiver corretamente projetado.

As características térmicas dos materiais, especialmente a inércia térmica, a importância do pé direito elevado, os elementos sombreadores, as proporções das aberturas de iluminação e ventilação, a correta orientação das fachadas, os afastamentos e a localização das massas de vegetação eram perfeitamente compreendidos pelos projetistas e construtores antes do surgimento da concepção projetual baseada na idéia equivocada de disponibilidade ilimitada de recursos energéticos e ambientais. Apesar de ser responsável pela maior parte da energia consumida em edificações não é apenas na fase de uso que o consumo de energia é intenso, também durante a fase de construção podem ocorrer grandes desperdícios, especialmente quando se utilizam materiais de elevado conteúdo energético. Em um edifício comercial típico, por exemplo, aproximadamente 90% da energia utilizada

para sua construção é consumida durante a etapa de produção dos materiais (MASCARÓ,1992).

Os profissionais ao elaborarem seus projetos devem estar conscientes das repercussões energéticas e ambientais das soluções propostas. Cada decisão arquitetônica ou solução construtiva adotada, acarretará um consumo maior ou menor de energia e de recursos naturais que perdurará durante toda a vida útil da obra, em média sessenta anos (MASCARÓ,1992). Atualmente a energia utilizada para condicionar, iluminar e prover os demais serviços indispensáveis ao funcionamento de uma edificação, no setor comercial e residencial, representa cerca de 32% de toda o consumo nacional de energia elétrica. Grande parte deste consumo é induzido por padrões arquitetônicos equivocados (Ministério de Minas e Energia - MME, 2002).

Ocorre que padrões arquitetônicos são grandemente influenciados por conceitos culturais, via de regra importados, com precária vinculação à realidade cultural e econômica onde buscam instalar-se, ocasionando um efeito de desperdício duradouro, pois a infra-estrutura urbana e o patrimônio edificado nessas bases não pode ser remodelado senão no decorrer de décadas.

Atualmente, observa-se com frequência a proliferação de edifícios com grandes panos de vidro, com fachadas desprotegidas que recebem enormes cargas térmicas devido a incidência direta da radiação solar. Carga térmica esta que é retirada do ambiente por sistemas de ar condicionado, na maioria das vezes de baixo rendimento. Nestes edifícios é comum o uso de cortinas - pois o sol incidindo diretamente sobre as pessoas é incomodo - cores escuras, anteparos que bloqueiam ou reduzem a propagação de luz, obrigando a utilização de iluminação artificial mesmo em períodos em que a luz natural é suficiente.

Estes edifícios são atualmente o padrão usual proposto pela arquitetura internacional e adotado regularmente no Brasil, fruto da transposição generalizada e mecânica de conceitos que foram desenvolvidos em países com climas muito diferente, se constituindo

em verdadeiros monumentos à ineficiência energética e ao desperdício de nossos recursos ambientais.

Recuperar a antiga ciência de projetar e construir em função das características climáticas locais tem repercussões econômicas, sociais e ambientais importantes face as restrições energéticas e aos impactos decorrentes de sua produção e deveria estar no topo das prioridades de arquitetos, urbanistas e especialmente dos legisladores e administradores urbanos.

3. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Como os estímulos que contribuem para a sensação de conforto¹ são em grande parte decorrentes da interação entre os componentes da edificação e os elementos climáticos, uma avaliação acurada e sistemática dos mecanismos que comandam a essa interação é indispensável para a concepção de ambientes capazes de propiciar conforto, devendo iniciar-se com a identificação correta dos elementos que caracterizam o clima de uma determinada localidade.

No contexto da avaliação de desempenho energético e de conforto ambiental, aquelas edificações capazes de amenizar as condições climáticas, aproveitando de forma mais adequada os elementos favoráveis para o conforto humano, e que permitem o uso racional dos recursos naturais e energéticos, podem ser denominadas edificações climaticamente adequadas.

Os elementos climáticos mais relevantes, que devem ser considerados para efeito da concepção de ambientes com condições de conforto adequadas são, em termos gerais:

- a) a intensidade da radiação solar,
- b) a temperatura do ar,
- c) umidade do ar,
- d) as condições de vento.

Estes elementos atuam diferentemente sobre a edificação, seu entorno e usuários, como consequência das características específicas e variáveis do clima local. Embora os elementos básicos que caracterizam o clima de uma dada localidade, possam ser analisados de forma isolada, é indispensável não pender de vista que atuam de forma simultânea, pois não são variáveis independentes e resultam, em última

¹ A sensação de conforto é entendida como “uma condição da mente que expressa a satisfação com o ambiente térmico”, conforme qualificou Fanger (1970), a partir de seus estudos realizados em câmaras climatizadas. Embora o estudo se atenha a sensação de conforto térmico, emprega-se neste trabalho o conceito de forma ampla, referindo-se de forma geral a sensação de conforto.

análise, dos mecanismos de intercâmbio energético que ocorrem entre atmosfera do planeta, a superfície terrestre, a edificação e os usuários.

3.1 Atmosfera terrestre

A atmosfera é uma camada de gases e aerossóis que reveste a superfície terrestre e apresenta uma composição variável tanto no tempo como no espaço (AYOADE, 1983). Contudo, se desconsiderarmos as partículas em suspensão, os aerossóis e o vapor d'água sua composição se apresenta bastante estável até uma altitude de aproximadamente 80 km, conforme descrito na tabela 3.1.1.

Tabela 3.1.1 Composição da atmosfera - principais gases do ar seco

Gás	%
NITROGÊNIO	78,08
OXIGÊNIO	20,95
ARGÔNIO	0,93
DIÓXIDO DE CARBONO	0,035
NEÔNIO	0,0018
HÉLIO	0,00052
METANO	0,00014
KRIPTÔNIO	0,00010
ÓXIDO NITROSO	0,00005
HIDROGÊNIO	0,00005
OZÔNIO	0,000007
XENÔNIO	0,000009

Fonte: BARRY E CHORLEY, apud AYOADE, 1983

Oxigênio e nitrogênio participam com até 99% do volume de ar seco e limpo da atmosfera. Embora estes primeiros gases sejam elementos abundantes não tem importância muito significativa sobre os fenômenos que caracterizam os climas terrestres. Por sua vez, o dióxido de carbono, o ozônio e os aerossóis, com pequena participação na composição da atmosfera, têm uma influência significativa sobre os fenômenos que caracterizam o clima da Terra. Por ser um gás que absorve

eficientemente a energia radiante de onda longa² ($\lambda > 10^{-6}$) emitida pela terra, conforme a classificação apresentada na figura 3.1.1, o CO₂ influencia significativamente o fluxo energético na atmosfera, atuando como elemento de retenção do calor nas camadas mais baixas, permitindo assim temperaturas adequadas a manutenção da vida (GRIMM, 1999).

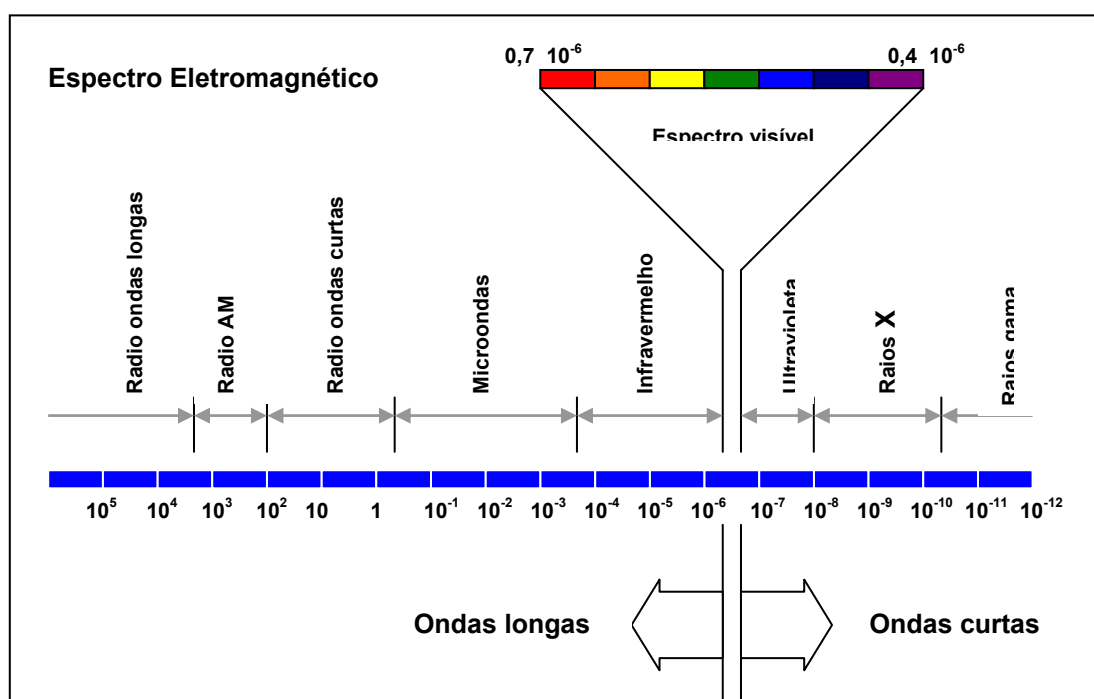


Figura 3.1.1 Comprimentos de onda das radiações do espectro eletromagnético. Fonte: adaptado de GRIMM, 1999.

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera vem crescendo nas últimas décadas em decorrência de atividades antropogênicas ligadas principalmente à queima de combustíveis fósseis.

Projeções do IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, indicam que a concentração poderá ser, em meados do século XXI, o dobro daquela verificada no início do século XX, provocando alterações drásticas no clima do planeta, caso medidas não sejam efetivadas para a redução da emissão desse e de outros gases responsáveis

² Refere-se como radiação de onda longa, as radiações que apresentam comprimento de onda (λ) maior que 10^{-6} m.

pelo efeito estufa (IPCC, 2001). A figura 3.1.2 apresenta as projeções do IPCC para os diversos cenários de possibilidades de crescimento da concentração de CO₂ na atmosfera.

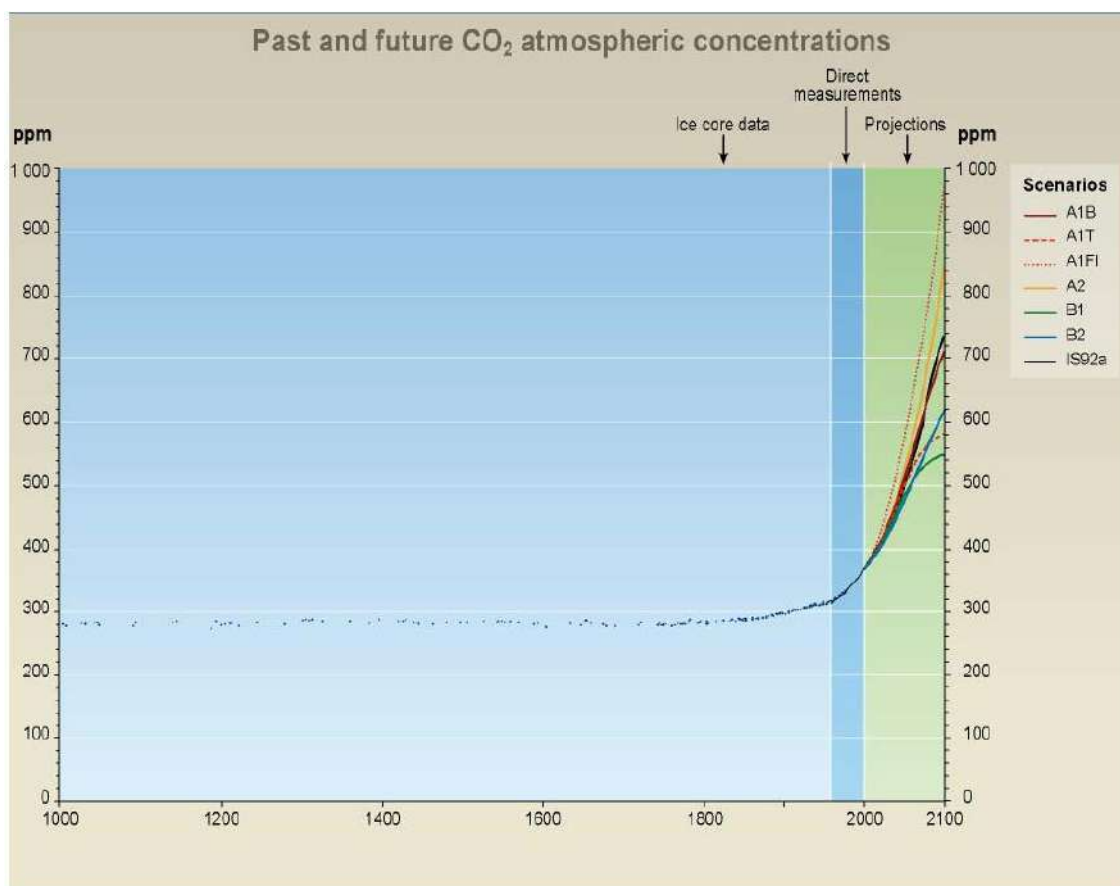


Figura 3.1.2. Concentração de CO₂ na atmosfera terrestre, segundo cenários do IPCC.

Fonte: IPCC, 2001.

O vapor d'água é um dos componentes mais variáveis dentre os gases constituintes da atmosfera, nos trópicos úmidos pode participar com até 4 % do volume, enquanto que nos desertos e regiões polares pode representar uma fração de apenas 1%. Sua importância para a formação dos climas locais decorre da necessidade de sua presença para a formação de nuvens, chuva e neve e também por ter grande capacidade de absorção da energia radiante emitida pela terra — na forma de ondas longas — como também de parte da energia solar direta. Junto com o CO₂ atua como

um elemento de retenção de calor nas camadas inferiores da atmosfera. Como a água é a única substância que pode existir nos três estados, nas temperaturas e pressões normalmente existentes na Terra, as mudanças de estado absorvem e emitem calor latente, promovendo assim uma distribuição dos fluxos térmicos através dos ventos e das precipitações (GRIMM, 1999).

O ozônio é outro gás que tem participação relativamente pequena na composição da atmosfera e uma distribuição não uniforme, concentrando-se nas camadas que estendem-se de 10 a 50 km de altitude. A distribuição deste gás na atmosfera varia em função da latitude, da estação do ano e também do horário, sua presença é vital para as condições climáticas e de vida no planeta, devido a sua capacidade de absorção da radiação ultra violeta.

Desde a década de 80 tem havido crescentes preocupações com a redução da camada de ozônio e ações tem sido implementadas no sentido de conter as atividades causadoras de sua destruição, com base em recomendações e compromissos estabelecidos pelo Protocolo de Montreal³.

Além dos principais gases componentes, a atmosfera contém partículas líquidas e sólidas em suspensão, denominadas geralmente de aerossóis. Alguns desses aerossóis são visíveis — gotículas de água e cristais de gelo — na forma de nuvens. A maior concentração encontra-se nas camadas mais baixas da atmosfera, próximas a sua fonte principal, que é a superfície terrestre.

Alguns aerossóis agem como núcleos de condensação para o vapor d'água e são importantes para a formação dos nevoeiros, nuvens e precipitações, outros podem absorver ou refletir a radiação solar incidente, influenciando na temperatura do ar.

³ As negociações que conduziram a assinatura do Protocolo de Montreal foram concluídas em 1987 e ratificadas pelo Brasil em 1989. Seu principal objetivo é: “Proteger a camada de ozônio mediante a adoção de medidas cautelatórias para controlar, de modo equitativo, as emissões globais de substâncias que a destroem, com o objetivo final da eliminação destas, a partir do desenvolvimento do conhecimento científico, e tendo em conta considerações técnicas e científicas; promover a cooperação internacional em pesquisa e desenvolvimento da ciência e de tecnologia relacionadas ao controle e à redução de emissões de substâncias que destroem a camada de ozônio, tendo em mente, de modo particular, as necessidades dos países em desenvolvimento.”

3.2 Radiação solar

O sol emite energia na forma de radiação eletromagnética — parcialmente interceptada pelo sistema Terra-atmosfera — constituindo-se na principal fonte que condiciona as características climáticas das diversas regiões do planeta. Contudo, a energia solar não é distribuída igualmente sobre a Terra; a desigualdade desta distribuição é causada principalmente pelos movimentos da Terra em relação ao Sol e também por variações da superfície terrestre e da atmosfera (SELLERS, 1965).

A radiação solar que atinge a camada superior da atmosfera terrestre é em média da ordem de 1367 W/m^2 ⁴ variando principalmente em função do período do ano, do período do dia, e da latitude.

A Terra percorre uma órbita elíptica em torno do Sol em seu movimento de translação, sendo a distância Sol-Terra variável no decorrer do ano, afetando deste modo a intensidade de radiação recebida. As variações na radiação recebida devido à variação da distância do Sol são pequenas. A energia solar recebida por uma superfície normal aos raios solares, por exemplo, é 7% maior em 3 de janeiro no perihélio do que no afélio no dia 4 de julho (AYOADE, 1988).

A altitude solar — ângulo formado entre os raios solares e a tangente à superfície no ponto de observação — altera a quantidade de radiação recebida; quanto maior for a altitude solar maior será a intensidade de radiação recebida por unidade de área. Por sua vez, a altitude solar é decorrência da latitude do local, do período do dia e da estação do ano. As estações são causadas pela inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao plano definido pela órbita Terrestre — plano da eclíptica.

Esta inclinação faz com que a orientação da Terra em relação ao Sol mude continuamente enquanto realiza seu movimento de translação. O hemisfério sul se inclina para longe do Sol durante nosso período de inverno e em direção ao Sol durante o verão, isso significa que a altitude solar para uma dada hora do dia varia no decorrer

⁴A constante solar é definida como a quantidade de energia solar recebida, por unidade de área, por uma superfície, que forme ângulos retos com os raios do sol no topo da atmosfera..

do ano. No hemisfério de verão as altitudes são maiores, os dias são mais longos e há mais radiação solar.

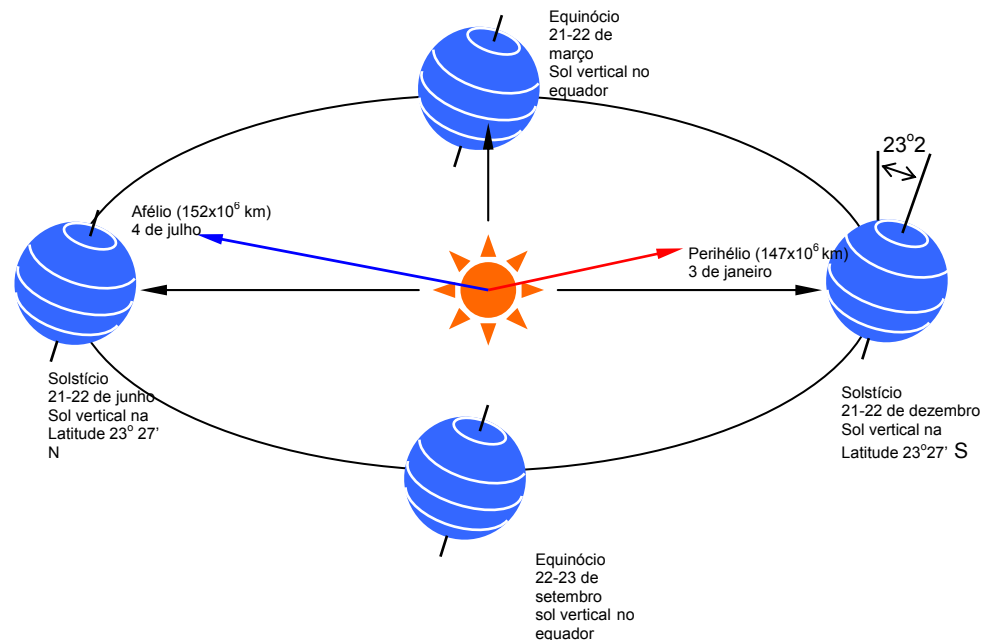


Figura 3.2.1 Movimentos terrestres.

No hemisfério de inverno as altitudes são menores, os dias mais curtos e há menos radiação solar. Há quatro dias especiais em relação à variação anual dos raios solares que atingem a Terra: no dia 21 ou 22 de dezembro os raios solares incidem verticalmente na latitude de $23^\circ 27'S$ (Trópico de Capricórnio) caracterizando o solstício de verão — dia mais longo do ano — para o hemisfério sul, e em 21 ou 22 de junho os raios solares incidem verticalmente na latitude de $23^\circ 27'N$ (Trópico de Câncer), caracterizando o solstício de inverno — dia mais curto do ano — para o hemisfério sul. A meio caminho entre os solstícios encontram-se os equinócios — dias e noites de igual duração. Nessas datas os raios verticais atingem a Terra no equador, latitude 0° . No hemisfério sul o equinócio de primavera ocorre em 22 ou 23 de setembro e o de outono em 21 ou 22 de março, como pode ser analisado na figura 3.2.1. A incidência de raios solares verticais ocorre portando entre as latitude $23^\circ 27'S$ e $23^\circ 27'N$, todas as localidade situadas na mesma latitude tem altitude solar idênticas. Se

apenas os movimentos relativos Terra-Sol fossem responsáveis pela definição das temperaturas, estes locais teriam temperaturas idênticas. (GRIMM, 1999).

3.3 Distribuição da Radiação

A radiação incidente sobre qualquer superfície não opaca, como a atmosfera terrestre, pode ser espalhada, refletida, absorvida ou transmitida. Já a radiação incidente sobre qualquer superfície opaca, como a superfície terrestre, é absorvida ou refletida. A absorvidade e a refletividade (albedo) da superfície são complementares, ou seja, fortes refletores são fracos absorvedores e vice-versa, como demonstrado na tabela 3.3.1.

Tabela 3.3.1 Albedo de algumas superfícies

Superfície	Albedo - %	Superfície	Albedo - %
Solo negro e seco	14	Gramados	15 – 30
Solo negro e úmido	8	Neve recém caída	80
Solo nú	7 - 20	Neve caída há dias ou semanas	50 – 70
Areia	15 - 25	Gelo	50 – 70
Floresta	3 – 10	Água – Altitude solar > 40°	2 – 4
Campos naturais	3 – 15	Água – Altitude solar 5 a 30°	6 – 40
Campos de cultivo secos	20 – 25	Cidades	14 - 18

Fonte: AYOADE, 1988.

Embora a atmosfera pareça ser transparente à radiação solar incidente, somente uma fração em torno de 25% atinge diretamente a superfície terrestre sem nenhuma interferência, constituindo-se em radiação solar direta, o restante é refletido de volta para o espaço, absorvido ou espalhado pela atmosfera.

São os gases e aerossóis que causam o espalhamento da radiação solar na atmosfera, dispersando-a em todas as direções. A radiação solar difusa é resultado desta radiação espalhada (ou refletida em todas as direções) na atmosfera, também responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem iluminação direta do Sol. As características do espalhamento dependem em grande parte do tamanho das moléculas dos gases e dos aerossóis, bem como do

comprimento de onda da radiação incidente. O espalhamento por partículas de raio bem menor que o comprimento de onda da radiação incidente, como é o caso do espalhamento da luz visível pelas moléculas de gases da atmosfera, está diretamente vinculado ao comprimento de onda. É denominado *espalhamento de Rayleigh*, sendo inversamente proporcional à 4ª potência do comprimento de onda: $E_{\lambda_s} \cong 1/\lambda^4$. Como grande parte da radiação solar está contida no intervalo visível, ver figura 3.3.1, entre o vermelho e o violeta, o espalhamento da luz azul ($\lambda \cong 0,425 \mu$) é aproximadamente 5,5 vezes maior que da luz vermelha ($\lambda \cong 0,625 \mu$), pois além de apresentar comprimento de onda menor, o azul representa uma parcela maior da radiação solar que o vermelho. Isto explica porque o céu, longe do disco solar é azul (AYOADE, 1988).

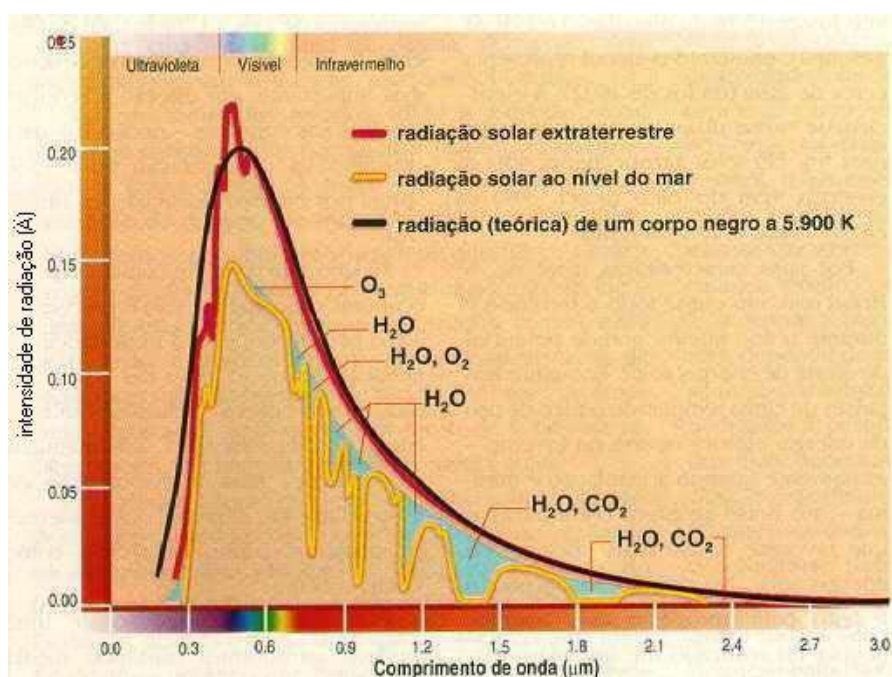


Figura 3.3.1 Espectro da radiação solar.
Fonte: INPE, 2003.

Quando a radiação é espalhada por partículas cujos raios se aproximam ou são maiores em até 8 vezes o comprimento de onda da radiação, o espalhamento é igual para todos os comprimentos de onda, sendo denominado *espalhamento de Mie*. As partículas que compõem as nuvens — cristais de gelo e gotículas de água — e a maior parte dos aerossóis atmosféricos espalham a luz desta maneira, desta forma as nuvens

apresentam uma coloração branca e quando a atmosfera apresenta uma concentração maior de aerossóis o céu todo parece esbranquiçado. Quando o espalhamento é causado por partículas com raio maior que 8 vezes o comprimento de onda, a distribuição da radiação espalhada obedece os princípios básicos da ótica geométrica, ocasionando uma variedade de fenômenos óticos, tais como arco-íris, auréolas, etc..

Aproximadamente 30% da radiação incidente na camada superior da atmosfera é refletida de volta para ao espaço sendo que cerca de 51% atinge a superfície terrestre; a maior parte desta energia é reirradiada para a atmosfera. A radiação terrestre ocorre em comprimentos de onda bem maiores que o da radiação solar, pois a superfície terrestre é bem mais fria que a superfície do Sol, situando-se entre 1 μm e 30 μm . É exatamente neste intervalo que a atmosfera terrestre funciona como um bom absorvedor de radiação. Tanto o vapor d'água como o dióxido de carbono são bons absorvedores neste intervalo, contudo o vapor d'água absorve aproximadamente 5 vezes mais radiação que os demais gases combinados e responde mais diretamente pelas temperaturas mais altas na baixa atmosfera. Como a atmosfera é bastante transparente à radiação solar — de ondas curtas — e mais absorvente para a radiação terrestre — de ondas longas — a superfície terrestre se constitui na maior fonte de calor para atmosfera (BARRY e CHORLEY,1976).

A importância do vapor d'água e do dióxido de carbono é significativa para regiões de clima montanhoso. Topos de montanha recebem mais radiação que os vales durante o dia, porque há menos atmosfera para atravessar, à noite porém, a atmosfera menos densa permite maior perda de calor; como resultado os vales apresentam temperaturas maiores que as montanhas adjacentes, mesmo recebendo menos radiação.

Do mesmo modo, o vapor d'água e o CO_2 , também são importantes para manter as temperaturas durante a noite. Uma camada de nuvens pode absorver a radiação terrestre e reirradia-la de volta, explicando porque em noites secas e claras a superfície terrestre se resfria bem mais que em noites úmidas ou com nuvens. Apenas uma cobertura de nuvens finas pode elevar a temperatura noturna em torno de 5 °C.

3.4 Balanço de energia

Há um balanço quase perfeito entre a radiação solar interceptada pela Terra e a quantidade de radiação que retorna ao espaço, caso contrário, o sistema Terra-atmosfera estaria se aquecendo ou se resfriando progressivamente (GRIMM, 1999). Tomando-se 100 unidades como equivalentes à radiação solar nas camadas superiores da atmosfera, teríamos 30 unidades refletidas para o espaço. Setenta (70) unidades são absorvidas, 19 pela atmosfera e 51 pela superfície terrestre. Se toda esta energia fosse reirradiada para o espaço o balanço seria bastante simples, mas os gases constituintes da atmosfera atuam no sentido de retardar as perdas de radiação terrestre, absorvendo grande parte dela e reirradiando para a superfície. Neste processo a superfície recebe grande quantidade de radiação de onda longa da atmosfera, cerca de 95 unidades; a atmosfera na realidade emite mais energia que a quantidade absorvida pela Terra devido ao efeito estufa.

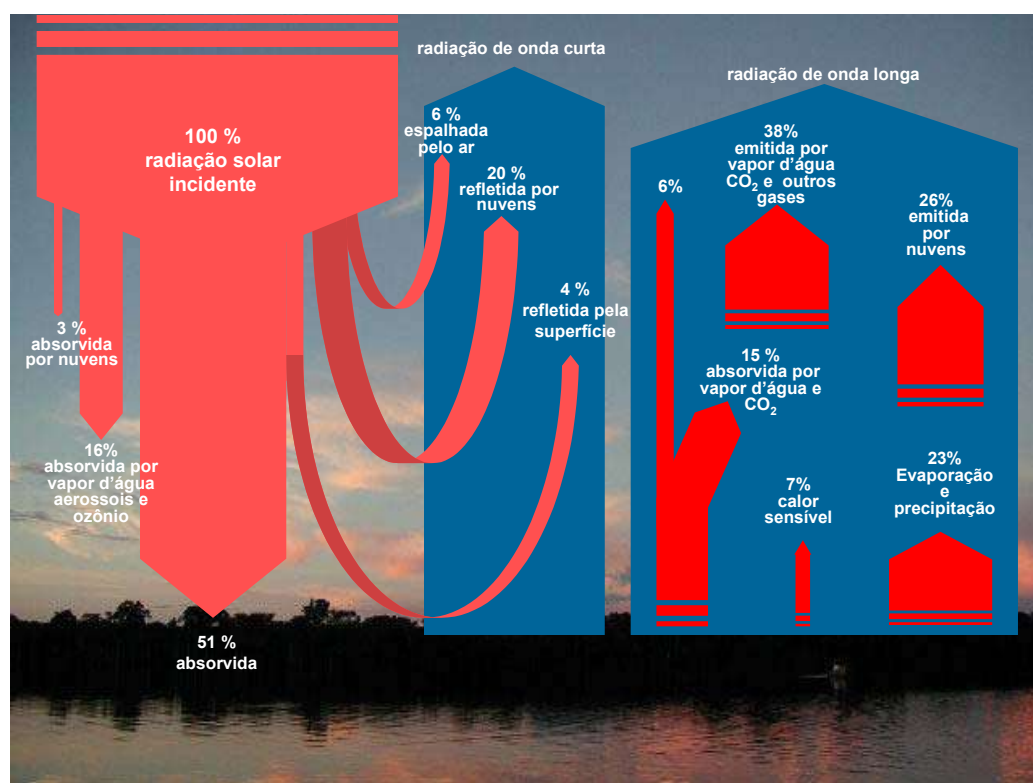


Figura 3.4.1 Balanço global de radiação.

Fonte: adaptado de GRIMM, 1999

A superfície da Terra, por sua vez, irradia 116 unidades de energia de onda longa para a atmosfera, portanto nesta troca — em onda longa — a atmosfera tem um ganho líquido de 15 unidades enquanto a Terra tem um a perda líquida de 21 unidades. As restante 6 unidades são perdidas diretamente ao espaço. Vinte e Três (23) unidades são transferidas para a atmosfera, através de calor latente, por moléculas d'água em processos de evaporação e 7 unidades, por calor sensível, em processos de convecção e condução. O equilíbrio global é obtido porque a atmosfera emite 64 unidades de energia para o espaço como radiação de onda longa, conforme pode ser verificado na figura 3.4.1.

No que diz respeito, especificamente, aos efeitos da radiação em uma edificação — elemento construído capaz de interpor barreiras que podem aprimorar as condições de conforto ambiental — pode-se classificar os intercâmbios térmicos que ocorrem com os componentes da edificação em função da origem e da característica da radiação, de modo a avaliar a parcela de contribuição para o desempenho térmico-ambiental da edificação (LAMBERTS, 1997):

- a) radiação solar direta, de onda curta,
- b) radiação solar difusa, de onda curta, proveniente da abóbada celeste,
- c) radiação de onda curta proveniente do solo e das superfícies adjacentes,
- d) radiação térmica (onda longa) proveniente do solo e dos objetos adjacentes com temperatura superior,
- e) radiação térmica (onda longa) emitida pelas superfícies da edificação.

Tanto a radiação solar direta (a) como a radiação difusa (b) são variáveis que dependem das características gerais do clima regional. Também são as mais intensas que participam deste intercâmbio térmico, podendo sob determinadas condições, condicionar globalmente o comportamento da edificação. Já a intensidade da radiação de onda curta refletida pelo entorno (c) depende mais diretamente das características refletoras das superfícies adjacentes à edificação. Após receber a radiação solar direta, estas superfícies se aquecerão emitindo em seguida radiação térmica. Este fenômeno ocorre também com as superfícies da própria edificação.

Parte da radiação solar direta, de onda longa, incidente sobre a edificação atinge o interior da edificação, através de suas janelas e demais aberturas envidraçadas, aquecendo seus elementos internos, que por sua vez, irradiam parte da radiação recebida na forma de calor. O vidro sendo praticamente opaco a radiação de onda longa impede que o calor saia, sobre-aquecendo o ambiente interno. Este fenômeno pode contribuir negativa ou positivamente para as condições de conforto interno das edificações, pois é o maior elemento de transformação de radiação solar em calor no interior de uma edificação.

3.5 Temperatura do ar

A temperatura do ar varia em função da hora do dia, das estações do ano e da posição geográfica, pois os elementos que interferem diretamente na sua condição — radiação, advecção de massas⁵ de ar, aquecimento diferencial da terra e da água, correntes oceânicas, altitude — também se alteram, porém diferentemente, com a modificação destes fatores.

Os fatores que mais interferem diretamente no balanço local de radiação e, conseqüentemente, na temperatura do ar são; (a) latitude, hora do dia, mês, que determinam a altitude solar, a intensidade e a duração da radiação solar incidente; (b) cobertura de nuvens, que altera tanto o fluxo de radiação solar como terrestre; (c) a natureza da superfície do entorno e o albedo da superfície e, portanto, a radiação absorvida e refletida. Como resultado da atuação destes fatores, a temperatura é usualmente mais elevada nos trópicos que em latitudes médias, mais elevada em janeiro que em julho (no hemisfério sul), mais elevada sob céu claro que nublado, mais elevada quando o solo esta descoberto que quando esta coberto de neve (GREGORCZUK e CENA, 1967).

⁵ A *advecção de massas de ar* se refere ao movimento de uma massa de ar de uma localidade para outra. A advecção de ar frio ocorre quando o vento sopra através de isoterms de uma área mais fria para outra mais quente. Na advecção de ar quente ocorre o inverso. As isoterms são linhas traçadas sobre um mapa, que unem pontos com mesma temperatura do ar.

O ciclo anual de temperatura reflete claramente a variação da radiação solar incidente ao longo do ano. Por isso, na faixa entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, as temperaturas variam menos durante o ano, enquanto em latitudes médias e altas variações maiores de temperaturas médias entre o inverno e o verão são verificadas. Em latitudes médias e altas a variação da temperatura média mensal está atrasada em aproximadamente 1 mês em relação a variação da insolação, o que reforça o argumento que não é apenas a radiação que determina a temperatura do ar.

Assim, como exemplo, em Curitiba ou Porto Alegre o mês mais frio é junho, porém o mês mais quente é fevereiro, como demonstra a figura 3.5.1, com intervalos entre os meses mais quentes e mais frios de 5 meses. Já em outras capitais a defasagem entre os meses mais quentes e mais frios é de 6 meses. Acrescenta-se que em cidades costeiras essa defasagem é um pouco maior e a amplitude da variação anual de temperatura é menor.

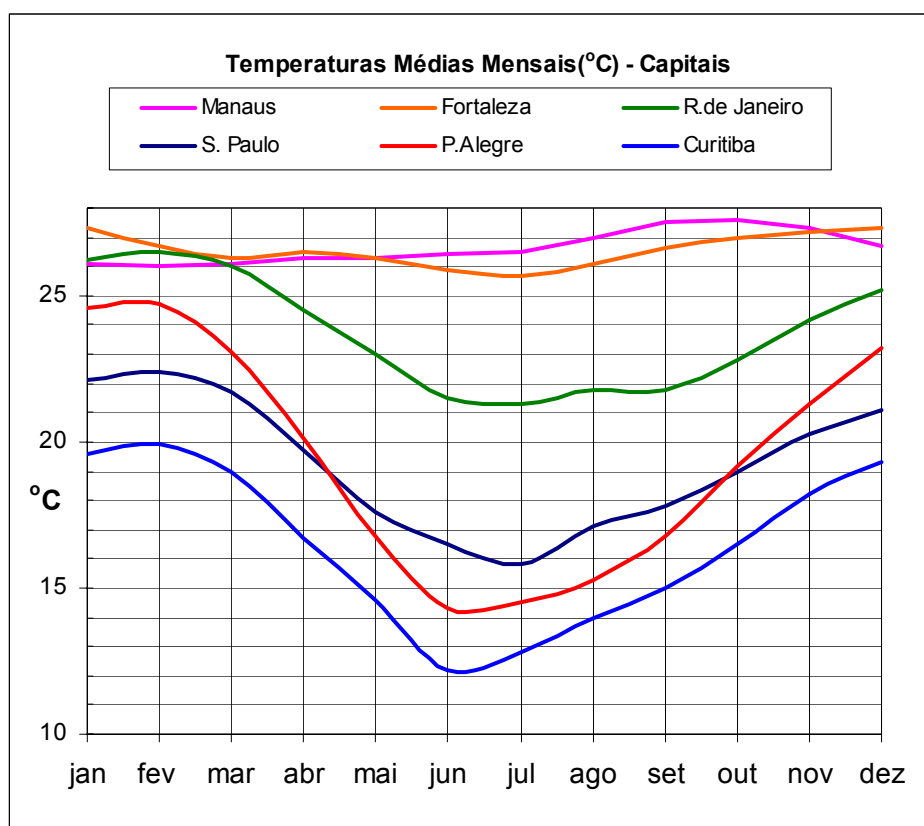


Figura 3.5.1 Temperatura média anual de algumas capitais.
Fonte: NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

O ciclo diurno de temperatura reflete o comportamento da radiação solar ao longo do dia, usualmente a temperatura mais baixa ocorre próximo ao nascer do sol como resultado do período noturno de resfriamento radiativo da superfície terrestre. A temperatura mais alta ocorre em geral no meio ou começo da tarde, enquanto instante de máxima radiação ocorre ao meio dia solar.

A defasagem entre temperatura e radiação resulta especialmente dos mecanismos de aquecimento da atmosfera e da superfície terrestre. Como o ar absorve pouca energia, sendo aquecido principalmente pela energia proveniente da superfície terrestre e a taxa com a qual a esta superfície fornece energia para a atmosfera não é equilibrada com a taxa com a qual a atmosfera irradia calor, geralmente, uma poucas horas após o período de máxima irradiação solar, o calor fornecido pela Terra à atmosfera é maior que o emitido pela atmosfera ao espaço. Consequentemente observa-se que a temperatura do ar é máxima no início do período da tarde.

A presença e a intensidade da nebulosidade contribuem para a redução da amplitude térmica diária, pois as nuvens bloqueiam a radiação durante o dia e reduzem a taxa de irradiação da superfície durante a noite. Localidades situadas a beira mar podem ter variações menores de temperatura durante o dia, pois o oceano, em um período de 24 hs., se aquece ou se resfria menos que $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, consequentemente, o ar acima dele tem menor variação de temperatura. Assim, as localidades situadas a sotavento⁶ tendem a apresentar menor amplitude térmica diária em função de um resfriamento noturno menor - noites mais quentes.

O aquecimento da superfície terrestre interfere diretamente na temperatura do ar em contato imediato com ela. Portanto as variações de temperatura do ar são dependentes das propriedades das diversas superfícies que recobrem o planeta, que refletem e absorvem energia de modo diferente. A maior diferença é observada entre terra e água. A terra não apenas atinge temperaturas altas mais rapidamente, como também se resfria e atinge temperaturas menores mais rapidamente que a água. Desta forma, as variações de temperatura do ar são maiores sobre a terra que sobre a água.

⁶ Sotavento: bordo oposto à direção que o vento sopra.

Diversos fatores contribuem para que o aquecimento/resfriamento da terra e da água sejam diferentes (GRIMM, 1999):

- a) Uma importante razão para que as temperaturas da superfície se alterem mais vagarosamente é o fato que a água se movimenta em todas as direções, causando turbulências que distribuem o calor recebido por uma massa maior. A variação diurna de temperatura na água pode alcançar 6 metros de profundidade ou mais e a variação anual pode atingir de 200 a 600 metros. Por outro lado na maioria dos solos constituintes da superfície terrestre o calor recebido permanece em uma camada superficial, sendo transferido por um lento processo de condução. As variações diurnas não alcançam mais de 10 cm enquanto as variações anuais raramente ultrapassam os 15 m.
- b) Sendo a superfície da água mais transparente, a radiação penetra mais profundamente que na terra.
- c) O calor específico da água é aproximadamente 3 vezes maior que da maioria dos solos que recobrem a superfície terrestre, portanto a água necessita bem mais calor para aumentar sua temperatura que a terra.
- d) A evaporação — um processo de resfriamento — é bem maior sobre a água que sobre uma superfície de terra.

A influência moderadora da água pode ser também verificada quando se compara a amplitude térmica anual entre latitudes do hemisfério norte e do hemisfério sul, conforme indica a tabela 3.5.1.

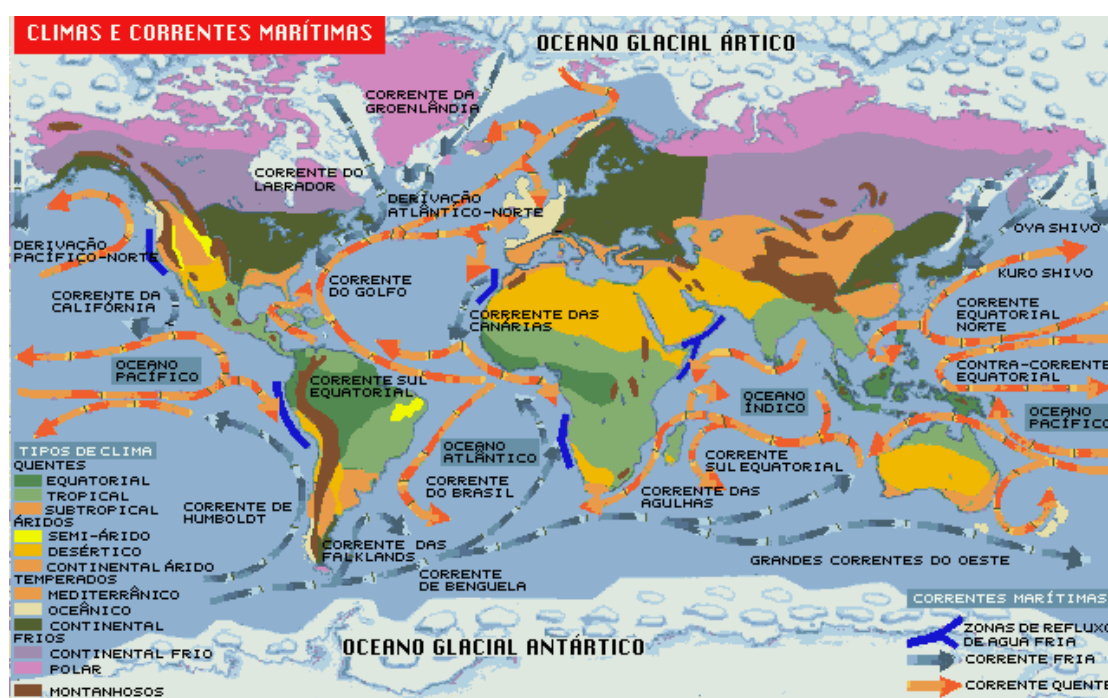
Como é sabido o hemisfério norte é coberto por 39 % de terra e 61% de água, já o hemisfério sul tem apenas 19 % de terra e 81 % de água. Entre as latitudes 45° N e 70° N há mais terra que água enquanto entre 40° S e 65° S quase não há terra.

Tabela 3.5.1 Variação da amplitude média em função da latitude

Latitude	Hemisfério Norte	Hemisfério Sul
0	0	0
15	3	4
30	13	7
45	23	8
60	30	11
75	32	26
90	40	31

Fonte: GRIMM,1999.

Os efeitos das correntes oceânicas sobre a temperatura do ar em áreas adjacentes são significativos em determinados climas, porém são muito variáveis em função das características específicas de cada corrente em questão. Normalmente as correntes oceânicas quentes que se dirigem aos pólos tem efeito de amenização das temperaturas baixas. Um exemplo famoso é a corrente do Atlântico Norte — praticamente uma extensão da corrente do Golfo — que produz temperaturas mais altas no oeste da Europa do que seria esperado para aquelas latitudes.

**Figura 3.5.2** Correntes oceânicas quentes e frias.

Fonte: FONSECA, V.

O efeito da aumento de temperatura causado por esta corrente quente pode ser sentido inclusive no interior do continente devido aos ventos dominantes de oeste. O efeito das correntes frias é mais pronunciado nos trópicos ou em latitudes médias durante o verão. A corrente de Benguela por exemplo, faz com que a cidade de Walvis Bay (23° S) seja 5°C mais fria do que a cidade de Durban, com uma latitude de 29° S.

A altitude é outro elemento capaz de alterar de maneira significativa a temperatura do ar. Apesar de estarem em latitudes semelhantes as cidades de São Carlos ($22^{\circ} 01' \text{ S}$ – alt. 856 m) e Campos do Jordão ($22^{\circ} 44' \text{ S}$ – alt. 1578 m) possuem temperaturas médias anuais que diferem em aproximadamente $4,7^{\circ}\text{C}$. Como a diminuição da temperatura média na troposfera, tomada na vertical, é da ordem de $6,5^{\circ}\text{C}$ por km, a diferença de temperatura verificada entre as duas cidades, não pode ser explicada apenas pela taxa de variação vertical, pois neste caso, a diferença de temperatura deveria ser de $6,2^{\circ}\text{C}$.

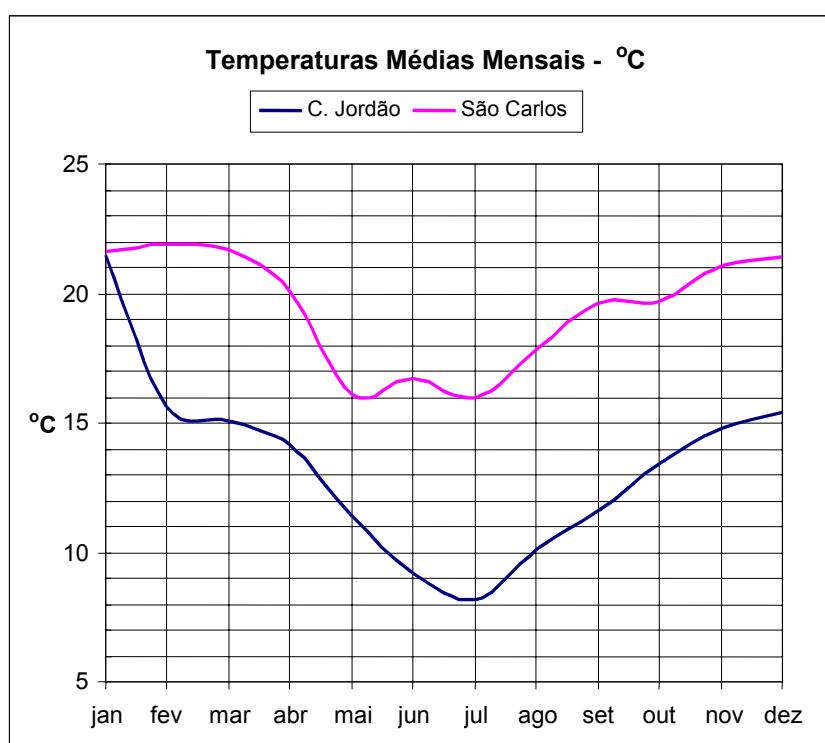


Figura 3.5.3 Variação anual da temperatura média.
Fonte: NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, 1992.

O fato de locais de maior altitude terem temperaturas maiores que aquelas calculadas através da taxa de variação vertical é resultado, basicamente, da absorção e reirradiação de energia pela superfície do solo.

Além de influir sobre a temperatura média a altitude também altera a amplitude do ciclo diurno de variação de temperatura. Como a densidade do ar diminui com a altitude, este absorve e reflete menos a radiação solar incidente. Conseqüentemente, com o aumento da altitude a intensidade da radiação solar incidente cresce, acarretando um aumento rápido da temperatura durante o dia e do mesmo modo, um resfriamento acelerado durante a noite.

A localização costeira pode ter grande influência sobre as condições de temperatura de uma determinada localidade. Uma cidade localizada na costa, com os ventos predominantes dirigidos do mar para a terra, e outra, em que os ventos predominantes são dirigidos da terra para o mar, podem ter diferenças consideráveis de temperatura. A primeira sofrerá a influência moderadora do oceano enquanto a segunda será condicionada por um regime de temperaturas mais continental, com maiores contrastes entre as temperaturas de verão e de inverno e mesmo maior amplitude da variação diária de temperaturas.

3.6 Circulação atmosférica

A transformação desigual do calor recebido pela Terra, resultante dos movimentos terrestres, de diferentes latitudes e coeficientes de absorção das superfícies fazem as camadas da atmosfera moverem-se diferentemente. Esses movimentos, resultantes da conversão de energia térmica em energia cinética, podem ser alterados por diversos fatores, como descreve MILLER (1971):

- ⇒ movimento de rotação do planeta que causa um gradiente de velocidades superficiais do equador para os pólos,
- ⇒ gradientes térmicos pontuais e,
- ⇒ diferenças de rugosidade superficial, entre outros.

Para os movimentos de ar que ocorrem em grande escala, duas classes de força atuam sobre a atmosfera. Aquelas que existem independentemente do estado de movimentação do ar, que são as forças fundamentais básicas sem as quais não ocorre a movimentação, produzidas pela atração gravitacional e por gradientes de pressão. E aquelas que se apresentam, apenas na existência de movimento, forças de atrito, centrípeta e de Coriolis⁷. A pressão atmosférica que atua em um ponto é proporcional a altura da camada de ar situada sobre ele, assim, a força que atua sobre partículas situadas em pontos distantes da superfície é menor que a situada em pontos mais próximos. Esse desequilíbrio de forças causa uma aceleração do fluido atmosférico em direção a região de menor pressão, ou seja de baixo para cima. A movimentação vertical é, portanto, resultante do balanço entre as forças gravitacionais e da componente vertical da força devida a diferença de pressão. Como todo corpo disposto sobre uma superfície giratória tende a girar no mesmo sentido da superfície, ao separar-se da superfície o corpo busca manter a rotação.

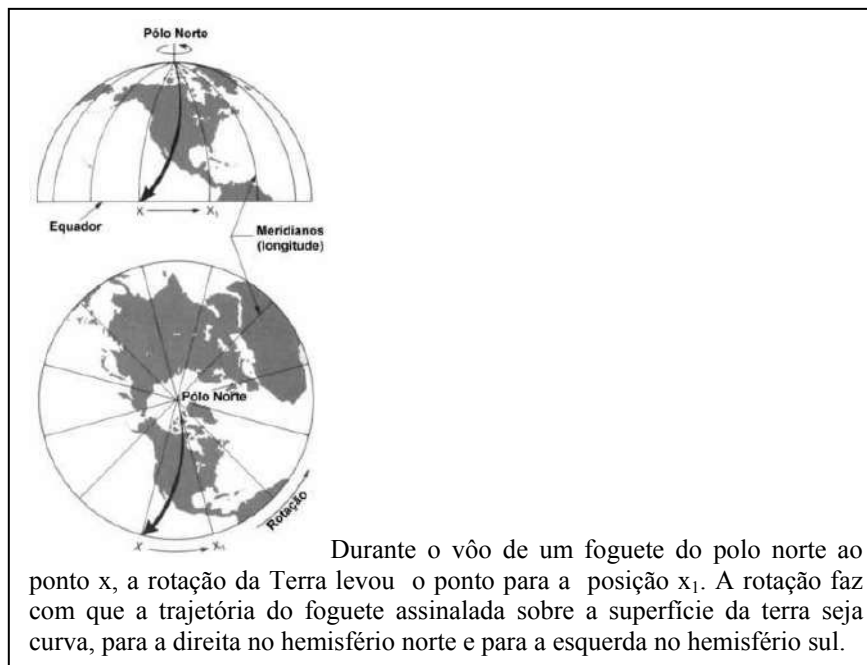


Figura 3.6.1 Força de Coriolis.

Fonte: adaptado de GRIMM, 1999.

⁷ A força de Coriolis foi descrita matematicamente pelo cientista francês Gaspard de Coriolis em 1835 e demonstrada pelo Meteorologista Willian Ferrel: “...por causa da rotação da Terra, há um aparente desvio dos objetos que se movem, inclusive o ar, para a direita de sua trajetória e movimentação, no hemisfério norte, e para a esquerda no hemisfério sul”.

Desta forma durante o movimento ascendente, o ar tende a girar no sentido da superfície do hemisfério terrestre sobre o qual ele se situa.

Movimentos horizontais também são afetados por essa rotação. Na presença de diferenças de pressão, a direção do movimento original - da região de alta pressão para a região de baixa pressão - é alterada progressivamente até que fique paralela às isóbaras⁸. O movimento horizontal resultante é chamado de vento geostrófico. A energia trocada pela superfície terrestre com a massa de ar que está mais próxima é proporcional a intensidade da radiação solar incidente, fazendo com que a massa de ar próxima ao equador seja mais aquecida que nos pólos. Este gradiente térmico causa variações diferenciadas na densidade do ar e de pressão - redução de densidade e redução de pressão no equador e o inverso nos pólos. Cria-se portanto, além de diferenças verticais de pressão, diferenças horizontais, que dão origem aos ventos térmicos.

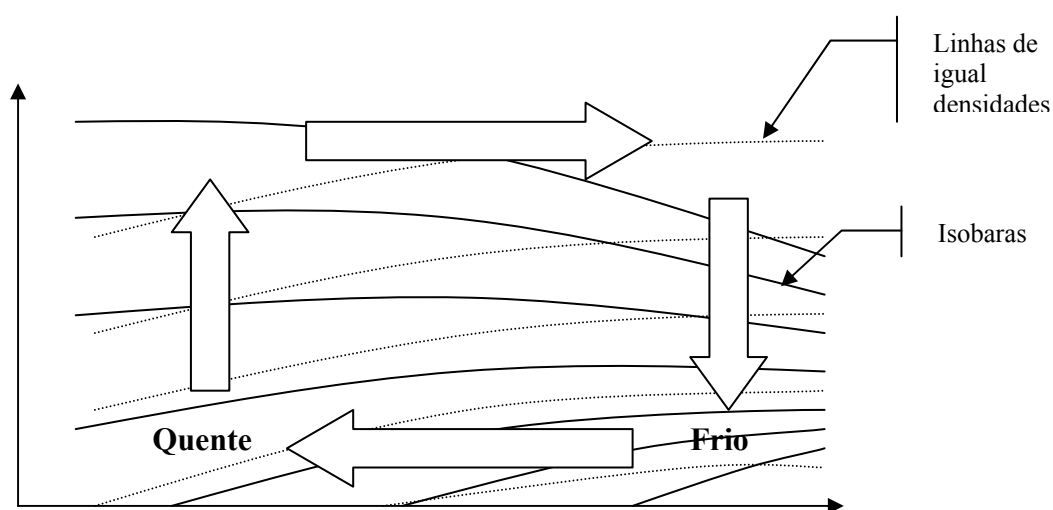
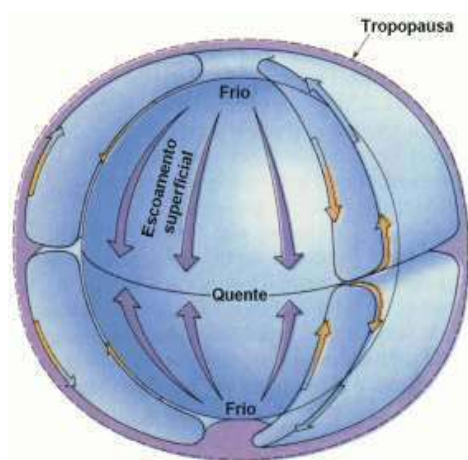


Figura 3.6.2 Diagrama de formação de ventos térmicos.
Fonte: Adaptado de Miller, 1971.

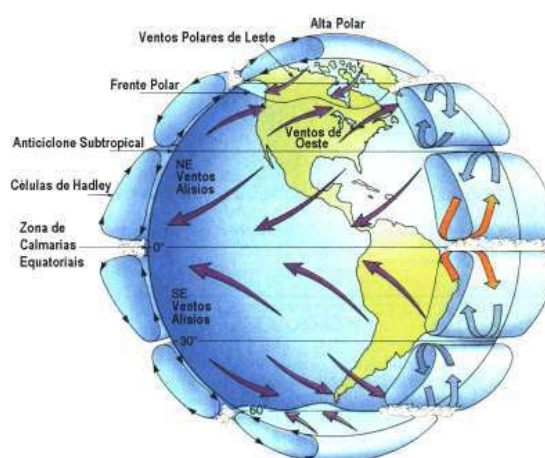
Um dos principais padrões de circulação atmosférica é, portanto, de ventos superficiais que se orientam dos pólos ao equador, com a contrapartida de ventos de altitude que se orientam do equador para os pólos. No entanto, os corpos que se movem do equador para os pólos tem a direção de seu movimento alterado pela força de

Coriolis. Assim os ventos superficiais adquirem uma componente Leste⁹ e os ventos de altitude uma componente Oeste.

No movimento de ar das camadas superiores em direção aos pólos, a temperatura se reduz a uma taxa de 1 a 2 °C por dia; ao chegar a latitude de aproximadamente 30° começa a “mergulhar”, aquecer-se e a se espalhar horizontalmente sobre a superfície. Parte desse ar retorna ao equador e parte segue em direção ao polo do hemisfério. A massa rumo ao equador modifica, por atrito, sua direção desenvolvendo uma componente Leste. Assim são formadas duas células de circulação tropical, com ventos de Sudeste no hemisfério Sul e de Nordeste no hemisfério Norte, conforma apresentado na figura 3.6.3. A porção que segue para os pólos ganha velocidade a medida que atinge altas latitudes, no entanto o atrito com a superfície remove parte de sua força, causando ventos moderados de Oeste.



Esquema de circulação geral atmosférica.



Células de circulação geral atmosférica.

Figura 3.6.3 Células de circulação atmosférica.

Fonte: CPTEC –INPE, 2003.

⁸Isóbaras: linhas de igual pressão atmosférica.

⁹ Os ventos recebem a denominação da direção de origem, desta forma, um vento leste sopra de leste para oeste.

Próximo aos pólos os ventos frios de leste encontram os ventos mais quentes das latitudes médias, criando uma frente polar. Nessa região o ar mais quente é forçado a subir sobre o ar polar e parte dele retorna em direção ao equador. Embora a força de Coriolis force a massa de ar para leste, ela apresenta um momento angular suficientemente forte para anular essa força e o fluxo resultante na célula intermediária se origina a Oeste em todos os níveis.

Nas latitudes médias, onde ocorrem as divisões das células de circulação geral as massas de ar adquirem um movimento ascendente em direção a um centro de baixa pressão ou descendente em direção oposta ao centro de alta pressão. Nestas condições ocorre a presença de ciclones e anti-ciclones, respectivamente, como pode ser visto na figura 3.6.4. Esses movimentos verticais giratórios, que atuam como centros de turbulências atmosféricas têm sua posição longitudinal definida pela descontinuidade das massa de água e de terra. Em relação a latitude têm sua posição alterada ao longo do ano em função da exposição dos hemisférios à radiação solar. (BLESSMANN, 1988; LONGLEY, 1970)

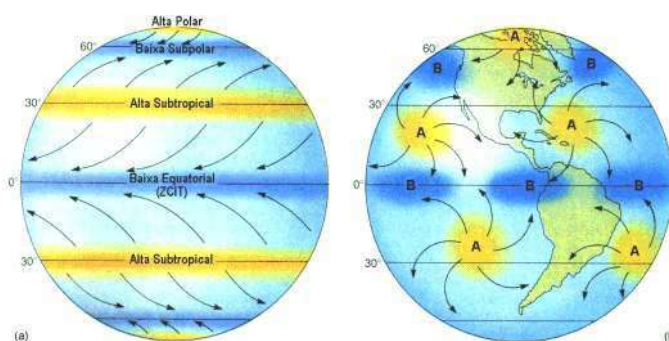


Figura 3.6.4 Áreas de formação de ciclones e anti-ciclones.
Fonte: CPETEC –INPE, 2003.

As alterações na circulação geral provocadas por ciclones e anti-ciclones são denominadas de circulação secundária. O conjunto formado pela circulação geral e secundária, e a interferência da força de atrito, definem um padrão médio de circulação superficial, demonstrado na figura 3.6.5.

Finalmente, diferenças de temperaturas localizadas sobre superfícies distintas (terra ou água) ou em níveis topográficos distintos dão origem a brisas locais, quando os ventos são fracos ou na ausência deles. Nestas condições são comuns as brisas de mar ou de terra e os ventos anabáticos (vale acima) e catabáticos (vale abaixo). No que se refere a ventilação urbana são de especial importância as brisas de campo.

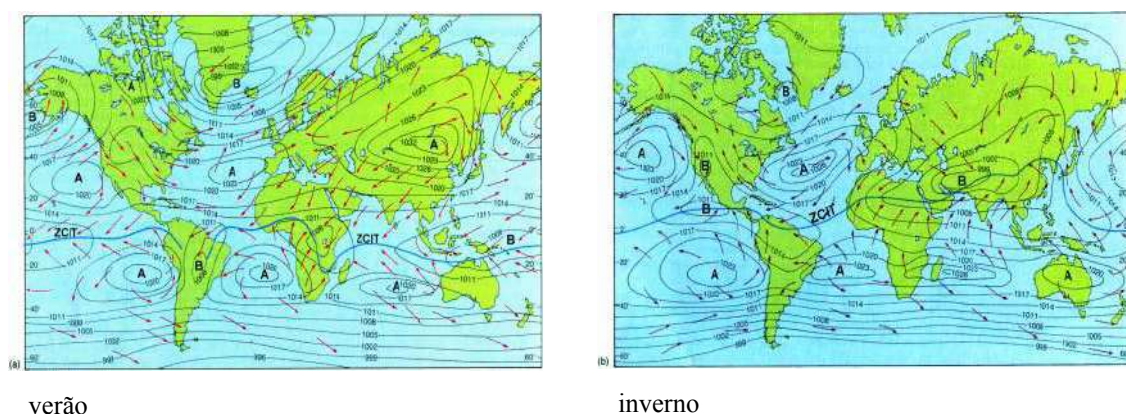


Figura 3.6.5 Ventos Superficiais verão e inverno.
Fonte: THE WEATHER CHANNEL, 2003.

Os ventos superficiais trocam massa e energia com as superfícies sob sua influência, portanto, suas características são alteradas pela descontinuidade e tipo de superfície e pelas alterações na topografia do local. A descontinuidade do tipo de superfície modifica o perfil de velocidades, de trocas de calor e de teor de vapor d'água. Cada elemento topográfico (colina, vale, árvore, rocha, etc.) ou elementos construídos causam perturbações no padrão do fluxo de ar. Dessa forma o vento de cada paisagem é único. As modificações e perturbações no fluxo são classificadas em três tipos (OKE,1987):

- ⇒ decorrentes de alterações moderadas da topografia,
- ⇒ decorrentes de alterações abruptas da topografia,
- ⇒ nas interfaces da mudança de rugosidade das superfícies.

No meio urbano as maiores temperaturas ocorrem nas áreas mais densamente construídas. Os materiais de construção de maior capacidade térmica, e a carência de água, causam maior acúmulo da energia transferida pela fração de radiação solar infravermelha. A energia reirradiada pelas superfícies causa maior aquecimento do ar adjacente. Assim, nas proximidades desse ponto o ar tem movimento ascendente. Já na zona em torno dos núcleos urbanos, a vegetação ameniza as temperaturas diurnas, devido aos fenômenos associados à fotossíntese e pela libertação de vapor d'água. Essas diferenças térmicas formam as ilhas de calor nas cidades, induzindo a formação de uma circulação entre o campo e a cidade.

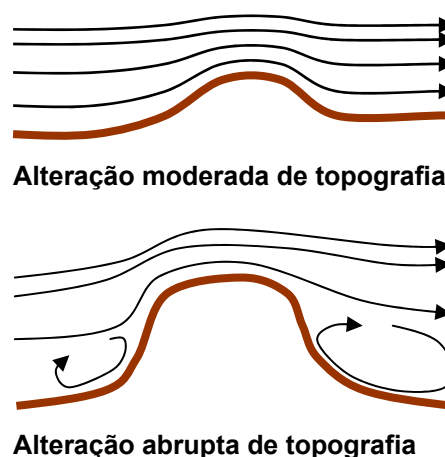


Figura 3.6.6 Perturbações decorrentes das alterações na topografia.
Fonte: adaptado de OKE, 1986.

O fluxo de ar das áreas adjacentes à cidade dá-se o nome de brisas de campo, são fluxos de ar suaves - abaixo de 3 m/s - intermitentes e próximos ao solo, com sentido da área rural para o centro da cidade, independentemente de regimes de fluxos de ar de maior escala. As brisas de campo são parte de um sistema relativamente instável, com padrões de fluxo que podem tomar outras direções preferenciais do ar, além dos movimentos de ar mono-direcionais do vento predominante (RAMÓN, 1980).

Esse tipo de movimentação de ar pode aumentar a concentração de poluentes sobre a cidade, mas não é capaz de produzir ventilação urbana adequada, uma vez que o ar circula apenas localmente. Tal processo só é eficaz como ventilação, se houver algum meio filtrante e refrigerador do ar, como a vegetação.

As ilhas de calor em grandes cidades tropicais e subtropicais quando comparadas com as de cidades similares na Europa e América, ou seja, em cidades de média latitude e fora da zona tropical, demonstram que a intensidade nas primeiras é menor que nas últimas (JAURENGUI, 1986). Atribui-se essa diferença a padrões de urbanização característicos de cidades tropicais, raramente encontrados em cidades de média latitude, ou seja: pequena altura e grande extensão horizontal da camada intra-urbana, grande proporção de vias não pavimentadas e pequena quantidade de áreas verdes nos arredores das cidades, normalmente ocupadas por favelas e bairros pobres. Assim, a separação entre cidade e campo é bem menos nítida que nas cidades de médias latitudes. Como o diferencial de temperatura entre o meio urbano e suas zonas circunvizinhas é menor em regiões de clima sub-tropicais ou tropicais, as brisas do campo têm menor importância na promoção do conforto térmico nessas cidades, pois o baixo gradiente de temperatura cidade-campo induz brisas de baixa intensidade.

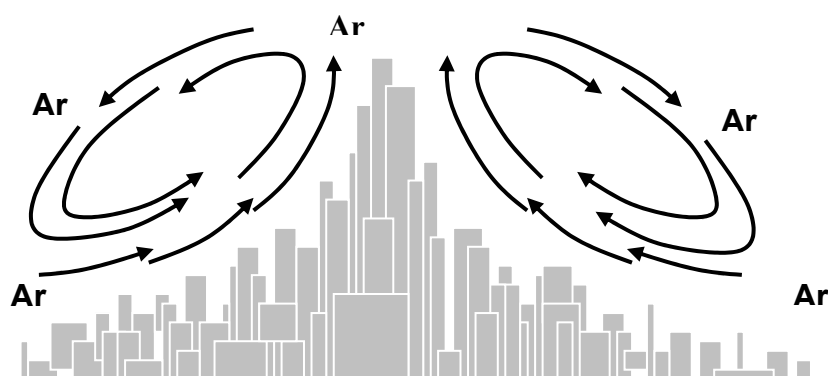


Figura 3.6.7 Perfil de ventilação no meio urbano.
Fonte: adaptado de PATERSON, 1995.

O vento em escala regional é responsável pela ventilação cruzada da cidade. Devido a sua intensidade, é o tipo de ventilação que, em regiões de clima quente,

auxilia o conforto térmico de seus habitantes, pois age como fluido de refrigeração de ambientes urbanos (CARMONA, 1986). Os ventos mais importantes para a ventilação de ambientes são aqueles que sopram com maior frequência, ou seja, os ventos predominantes. São normalmente ventos de baixa velocidade e associados a uma direção, que pode sofrer os efeitos da sazonalidade diária, mensal ou anual.

Dessa forma, a caracterização de movimentos de ar urbanos depende primeiramente das seguintes variáveis: velocidade e direção dos ventos regionais e gradiente de temperatura entre cidade e campo. Os ventos regionais condicionam a circulação urbana quando sua velocidade se impõe sobre as forças térmicas. A morfologia do espaço construído interfere nos ventos locais, enquanto os materiais de construção alteram o balanço energético, criando gradientes térmicos entre cidade e campo (OKE, 1987).

Com ventos regionais fortes, a rugosidade do meio urbano é dominante na indução de turbulências, enquanto que, com ventos fracos, as diferenças de pressão e efeitos de estabilidade atmosférica, são predominantes nas condições de vento. Geralmente, sob ventos regionais fracos, a velocidade tende a aumentar em cidades, devido à forte estabilidade atmosférica rural e ao aumento da turbulência sobre as cidades. Já a velocidade dos ventos fortes é reduzida nas áreas urbanas devido ao atrito provocado por suas estruturas. Esses fatores fazem com que o fluxo de vento através da cidade tenha velocidades médias cerca de 20 a 30% menores que a dos ventos que sopram pelas áreas adjacentes.

Na camada intra-urbana, as diversas regiões da cidade apresentam condições de ventilação distintas, em função de suas características geométricas, da orientação de suas artérias, bem como de outros parâmetros que causam perturbações aerodinâmicas, como a presença e o tipo dos obstáculos. Em última análise, as condições de ventilação localizada são influenciadas principalmente pelo conjunto de elementos que compõem seções transversais das ruas, ao longo do seu comprimento, porém são geralmente mais suaves, que os ventos gerais predominantes. No entanto, efeitos de canalização e de túnel de ventos podem ocorrer, dependendo sobretudo da orientação e da morfologia da paisagem.

Denomina-se vale urbano o conjunto formado pelos elementos que compõem um volume de ar no meio urbano, tomando-a análoga a um vale. O vale é composto por três superfícies fechadas (laterais e base) e três superfícies abertas (limites superior e longitudinais). A geometria do vale urbano é uma das determinantes mais importantes do vento na escala da rua

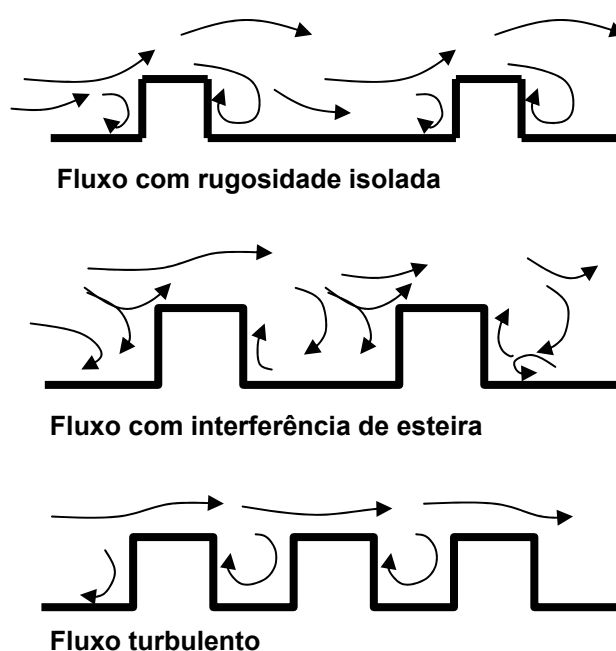


Figura 3.6.8 Condições de vento em vale urbano.
Fonte: adaptado de OKE, 1986.

A interferência da geometria de seções transversais de vales urbanos no fluxo de ar perpendicular a eles é classificada de três formas (OKE, 1988):

- a) Fluxo com rugosidade isolada (isolated roughness), quando o vale é largo e suficiente para que os obstáculos dispostos de um lado da secção não interfiram no fluxo de ar que atinge os obstáculos do lado oposto;
- b) Fluxo com interferência de esteira (wake interference), quando a esteira turbulenta resultante do choque do fluxo de ar com os obstáculos dispostos de um lado da secção interferem no fluxo de ar que atinge os obstáculos do lado oposto;

c) Fluxo turbulento (skimming flow), quando o vale é tão estreito que o fluxo é desviado para cima dos obstáculos, resultando apenas um movimento turbulento no espaço entre eles.

A rugosidade máxima ocorre entre a interferência de esteira e o fluxo turbulento, ou seja, para relações altura dos obstáculos/largura do vale próximas a 0,65, e para densidade construída - projeção da área construída/área total da superfície horizontal - em torno de 0,25. Nesses casos, o vento superficial é amenizado ao máximo e portanto obtém-se maior proteção em relação a ventos fortes. Esse valor condiciona também o limite da boa circulação no interior do vale, que promove a limpeza das partes baixas e a difusão vertical ascendente de poluentes (OKE 1988).

A circulação em uma área urbana é diferente da somatória dos padrões de circulação ao redor de edificações, no entanto reconhece-se alguns padrões básicos de ventilação, com regularidade definida, no comportamento de ventos em áreas urbanas, tais como (ALBERTS, 1982):

- ⇒ a altura e o afastamento relativo dos edifícios influem na turbulência superficial - nas áreas com edificações baixas, a turbulência é pequena, crescendo com o aumento de altura dos edifícios,
- ⇒ em ruas largas, a velocidade do vento é maior que em ruas estreitas; o mesmo ocorre na comparação da velocidade do vento em ruas longas e curtas,
- ⇒ em implantações com ruas curtas, as maiores velocidades de vento ocorrem quando o vento atinge o eixo da rua em ângulos pequenos,
- ⇒ as maiores velocidades de vento obtidas nas ruas ocorrem no cruzamento das vias e à meia distância entre duas vias perpendiculares,

⇒ em implantações onde se configuram pátios fechados amplos (seja no interior de quadras, seja como em praças), a velocidade do vento depende da relação entre a área do pátio e a área construída,

⇒ reduzindo-se o tamanho desses pátios, a velocidade do vento será reduzida em seu interior, com aumento de turbulência, mas se ele inexistir ou for muito pequeno, ocorrerão ventos fortes nas ruas adjacentes.

4. CONDIÇÕES DE CONFORTO

Em sua relação com o ambiente físico, o organismo humano — respondendo a estímulos provenientes do meio, tais como: luz, som, calor, ventos, ambiente construído, entre outros — busca adaptar-se ao entorno imediato utilizando o mínimo de energia possível, através de um conjunto de reações de ordem fisiológica e psicológica. Estas reações são, em geral, respostas às condições ambientais que um determinado espaço arquitetônico pode propiciar. Contudo, a sensação de conforto não é dependente apenas dos estímulos que o ambiente — construído e/ou utilizado pelo homem — pode propiciar, mas também das experiências pessoais anteriores de cada indivíduo, que, espontaneamente orientam as reações em função de suas necessidades, expectativas e aspirações.

Em princípio, os estímulos do meio podem ser mensurados com mais facilidade que as sensações, pois estas correspondem ao sentimento e à avaliação subjetiva sobre o ambiente que ocupam. As condições de conforto ambiental e, conseqüentemente, a sensação de conforto, expressa pela satisfação com o ambiente ocupado, envolvem um conjunto significativo de fenômenos interrelacionados, que podem ser agrupados em um conjunto representativo de exigências mínimas. Em linhas gerais, estas exigências correspondem as características gerais que um ambiente deve apresentar para o desempenho adequado e confortável de diversas atividades humanas. As exigências que interferem mais diretamente na sensação de conforto, estão bem descritas na classificação adotada pela norma ISO 6241 (ISO-International Organization for Standardization, 1970), como sendo:

- a) exigências de conforto higrotérmico — relativo às condições de temperatura e umidade do ar,
- b) exigências de conforto visual — relativo aos aspectos relacionados à iluminação, aparência dos ambientes, envoltória e aberturas para o exterior,

- c) exigências de conforto acústico — relativo aos níveis de ruído, ao isolamento acústico e reflexão das superfícies,
- d) exigências de conforto táctil — relativo às condições de eletricidade estática, rugosidade, umidade e temperatura das superfícies,
- e) exigências atmosféricas — relativas à qualidade do ar e presença de odores.

Embora sejam diversos os elementos que contribuem para a sensação de conforto, caracterizada pela intensidade das respostas fisiológicas e psicológicas do indivíduo ao meio ambiente que o cerca, a satisfação com o ambiente térmico tem sido denominada como predominante na manifestação desta satisfação (XAVIER, 2000). É um pré-requisito, sem o qual a avaliação posterior dos demais parâmetros não pode ser realizada adequadamente, pois modifica sensivelmente as formas de percepção das demais condições ambientais. Além das reações de carácter subjetivo aos estímulos do meio ambiente físico, outros fatores podem contribuir para a sensação de conforto térmico, tais como: idade, raça, sexo, adaptabilidade ao meio, atividade física realizada.

Considerando apenas as inter-relações não subjetivas com o meio físico, os principais mecanismos que interferem na sensação de conforto térmico são decorrentes das trocas térmicas, entre o corpo e o ambiente, que se realizam através de quatro processos básicos: radiação, condução, convecção e evaporação.

Visando compreender os mecanismos que comandam esta interação, estímulos térmicos do meio e reações do organismo humano, diversos pesquisadores buscaram identificar os elementos básicos indispensáveis que conduzem à sensação de conforto térmico¹.

¹A definição do termo *conforto térmico* foi primeiramente proposta por Fanger, em 1970, como sendo “...uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, posteriormente adotada nas normas ASHRAE 55 e ISO 7730.

4.1 Índices de conforto

Como as condições de conforto térmico são predominantes para a sensação de satisfação com o ambiente construído, torna-se necessário o estabelecimento de critérios e valores de referência para a correta avaliação do ambiente térmico que a edificação propicia. Com o intuito de quantificar as reações do organismo humano frente as variações térmicas do ambiente, buscou-se a estruturação de índices e/ou sistemas de avaliação que expressassem esta relação de causa e efeito.

A partir dos estudos desenvolvidos pioneiramente por OLGYAY em 1963, visando a estruturação de índices de conforto térmico, foram elaborados, por vários pesquisadores, os denominados diagramas e/ou cartas de conforto térmico, que buscam delimitar, sobre diversos tipos de monogramas, os parâmetros físicos que definem os limites e contornos das zonas de conforto térmico (OLGYAY, 1963). Como parâmetro inicial para a avaliação da temperatura OLGYAY utilizou um índice denominado Temperatura Efetiva² (*TE*), posteriormente adotada pela ASHRAE, como sendo a temperatura efetivamente percebida pelo corpo humano, para definir sua zona de conforto, considerando a atividade como sedentária e o índice de vestimenta de 1 clo³.

As escalas dos índices e/ou dos diagramas de conforto térmico, desenvolvidos a partir de então foram estruturados em termos da avaliação de manifestações subjetivas dos usuários, graduadas de acordo com a sensação de conforto ou desconforto térmico manifestada, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos ambientais.

O aperfeiçoamento nesse campo do conhecimento evoluiu sensivelmente a partir dos estudos realizados por FANGER em 1970, que propôs uma equação geral de conforto térmico, com a finalidade de estimar o efeito da combinação das diversas variáveis ambientais, como: temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante

²A temperatura experimentada pelo ser humano, depende da temperatura do ar e da taxa de perda de calor do organismo, sendo denominada temperatura fisiológica. Dos diversos índices de temperatura fisiológica o mais utilizado é o índice de Temperatura Efetiva (*TE*) que, sob condições de ligeiros movimentos de ar é dada pela equação: $TE = 0,4 (TBS + TBU) + 4,8$ onde, *TBS* é a temperatura de bulbo seco e *TBU* é a temperatura de bulbo úmido, medidas em °C.

³ O clo (do inglês - clothing) representa a resistência térmica da vestimenta utilizada, sendo sua unidade correspondente a 0,155 kW/ m².

média, velocidade do ar, nível de atividade física e características da vestimenta (FANGER, 1970).

Sua formulação resultou na definição de um índice, denominado *Voto Médio Estimado* (*PMV – Predicted Mean Vote*), que analisa a sensação térmica subjetiva dos indivíduos.

Os resultados que conduziram suas conclusões foram obtidos em pesquisa, com 1296 usuários (dinamarqueses e norte americanos) submetidos à condições controladas de ambiente interno. O índice PMV foi usado, a partir de então, na predição da resposta média de um grupo de pessoas, de acordo com a escala sétima⁴ de sensações da ASHRAE, variando de -3 a +3, dado pela expressão:

$$PMV = [0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028] \cdot L \quad [4.1]$$

onde:

PMV = voto médio estimado, ou sensação analítica de conforto.

M = taxa metabólica de produção de calor em função da atividade, W/m².

L = carga térmica atuando sobre o corpo. W/m².

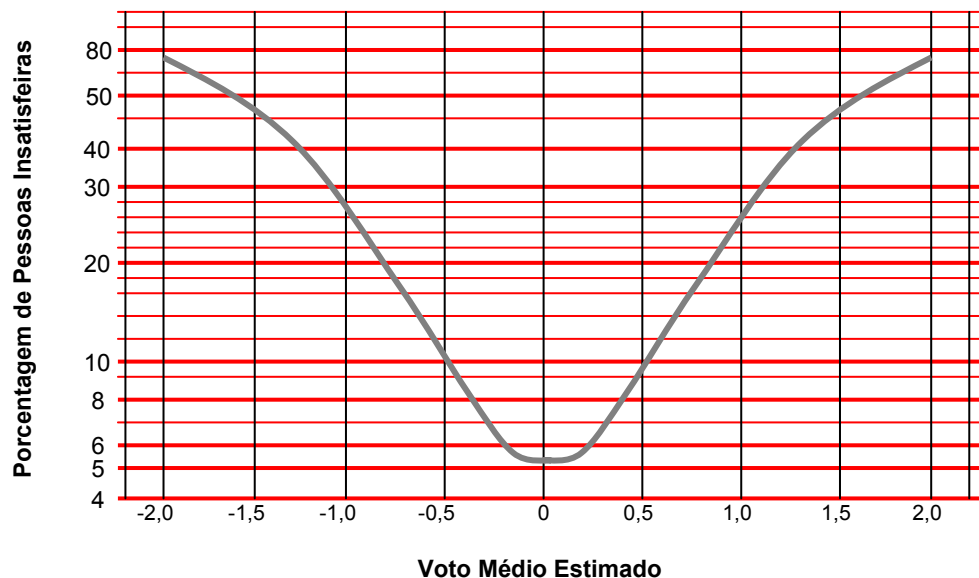


Figura 4.1.1 Diagrama *PMV/PPD* – Fanger.

⁴ A escala sétima é uma escala subjetiva de avaliação da sensação térmica do ser humano em relação ao ambiente térmico em que se encontra, conforme informa a Tabela 4.1.1

Tabela 4.1.1 Escala de sensações - ASHRAE

Insuportavelmente quente	+ 3
Quente	+ 2
Ligeiramente quente	+ 1
Neutro	0
Ligeiramente frio	- 1
Frio	- 2
Insuportavelmente frio	- 3

Ao índice *PMV* foi, posteriormente, incorporado o conceito de *Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied)* de modo a suplementar a avaliação dos indivíduos acerca do ambiente térmico, que pode ser definido pela expressão (XAVIER, 2000):

$$PPD = 100 - \left(95 \cdot e^{\left(-0,0335 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2 \right)} \right) \quad [4.2]$$

Em 1981, as conclusões de FANGER foram incorporadas à carta de conforto da norma ASHRAE 55-1981, revisada em 1992 (ASHRAE, 1992). Em continuidade, as normas ISO-7730 em 1984, também incorporaram as conclusões de suas pesquisas e recomendam que para conforto nos espaços de ocupação humana, o *PPD* deve ser menor que 10%, o que corresponde a uma faixa de variação do *PMV* de -0,5 a +0,5 (ISO, 1994). Uma abordagem correlacionada e resultante das pesquisas realizadas resultou na definição de diversas cartas e/ou diagramas bioclimáticos onde associam-se informações complementares, como:

- a) Comportamento climático do entorno,
- b) A previsão de estratégias indicadas para a correção desse comportamento climático por meio do desempenho esperado na edificação,
- c) As zonas de conforto térmico.

4.2 Cartas bioclimáticas de Olgyay e Givoni

OLGYAY foi um dos primeiros estudiosos das interações entre o ambiente construído/clima/conforto humano que propôs a definição da chamada Zona de Conforto como sendo aquela região com as condições climáticas gerais em que o organismo humano consome a menor quantidade de energia para adaptar-se ao seu entorno imediato (OLGYAY,1963). Seus estudos conduziram a elaboração de uma carta climática em que são visualizados, para condições externas variáveis, os limites de conforto térmico, informando, conseqüentemente, as medidas necessárias para a correção das inadequações.

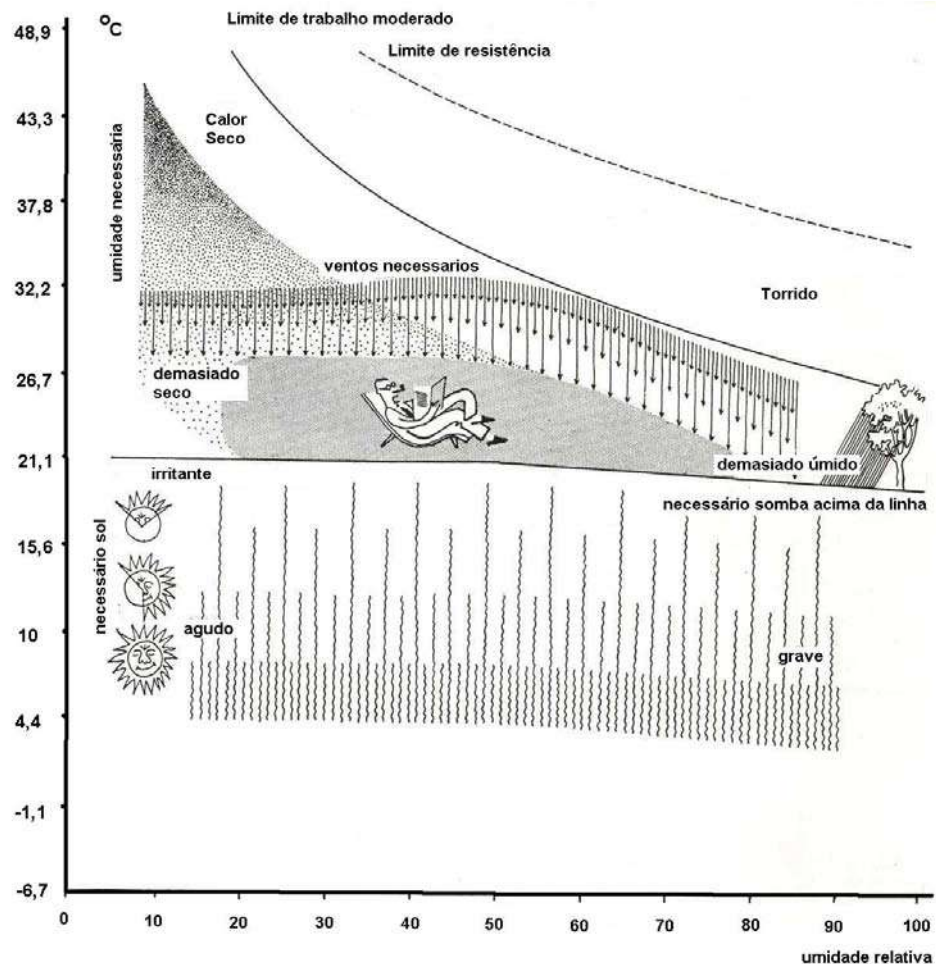


Figura 4.2.1 Carta de Olgyay.

Fonte: OLGAY, 1998.

Uma outra carta bioclimática foi também desenvolvida por GIVONI (1969), objetivando corrigir o que considerou como limitações da carta bioclimática concebida por OLGAY. A diferença principal é que o diagrama de OLGAY é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o das temperaturas (temperatura de bulbo seco) e o eixo horizontal o das umidades relativas, sendo a carta de GIVONI traçada sobre uma carta psicrométrica convencional. Outra diferença importante para ser destacada, é que GIVONI se baseia nas temperaturas internas da edificação. Já o diagrama de OLGAY aplica-se para as condições externas. OLGAY argumenta que as temperaturas internas que apurou foram muito próximas das temperaturas externas, sugerindo que seu diagrama deva ser utilizado principalmente para edifícios leves em regiões úmidas. Apesar do diagrama de OLGAY ser estruturado a partir das condições externas, as estratégias de projeto sugeridas no diagrama são para a adequação das condições no interior da edificação. No caso da carta de OLGAY, os limites de conforto foram obtidos de pesquisas anteriores efetuadas por diversos fisiologistas e, no caso de GIVONI, foram baseadas num índice de conforto térmico, desenvolvido por ele mesmo, denominado de ITS^5 (*Index of Thermal Stress*), de caráter biofísico.

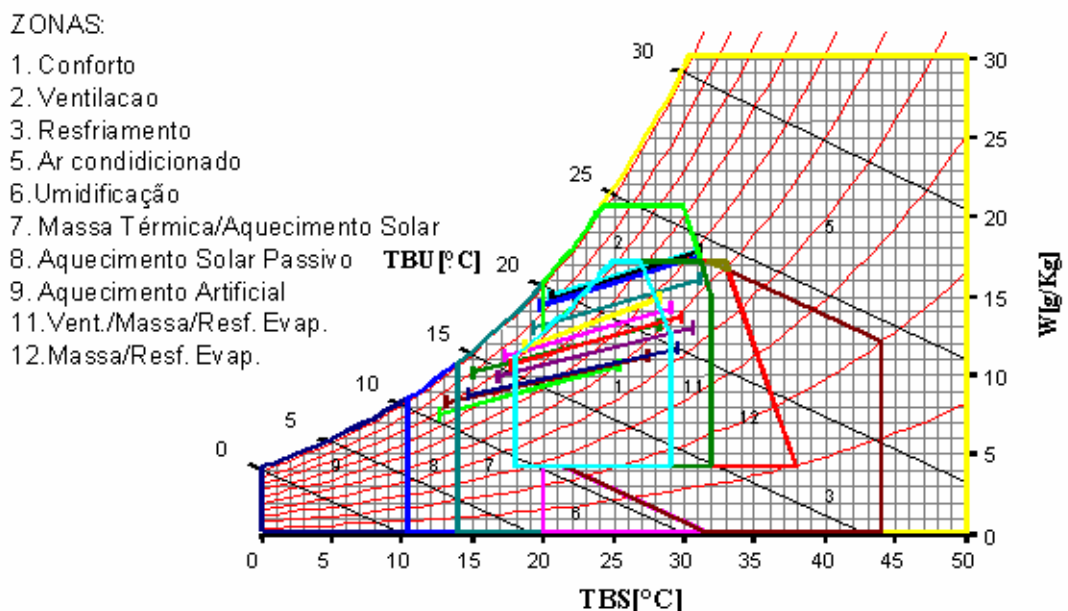


Figura 4.2.2 Diagrama de Givoni.

Fonte: adaptado do programa ANALYSIS.

⁵ O ITS (*Index of Thermal Stress*) é um índice de avaliação da resposta biofísica do organismo as condições térmicas do ambiente, desenvolvido pelo próprio GIVONI.

Na carta de OLGYAY as condições de temperatura e umidade são plotadas como curvas fechadas ou ciclogramas das médias diárias (hora por hora), para cada mês, de uma dada localidade. Na carta de GIVONI, as condições climáticas são representadas, mês a mês, por dois pontos, cujas coordenadas são as médias mensais dos valores extremos de temperatura e umidade diária do ar externo, o que não impede que sejam plotadas condições climáticas com a periodicidade que se desejar. A carta serve para se averiguar a exigência humana e o rigor do clima local, bem como a contribuição das soluções arquitetônicas (IZARD e GUYOT, 1983).

Como uma evolução dos estudos desenvolvidos até então, GIVONI (1992) propôs uma correção de sua própria carta bio-climática, com o objetivo de adaptá-la as condições usualmente verificadas em países em desenvolvimento e de clima quente e úmido, o que resultou em uma expansão dos limites máximos superiores de temperatura de conforto.

Nessa carta, portanto, estão demarcadas diferentes áreas para climas temperados (países desenvolvidos) e para climas quentes (países em desenvolvimento), indicando limites para as condições climáticas, dentro das quais várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural podem garantir conforto térmico adequado. As opções gerais apresentadas para as estratégias são: ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento evaporativo direto e resfriamento evaporativo indireto.

A variação de temperaturas sugeridas por GIVONI, para as condições aceitáveis de pessoas que habitam países desenvolvidos, é 18°C a 25°C no inverno e de 20°C a 27°C no verão. Para países em desenvolvimento e de clima quente, GIVONI sugere elevar em 2°C a temperatura limite máxima, elevando também em 2g/kg o valor do conteúdo de vapor. Com referência a velocidade do ar, segue-se a determinação da ASHRAE que especifica um limite máximo de 0.8 m/s no interior de escritórios. Entretanto, em edifícios residenciais, o limite para velocidade do ar pode estar baseado em sua contribuição para conforto térmico.

As condições internas de temperatura em edifícios não condicionados são largamente dependentes da variação do clima externo. Pode-se citar como exemplo, que uma temperatura interna variando de 20°C de manhã até 26°C de tarde no verão é comum em edifícios não condicionados e que a velocidade do ar interno em edifícios com ventilação cruzada é próxima de 2 m/s. (BUSCH, 1992)

Resumidamente os limites sugeridos por GIVONI para a zona de conforto térmico de países com clima quente e em desenvolvimento são:

- ⇒ verão - em situação de umidade baixa, as temperaturas diárias devem estar compreendidas na faixa entre 25 °C e 29°C,
- ⇒ verão - em situação de umidade alta, as temperaturas diárias devem estar compreendidas na faixa entre 25 °C e 26°C, podendo chegar a 32°C com ventilação de 2,0 m/s.
- ⇒ inverno - a variação de temperatura diária deve situar-se na faixa de 18 °C a 25°C.
- ⇒ com relação à umidade, os limites da zona de conforto são de 4,0 g/kg a 17g/kg e 80% de umidade relativa.

4.3 Zona de conforto de Szokolay

Os estudos e trabalhos de SZOKOLAY resultaram na formulação de uma outra zona de conforto, denominada *Zona de Potencial Controle - CPZ*, que também é apresentada sobre o diagrama psicrométrico, delimitando o potencial de várias estratégias passivas de controle, tais como aquecimento solar, efeito de massa, efeito do movimento de ar e resfriamento evaporativo. Os limites de temperaturas (temperatura de bulbo seco) definidos para a zona de conforto no método *CPZ*, varia de 18,5°C a 28,5°C (SZOKOLAY, 1995).

A proposta formulada por SZOKOLAY permite o cálculo de limites específicos para a zona de conforto de uma dada região, dependendo somente das temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio da região de estudo. Os dados climáticos utilizados pelo método são simples, pois são usadas apenas as temperatura médias das máximas e máximas mensais e o desvio padrão das mesmas. O uso desta base simples de dados propicia quase a mesma confiabilidade que uma base de dados horários, com a vantagem de sua fácil obtenção.

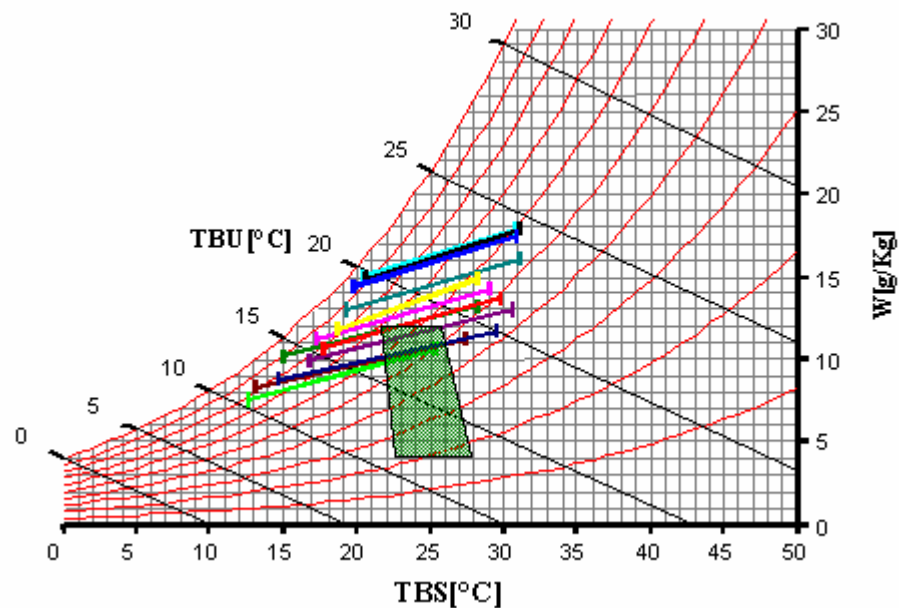


Figura 4.3.1 Zona de conforto de SZOKOLAY

Em sua metodologia, a zona de conforto é delimitada acima e abaixo pelas linhas de umidades absolutas que variam de 12g/kg e 4g/kg, respectivamente. O procedimento para a construção da zona de conforto de verão e de inverno é o mesmo, repetindo-se o processo para a temperatura média do mês mais quente e para a temperatura média do mês mais frio. A zona de conforto de inverno é construída calculando-se a temperatura neutra (T_n):

$$T_n = 17,6 + 0,31 T_{mf} \quad [4.3]$$

onde:

T_n = temperatura neutra

T_{mf} = temperatura média do mês mais frio.

Os limites para a temperatura de bulbo seco são: $t_n - 2$ e $t_n + 2$, plotados na curva de 50% de umidade relativa da carta psicrométrica.

A zona de conforto esta delimitada lateralmente pela linhas característica dos índices de *Temperatura Efetiva Padrão (SET – Standatd Effective Temperature)*⁶ correspondentes. Segue-se, então, a plotagem do clima da região sobre a carta psicrométrica. Cada mês pode ser representado por dois pontos definidos pela temperatura média das máximas com a umidade da tarde e a média das mínimas com a umidade da manhã. Os dois pontos de cada mês são interligados por uma linha reta. A relação das 12 linhas com a zona de conforto permite uma indicação visual do problema climático que afeta a região.

4.4 Zonas de conforto - ASHRAE

A zona de conforto da ASHRAE estabelece limites para temperatura do ar e umidade na carta psicrométrica, considerando pessoas em atividade sedentária. Tais limites devem ser mantidos por sistemas mecânicos. Esta zona de conforto foi concebida para ser aplicada em edifícios de escritórios com ar condicionado, contudo, pode também ser usada na avaliação da condições ambientais internas de edifícios residenciais.

As temperaturas limites da zona de conforto ASHRAE são:

⇒ para o verão: (23°C TE a 26°C TE), nas seguintes condições: vestimenta igual a 0.5 clo; metabolismo menor ou igual a 1,2 met; velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s; PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) igual a 10%.

⁶ A *Temperatura Efetiva Padrão – SET* (Standart Effective Temperature) foi adotada pela ASHRAE, a partir de estudos desenvolvidos por GAGGE, como sendo: “...a temperatura de um ambiente fechado isotérmico, com velocidade do ar abaixo de 0,15 m/s, umidade relativa de 50%, onde pessoas em atividade sedentária, vestidas com roupas de 0,6 clo, teriam os mesmos valores de suor e temperatura média de pele que os ocupantes de um ambiente real não uniforme” (NEVINS E GAGGE, 1972).

⇒ para o inverno: (20°C TE a 23.5°C TE), nas seguintes condições: vestimenta igual a 0.9 clo; metabolismo menor ou igual a 1.2 met⁷; velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s.

Tabela 4.4.1 Taxas metabólicas

Atividade	Taxas Metabólicas	
	W/m ²	met
Deitado, reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório)	70	1,2
Atividade leve em pé (compra, lavatório, indústria leve)	93	1,6
Atividade média em pé (balconista, trabalho doméstico, em máquinas)	116	2,0
Andando em nível:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Fonte: ISO 7730/94

Tabela 4.4.2 Índice de resistência térmica de vestimentas - clo

Vestimenta	clo	Vestimenta	clo
Meia calça	0,10	Camisa manga longa	0,25
Meia fina	0,03	Camisa de flanela – manga longa	0,30
Meia grossa	0,05	Blusa – manga longa	0,15
Calcinha e sutiã	0,03	Saia grossa	0,25
Cueca	0,03	Vestido leve	0,15
Cuecão longo	0,10	Vestido longo – manga longa	0,40
Camiseta de baixo	0,09	Jaqueta	0,35
Camisa de baixo – manga longa	0,12	Calça fina	0,20
Camisa manga curta	0,15	Calça média	0,25
Camisa fina – manga longa	0,20	Calça flanela	0,28
Sapatos	0,04		

Fonte: ISO 7730/94

O índice de *Temperatura Efetiva (TE)* da ASHRAE é normalmente visto como um padrão para o ambiente interno de espaços com ar condicionados, sendo mais usado em habitações de países com climas temperados.

⁷ met: Índice relativo as trocas térmicas do corpo humano com o ambiente. 1 met equivale ao calor produzido/trocado com o ambiente por uma pessoa sentada em repouso, aproximadamente 58W/m².

Sua aplicação em países de clima tropical não é recomendável sem as devidas correções, para a incorporação dos efeitos da aclimação, decorrentes de costumes e características das vestimentas usualmente utilizadas.

4.5 Aclimação térmica

O efeito da aclimação térmica pode ser verificado, especialmente, quando se compara o resultado de estudos realizados em países de clima temperado com países de clima tropical. A pesquisa realizada em Bangkok, Tailândia, por BUSCH, em cerca de 1100 funcionários de edifícios de escritórios, evidencia respostas diferentes aos estímulos do meio, daquelas obtidas para climas temperados e também respostas distintas de usuários de edifícios climatizados naturalmente ou artificialmente (BUSCH,1992). A pesquisa foi realizada em dois edifícios com ar condicionado e em outros dois edifícios com ventilação natural, com o propósito de verificar a viabilidade da adoção de padrões de conforto diferentes daqueles desenvolvidos em países de climas temperados, pois o padrão usual das edificações de escritório nestes países incorpora sistemas de condicionamento artificial, e comparar as repostas aos estímulos do ambiente interno nas duas situações de condicionamento ambiental.

O estudo foi feito nas estações típicas do clima do país: em abril (estação quente) e em julho (estação úmida). A terceira estação existente, a estação fria, não foi relevante para o estudo de resfriamento. Cada um dos quatro edifícios estudados foi visitado nas duas estações. O questionário aplicado buscava avaliar a sensação subjetiva sobre a variação da escala térmica, seguido por uma avaliação do consumo recente de alimentos e bebidas. Em separado, constava uma lista para a caracterização de roupas para homem e mulher, concluindo com uma seção de fatores demográficos. A classificação subjetiva da variação térmica adotou a escala de sete pontos de sensação térmica da ASHRAE, a escala de três pontos de preferência térmica de MCINTYRE⁸, e

⁸ As escalas de preferência térmica (*como você gostaria de estar se sentindo agora?*) visam identificar o estado fisiológico das pessoas em relação ao ambiente térmico no exato momento da pergunta. McIntyre (1976, *apud*. Nicol, 1993) propôs uma escala de preferência térmica dividida em apenas três pontos, respondendo a pergunta - *eu gostaria de estar me sentindo: 1) mais quente, 2) assim mesmo, 3) mais refrescado.*

duas outras escalas de sete pontos para a percepção de velocidade de ventos e umidade (MCINTYRE, 1976 *apud* NICOL, 1993).

A pesquisa indicou que os funcionários de escritórios na Tailândia, nos dois ambientes interiores estudados, têm sensibilidade à modificação das condições térmicas semelhantes a pessoas pesquisadas em outras localidades. A neutralidade térmica das pessoas questionadas nos edifícios com ar condicionado não foi diferente das pessoas questionadas em países de clima temperado. Entretanto, a resposta de neutralidade térmica nos edifícios ventilados naturalmente, correspondeu a temperaturas mais elevadas. Essas disparidades explicam-se pelas roupas mais leves e pela maior ventilação nesses locais. A exemplo de outros estudos realizados em regiões tropicais, o estudo desenvolvido na Tailândia confirmou uma maior tolerância ao calor, se comparado com os resultados de pesquisas em climas temperados ou em ambientes climatizados e que os contrastes entre as amostras extraídas dos dois tipos de edifícios indicam um processo de aclimatação dos seus usuários aos seus respectivos ambientes condicionados e não condicionados.

Em 1994 DEAR realizou no norte da Austrália, um experimento semelhante ao patrocinado pela ASHRAE e realizado por SCHILLER e sua equipe, em 1988, em São Francisco, no qual mais de 2300 visitas foram feitas a funcionários em 10 edifícios de escritórios (SCHILLER, 1988). Esse estudo foi utilizado como referência para a pesquisa na Tailândia. Entretanto, por ter sido realizado apenas em clima mediterrâneo, não se pode generalizar a resposta obtida acerca/a respeito das condições e sensações de conforto para outros climas mais extremos do que os encontrados na baía de São Francisco (DEAR, 1994).

A pesquisa no norte da Austrália pode ser considerada quase como uma repetição da pesquisa em São Francisco, exceto quanto às condições climáticas, que foram de uma região com clima quente e úmido. A pesquisa de DEAR coletou dados em 12 edifícios de escritórios com ar condicionado, localizados na cidade tropical de Townsville, Austrália. Um total de 836 pessoas forneceram informações relativas à sensação de conforto percebida em uma estação úmida e, em uma estação seca.

As principais conclusões obtidas da pesquisa indicam que a neutralidade térmica, de acordo com a escala de sete pontos da ASHRAE, ocorreu em torno de 24,4 °C em ambas as estações, onde a temperatura preferencial de 23,5°C, foi um grau mais fria que a neutralidade térmica. A aceitabilidade térmica de 90% ocorreu para a temperatura de 23,5°C, caindo a 80% para as temperaturas de 22,5°C e 24,5°C.

4.6 Estudos realizados no Brasil

Dentre os diversos trabalhos desenvolvidos no país acerca da avaliação e desenvolvimento de métodos para definição de índices e condições de conforto térmico destaca-se a pesquisa realizada RORIZ e BASSO. Estes profissionais estudaram dez métodos utilizados para determinar em quais condições um ambiente se torna termicamente agradável. Nesse estudo, os autores aplicaram, para cada um dos dez métodos, as mesmas condições climáticas, comparando os resultados. Como existem divergências relacionadas aos aspectos conceituais, variáveis climáticas e abordagens metodológicas, tornou-se necessário algumas adaptações para viabilizar a comparação (RORIZ e BASSO, 1991).

As condições climáticas utilizadas foram as dos dias típicos de verão e inverno para Porto Alegre. Os dez métodos estudados foram: 1-Evans (Argentina); 2-Fanger (Dinamarca); 3 - Givoni (Israel); 4-Humphreys (Inglaterra); 5-Lotersztain e Murature (Argentina); 6- Mahoney (Inglaterra); 7-Olgay (USA); 8-Rivero (Uruguai); 9-Szokolay (Austrália); e 10-Vogt e Miller Chagas (França). Os autores chegaram à conclusão de que os diversos métodos estudados não divergem quanto as condições extremas - inverno em Porto Alegre - porque são óbvias, todavia, quanto aos limites de conforto - verão em Porto Alegre - existem divergências, pois os métodos não coincidem principalmente nos horários de transição entre dia e noite.

São diversos os métodos desenvolvidos para avaliar e definir as condições adequadas de conforto térmico, sendo a maioria deles desenvolvidos para serem aplicados em países de clima temperado, onde não apenas as condições climáticas são diferentes das verificadas no Brasil, mas também as condições e características e

técnicas construtivas e condições de acesso aos recursos utilizados para climatização artificial. Embora os limites máximos e mínimos das temperaturas de conforto possam variar em função de características regionais e culturais, verifica-se que em média, as diferenças se situam entorno de 1,5 °C.

Assim, para efeito de definição de um parâmetro nacional, pode-se afirmar que a adoção dos limites mais usualmente empregados na normatização internacional, como referência para uma regulamentação nacional, não implicará em erros maiores do que aqueles intrínsecos das metodologias das diversas pesquisas já realizadas e da possível comprovação da necessidade de aprimoramentos e revisões periódicas. A tabela 4.6.1 apresenta um resumo dos limites de conforto térmico de algumas das metodologias aplicadas para a determinação de índices de conforto ou para a definição das chamadas zonas de conforto em termos de temperaturas máximas e mínimas e condições de umidade.

Tabela 4.6.1 Temperaturas limites de diversas metodologias

Metodologia	temperatura		umidade		Observações
	mínima	máxima	mínima	máxima	
ASHRAE 55-92	>23 °C TE >20 °C TE	<26 °C TE <23,5 °C TE	>4,5 g/kg e 30%	< 60%	Verão Inverno
GIVONI - original	>21 °C	<26 °C <25 °C	>5mm Hg	<17mm Hg e 80%	Baixa umidade Alta umidade
GIVONI – 92			>4 g/kg	<80% e 15 g/kg	
Países Desenvolvidos	>20 °C >18 °C	<27 °C <25 °C			Verão Inverno
GIVONI – 92			>4 g/kg	<80% e 17 g/kg	
Países Em desenvolvimento	>25 °C	<29 °C <26 °C		Baixa umidade Alta umidade	Verão
SZOKOLAY	>18 °C T _n ± 2	<25 °C	>4g/kg	<12 g/kg	Inverno Varia c/ clima
OLGYAY	20,5 °C	27,8 °C	18 %	77 %	

Fonte: GOULART et al, 1994.

5. ADEQUAÇÃO CLIMÁTICA E ENERGIA

5.1 Ventilação.

A ventilação é uma estratégia de resfriamento que conduz à perda de calor dos ambientes internos devido a renovação do ar, permitindo a sensação de conforto, através do aumento das trocas térmicas por convecção na superfície do corpo. O conforto por meio desta estratégia, pode ser obtido de forma direta ou indireta e sua eficácia depende das condições climáticas de cada região. A maioria dos climas do Estado de São Paulo apresenta uma estação predominantemente quente no verão, com um nível considerável de umidade. Estas características são apenas temporárias e sazonais, indicando a necessidade de ventilação em quase todas as regiões climáticas do Estado de São Paulo, inclusive com localidades onde é necessária também no inverno.

Vários estudos, que tratam do tema podem ser tomados como referência para a definição das formas corretas de utilização desta estratégia, mas não se deve perder de vista as características climáticas locais e a necessidade de se compatibilizar o projeto da edificação com situações opostas, especialmente quando houver uma estação fria, pois sob tais condições as exigências podem ser bastante distintas e a ventilação excessiva pode conduzir ao desconforto.

Em climas quentes e úmidos a ventilação é importante durante todos os períodos do dia, desde que a temperatura externa encontre-se menor que a temperatura da pele. Em regiões de climas quentes e secos, a ventilação diária indiscriminada pode levar a grandes equívocos (KOENIGSBERGER et. al., 1980).

Qualquer que seja a característica climática da região, especialmente em regiões frias e úmidas, deve-se considerar que a eficácia da estratégia de ventilação é fortemente dependente do teor médio de umidade absoluta do ar.

OLGYAY (1963) realizou estudos de laboratório, através dos quais definiu padrões de fluxo de ar interno nas edificações, associados à velocidade de ventos. Sua carta original indica que pode-se obter condições adequadas de conforto até o limite da velocidade de vento de 4m/s. Na revisão de sua carta, realizada para regiões de clima tropical, esta velocidade foi ampliada para 6m/s. Contudo, ao se analisar a primeira carta bioclimática de GIVONI (1976) observa-se que são adotadas zonas de ventilação com velocidades não superiores a 1,5m/s, também por considerar que até este valor, há compatibilidade com as atividades de escritório.

Como já citado anteriormente, na revisão da carta de GIVONI (1979), foi considerada uma velocidade de até 2m/s, na zona em que há indicação da estratégia de ventilação (GIVONI, 1979). Este novo valor permitiu uma ampliação das zonas de conforto, inicialmente formuladas para a aplicação em países desenvolvidos de clima temperado e para países em desenvolvimento de clima quente, onde o fator de aclimação foi levado em consideração.

As zonas onde a estratégia de ventilação é indicada para restituir as condições de conforto variam de carta para carta, estendendo-se da linha de 80% até a linha de 100% de umidade relativa. As velocidades de circulação de ar devem respeitar os demais critérios estabelecidos a partir das exigências de conforto fisiológico, sendo que o limite máximo, para não levantar papéis em locais com atividades típicas de escritório, é de 1m/s.

Para edificações residenciais, podem ser adotados limites de velocidade de vento mais flexíveis, porém, é importante salientar que os detalhes do projeto da edificação devem acompanhar as avaliações que indicam necessidade de ventilação, uma vez que, para ser efetiva, deve ser realizada ao nível do corpo dos ocupantes. Os parâmetros de velocidade do ar estão interligados a outros parâmetros, que são também responsáveis pelo conforto dos ocupantes e não podem ser desconsiderados no projeto, mesmo não estando diretamente relacionados com a definição da envoltória da edificação.

Ressalta-se que a amplitude térmica é inversamente proporcional ao aumento da pressão de vapor d'água. Esta consideração indica que existem limites claros para esta estratégia em função da umidade do ar, de acordo com os diferentes climas externos. A estratégia de ventilação esta relacionada também com a massa de envoltória, que apresenta comportamento distinto nas estações úmidas ou secas e durante o dia ou noite.

GIVONI (1979) classificou a ventilação em duas categorias distintas: a primeira, chamada de *Ventilação de Conforto*, obtida pelo aumento da velocidade do ar interno, com a entrada de ventos pelas janelas e demais aberturas. Esta categoria atua de forma direta sobre o conforto humano e caracteriza-se pela ventilação diária efetiva, com partes da envoltória diretamente aberta ao meio externo, podendo ser obtida por ventilação cruzada, desde que os ventos apresentem condições aceitáveis de temperatura e umidade.

A segunda, denominada de *Resfriamento Convectivo Noturno*, é responsável indiretamente pela promoção de conforto, pois promove o resfriamento da massa da edificação durante a noite. Este efeito pode estender-se até o dia seguinte, quando a massa resfriada retarda a entrada de calor para dentro da edificação, conduzindo a um aumento menor da temperatura interna. Estas duas formas de ventilação, apresentam comportamento diferente que variam significativamente em função da amplitude térmica existente no local

A aplicação da *Ventilação de Conforto* destina-se principalmente a regiões que apresentem uma temperatura- máxima entre 28 a 32 °C e uma amplitude térmica pequena, menor que 10°C. O resfriamento convectivo noturno apresenta-se mais efetivo em climas quentes e secos, com amplitudes térmicas acima de 15°C (GIVONI, 1991). Caso as temperaturas diárias excedam as condições que possam ser resolvidas por esta estratégia, recomenda-se a adoção de outro sistema de resfriamento associado a este, durante as horas mais quentes.

Quando a amplitude térmica encontra-se abaixo de 10°C e a temperatura externa poucos graus acima do nível de conforto, pode-se atingir internamente, por meio de

ventilação, um ambiente confortável, com a queda de alguns graus de temperatura. Entretanto, quando a amplitude térmica é maior que 10°C e a temperatura externa acima do limite de conforto, o efeito de resfriamento pelo movimento de ar deverá ser acrescido da capacidade térmica das edificações, ou seja da inércia térmica da edificação, para obtenção de conforto no ambiente interno.

Observa-se, também, que os diferentes tipos de ventilação e sua aplicação, frente ao clima da região, não estão complementemente estabelecidos. Pois para uma orientação precisa sobre a utilização desta estratégia são necessários mais estudos para diagnosticar os efeitos de cada tipo de ventilação, seu período de aplicação mais favorável, seu comportamento no ambiente interno da edificação na presença de maior ou menor massa e a eficácia na obtenção de conforto térmico.

5.2 Inércia Térmica

Quase todos os estudiosos das técnicas de adequação climática e conforto ambiental das edificações indicam esta estratégia como um dos principais mecanismos responsáveis pelo controle dos intercâmbios térmicos pela envoltória. Normalmente associada à estratégia de ventilação, em todas as estações do ano, pode ser quantificada em função da *capacidade térmica (C)* do material utilizado.

Como a Inércia Térmica é responsável pelo retardamento da transferência de calor externo para dentro da edificação (e vice-versa), pois utiliza grande parte deste calor para aquecimento da própria massa de sua envoltória, mantendo o ambiente interno com a temperatura mais baixa durante o dia. À noite, o calor armazenado na massa transfere-se por reirradiação tanto para o ambiente externo quanto para o interno. Internamente a temperatura eleva-se à noite, mas nunca atinge o valor máximo externo, diminuindo, desta forma, a amplitude térmica interna. Este fenômeno origina o *atraso térmico (φ)*, que varia em função da massa do componente ser leve, média ou pesada. A performance final da

edificação depende das características e distribuição adequada destas propriedades e do período de utilização dos ambientes construídos.

O uso da inércia térmica, aumenta o atraso e diminui os picos de calor. O fato de armazenar calor, faz com que a estrutura de uma edificação, principalmente paredes e lajes, funcione como um dissipador de calor, neste sentido a inércia térmica é identificada como a capacidade que uma edificação tem de armazenar calor. Uma edificação com pouca inércia térmica normalmente, segue muito proximamente a variação de temperatura externa. Com uma inércia infinita manteria uma temperatura interna constante. A necessidade de grande inércia aumenta quanto maior for a variação da temperatura externa, radiação solar ou ganhos de calor.

A relação entre calor absorvido e armazenado pelos materiais da edificação depende da *capacidade térmica*. A *capacidade térmica* (C_T), expressa por unidade de área, é o produto da *Densidade* (ρ) do material, pela *espessura* (e) e pelo *calor específico* (c_p) dos componentes. O conceito de massa térmica refere-se a combinação da densidade com a espessura. Como o *calor específico* dos materiais usualmente utilizados na construções situa-se entre 0,87 e 1,67 kJ/kg.K, a capacidade térmica dos componentes está quase que completamente dependente do peso e da espessura.

A condição mais indicada para a utilização desta estratégia decorre da adequada escolha do material a ser utilizado na envoltória da edificação, e mais diretamente de sua massa, de maneira que responda as exigências de resfriamento e aquecimento, próprias ao clima da região em questão. Em locais onde ganhos ou perdas de calor podem ser desejáveis, durante todo o ano, porém em períodos diferentes, a inércia térmica terá papéis distintos nos períodos frios e quentes do ano.

O *atraso térmico* é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida em um dos meios a se manifestar na superfície oposta (RIVERO,1986). O atraso depende de parâmetros que fazem parte do processo de transmissão de calor em regime variável;

condutividade térmica (λ), calor específico, densidade absoluta, e espessura. Em trabalho desenvolvido por LAMBERTS e GHISI encontra-se que o atraso térmico em uma placa homogênea pode ser estimado por intermédio da equação (LAMBERTS e GUIZI, 1998):

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} \quad [5.1]$$

onde

φ : atraso térmico (horas)

R_t : resistência térmica total - de superfície a superfície ($m^2 \cdot K/W$)

C_T : capacidade térmica do componente ($kJ/m^2 \cdot K$)

A capacidade de amortecimento, outra característica vinculada a inércia térmica da edificação, é a propriedade da envolvente de diminuir a amplitude das variações térmicas diárias. O coeficiente de amortecimento (μ) foi definido como sendo a relação entre a amplitude térmica da temperatura superficial interna de um fechamento (ω_s) e a amplitude da temperatura do ambiente exterior (θ_s).

$$\mu = \frac{\omega_s}{\theta_s} \quad [5.2]$$

onde

ω_s : amplitude térmica superficial ($^{\circ}C$)

θ_s : amplitude térmica exterior ($^{\circ}C$)

Deve-se adicionar que apenas a *transmitância térmica* (U) de um componente não é suficiente para se avaliar o desempenho térmico de uma edificação em condições climáticas variáveis, onde variam principalmente a temperatura externa e a radiação solar incidente, pois parte do ganho de calor externo durante o dia, é armazenado na massa térmica dos elementos da envoltória e somente parte deste calor é transmitido para o interior da edificação.

Tanto o atraso térmico como o amortecimento térmico são importantes para a caracterização do comportamento da edificação, ambos dependentes da capacidade de o material armazenar calor. A diferença de capacidade de armazenar calor, por sua vez, é mais diretamente revelada pelo que denomina-se de *capacidade calorífica volumétrica*, que é o produto da densidade pelo *calor específico* do material.

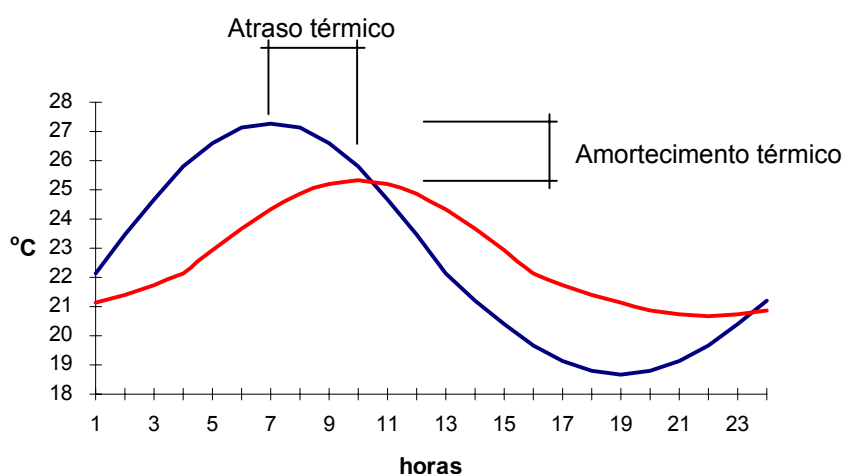


Figura: 5.2.1 Inércia térmica – atraso e amortecimento.

Em regime de temperaturas externas variáveis e temperaturas internas constantes o coeficiente de amortecimento é sempre menor que 1, e quanto menor for seu valor maior será a capacidade de amortecimento do fechamento (paredes + cobertura + piso).

Associado às propriedades de retardamento da onda térmica que um componente pode ter encontra-se a *difusividade térmica* (α_T), que é relação entre a condutividade térmica do material e sua capacidade calorífica, sendo definida pela expressão (YANNAS e MADONADO, 1995):

$$\alpha_T = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad [5.3]$$

onde:

α_T : difusividade térmica (m^2/s)

λ : condutividade térmica ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)

ρ : densidade (kg/m^3)

c_p : calor específico ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)

Geralmente a difusividade é alta para materiais de elevada condutividade térmica e baixa capacidade de armazenamento de calor. O valor médio da difusividade dos materiais comumente empregados na construção civil é da ordem de $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. A madeira, por exemplo, tem um valor 3 vezes inferior a esta média e os metais valores 100 vezes superiores. Outro conceito associado é o de *efusividade térmica* (ef) que caracteriza como o calor pode ser absorvido pela superfície do material da envoltória. Pode-se dar um exemplo do efeito da *efusividade térmica* imaginando-se a sola do pé em contato com uma superfície que esta a $20 \text{ }^\circ\text{C}$; quando produz uma sensação de frio, indica um material de alta *efusividade*, quando a sensação é de uma temperatura morna, significa um material de baixa *efusividade*. A *efusividade* pode ser avaliada pela equação:

$$ef = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad [5.4]$$

onde

ef : efusividade ($\text{W} \cdot \text{s}^{0,5}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

λ : condutividade térmica ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)

ρ : densidade (kg/m^3)

c_p : calor específico a pressão constante ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)

Através da estratégia de armazenamento de calor nos materiais construtivos torna-se possível reduzir a temperatura interna e os picos das necessidades de resfriamento, e de aquecimento transferindo-os para um momento posterior, onde as exigências de resfriamento não são tão elevadas. O uso da inércia tem efeitos positivos tanto no verão como no inverno. No inverno, o ganho solar durante o dia é armazenado e transferido para

o interior no período noturno, quando é necessário o aquecimento. No verão, o calor armazenado reduz o pico das cargas de resfriamento, como o calor é liberado com um tempo de atraso, há uma modificação no ciclo diário de temperaturas, que passam a apresentar valores máximos e mínimos menores que os externos, com períodos também não mais coincidentes com as máximas e mínimas externas.

Destaca-se que o uso da inércia térmica é efetivo para os locais onde amplitude de temperatura ambiente é maior que 10 °C (SZOLOKAY, 1981). Nestas condições, usando a ventilação noturna e fechamento da edificação durante o dia, pode-se reduzir a temperatura interna média em até 10 °C em relação a temperatura exterior, mantendo uma variação de temperatura interna da ordem de apenas 2,5 °C.

A aplicação prática destes conceitos e das estratégias vinculadas ao uso da inércia térmica pode sofrer variações em função de características específicas do clima e micro-clima de um dado local, porém a ampliação de sua aplicação poderia vir a evidenciar mais claramente a sua eficácia do que as recomendações contidas nas cartas climáticas desenvolvidas até então tem indicado para as condições climáticas verificadas no Estado de São Paulo

5.3 Aquecimento Solar

O aporte de calor é um requisito indispensável em regiões onde a temperatura encontra-se abaixo das condições de conforto e há a necessidade de obtenção de energia térmica suplementar. O emprego eficiente do Aquecimento Solar e sua aplicabilidade em diferentes climas, torna-se um desafio frente a variabilidade das condições climáticas, que podem ocorrer durante as várias estações do ano. O armazenamento de calor nas paredes - massa térmica - é eficaz e pertinente para a obtenção de condições adequadas de temperaturas internas dentro do intervalo de 15,5°C a 21,1°C, aproximadamente. Tais valores foram definidos, através de experiências práticas, nos laboratórios de Los Alamos

Scientific Laboratory (LASL), e retratados no trabalho de BALCOM (BALCOM et al.,1979). Segundo os autores, temperaturas menores necessitam outros sistemas de aquecimento solar passivo. Já GIVONI (1979) comenta que a definição dos limites para utilização de aquecimento solar passivo são particulares de cada região, e dependem diretamente da temperatura média do ar externo do inverno.

Quando a temperatura externa encontra-se entre 18°C e 22,5°C pode-se alcançar conforto com o aumento das vestimentas, porém, quando a temperatura aproxima-se de 15°C, durante o dia, consegue-se condições internas de conforto utilizando-se necessariamente radiação solar direta. Entretanto, quando a temperatura média máxima diária encontra-se abaixo de 15°C, torna-se difícil obter condições confortáveis durante o dia, mesmo com disponibilidade de radiação solar e velocidades de ventos baixas (EVANS 1980).

As estratégias de aquecimento definidas por GONZALEZ (1996) são recomendadas para regiões onde as temperaturas externas são menores que 22°C. A utilização de massa térmica da edificação, para armazenamento de calor, é definida até o limite inferior de 14°C. Abaixo deste valor de temperatura até - 10,5°C - outro tipo de aquecimento passivo convencional deve ser implementado. Considera também que residências, mesmo com pequena capacidade de estocar internamente energia, conseguem manter níveis de conforto com temperaturas diárias variando de 18,3°C a 20,0°C, pois fontes internas conseguem normalmente subir a temperatura em torno 5°C.

Ressalta-se que a utilização anterior de todos os parâmetros de projeto, é muito importante para que se possa obter soluções otimizadas, tanto nos custos de instalação de sistemas de climatização quanto no consumo de energia da edificação para manter ambientes internos confortáveis.

5.4 Resfriamento radiante

Várias pesquisas elaboradas por pesquisadores dedicados ao estudo desta estratégia indicam a possibilidade de duas abordagens distintas acerca de sua aplicação. Uma trata da aplicação de superfícies irradiadoras, funcionando no período noturno, caracterizada por uma superfície metálica colocada em um espaço (de 5 a 10 cm) acima da laje de cobertura.

A outra abordagem trata da minimização do ganho de calor convectivo durante o dia, podendo a solução apresentar-se como uma associação de um elemento térmico isolante móvel com elementos de massa pesada, que juntos ampliam o potencial de resfriamento do ambiente interno. Estes elementos diminuem a penetração de calor da radiação solar durante o dia, sendo o calor que penetrou na massa térmica, eliminado por radiação durante a noite.

A aplicabilidade desta estratégia está vinculada, especialmente, a sua complexidade construtiva. Os sistemas mais usuais utilizam-se de coberturas de massa pesada com isolamentos móveis. São sistemas adequados praticamente para qualquer região, porém os custos envolvidos e seus problemas técnicos de funcionamento do isolamento móvel praticamente inviabilizam sua utilização.

Destaca-se também que, nas soluções com irradiadores térmicos, estas apresentam como requisito a presença de céu claro com baixa nebulosidade. Nestes sistemas o nível de umidade é menos importante que a presença de noites claras. Em regiões áridas, a temperatura pode cair em torno de 3°C a 5 °C e em regiões úmidas, com céu claro esta queda é de aproximadamente 3 °C. Porém pode haver um benefício adicional caso ocorra a condensação da umidade contida no ar sobre a cobertura.

5.5 Sombreamento

A estratégia de sombreamento é considerada como uma das mais eficazes para a obtenção de condições internas adequadas, dadas as características climáticas e o comportamento da radiação solar no Estado de São Paulo. É, nesse sentido, um recurso

fundamental que pode alterar direta e completamente as condições térmicas do ambiente interno.

Em climas onde períodos de frio e calor não são bem definidos, como é o caso da maiorias das regiões climáticas do estado, deve-se buscar definir como períodos para sombreamento somente aqueles em que se verificam condições de sobre-aquecimento das estruturas, especialmente quando da existência de grandes planos de vidro. Isto pode ser conseguido com base na identificação da trajetória solar e na construção das máscaras solares. Quando da presença de períodos frios, em que se faz necessário o aporte de calor, deve-se evitar que a radiação seja bloqueada.

O sombreamento tem importância tanto em superfícies transparentes quanto em superfícies opacas, pois interfere com as demais estratégias descritas, mas especialmente no que se refere ao aporte de calor e de radiação solar direta pelas as aberturas envidraçadas.

Deve-se considerar que, em função da trajetória do sol e conseqüentemente das condições de radiação solar em planos verticais, nas latitudes do estado de São Paulo, as edificações com maiores fachadas voltadas para Leste-Oeste, recebem maior carga térmica e portanto consomem mais energia para climatização (MASCARÓ, 1992).

Por isso, considerando a radiação solar, as aberturas devem ser preferencialmente localizadas em fachadas com menor impacto de radiação solar ou Norte-Sul. Esta orientação pode conflitar com o melhor aproveitamento dos ventos dominantes, mas é possível redirecioná-los com o uso adequado de janelas e proteções solares. Verifica-se que quanto maior a área das aberturas voltadas para leste/oeste, sem a adequada proteção, maior o desconforto interno e o consumo de energia. Em estudo realizado por ROMERO (2001) em simulação computacional de desempenho de edificações, observou-se a influência da proporção entre paredes e janelas, “.... ao se reduzir a área de vidro de 100% para 50%, obtêm-se 40% de redução de carga térmica transferida para o interior...”. Porém, para esta mesma proporção parede/janela, o sombreamento tem grande influência, sendo mais importante que o tipo de vidro, pois independentemente do tipo utilizado, a aplicação de

elementos de proteção reduz em cerca de 25% o ganho térmico interno, para a mesma proporção parede/janela.

A partir do momento em que são definidos os períodos onde há necessidade de sombra, pode-se projetar o tipo de proteção adequada, tanto para permitir a incidência de radiação nos períodos frios como para se evitar a incidência em períodos quentes.

A vegetação é um elemento de otimização do uso da radiação solar, que acrescenta um efeito importante, resultado das trocas de calor latente que ocorrem em seu meio, e também em função das características das espécies empregadas. Proteções solares com vegetação que perdem as folhas durante o inverno são instrumentos adequados para a regularização da incidência de radiação sobre a edificação.

É de reconhecimento geral que, embora esta estratégia requiera cuidados especiais, com soluções adequadas que variam de local para local, ela interfere diretamente na definição das demais estratégias a serem empregadas para a adequação climática das edificações.

5.6 Energia em edificações

As características térmicas dos materiais, especialmente a inércia térmica, a importância do pé direito elevado, a presença de elementos sombreadores, as proporções das aberturas de iluminação e ventilação, a correta orientação das fachadas, os afastamentos e a localização das massas de vegetação, são elementos que contribuem diretamente para que as edificações apresentem condições adequadas de conforto com reduzido consumo de energia.

Desenvolver os projetos e construir em função das características climáticas tem repercussões econômicas, sociais e ambientais importantes, especialmente frente as previsíveis restrições energéticas futuras e aos impactos decorrentes da exploração dos

recursos naturais para a produção de energia. Países como França, Portugal, Espanha, USA, entre outros, buscam disciplinar o comportamento energético de suas edificações via o estabelecimento de critérios mínimos de desempenho para cada zona climática específica, consolidados em regulamentações com diversos graus de exigência.

Dadas as características de uso final de energia elétrica no Brasil verifica-se que nos setores residencial e comercial há uma maior influência dos padrões arquitetônicos no desempenho energético das edificações.

Tabela 5.6.1 Uso final de energia setor residencial e comercial

Setor comercial		Setor residencial	
Uso final	Participação no consumo final	Uso final	Participação no consumo final
Iluminação	24%	Iluminação	12%
Ar condicionado	48%	Chuveiro	23%
Equipamentos	15%	Geladeira	33%
Elevadores + outros	13%	Ar condicionado	7%
		TV + outros	3%

Fonte: JW CONSULTORES, 1988.

Dados do consumo de energia no Estado de São Paulo, indicam que diferentemente do setor industrial, nos setores residencial e comercial, tem havido um aumento no consumo específico de energia, com uma evolução maior no setor comercial devido suas características de uso final mais intensivo em energia para conforto, como ar condicional e iluminação.

Tal comportamento pode ser atribuído ao desempenho energético destas edificações, condicionado por padrões arquitetônicos intensivos em energia. Nota-se também que consumo de energia, decorrente do padrão arquitetônico é influenciado pela concentração urbana, pois nos grandes centros o consumo específico é maior.

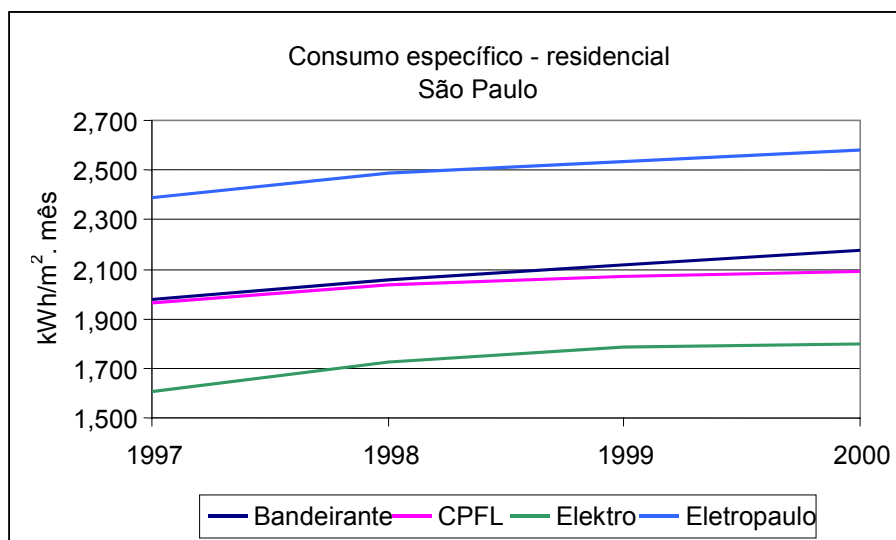


Figura 5.6.1 Consumo de energia no setor comercial

Fonte: SEE/SP, 2000. e Embraesp, 2002.

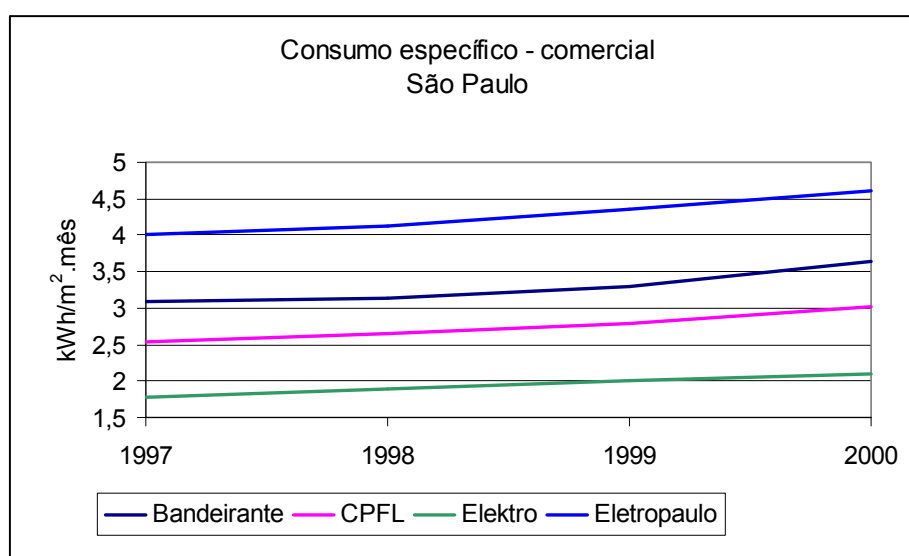


Figura 5.6.2 Consumo de energia no setor residencial

Fonte: SEE/SP, 2000 e Embraesp, 2002.

Projetar edificações que satisfaçam as necessidades dos usuários com o menor consumo de energia possível, tem repercussões de longo prazo, porque as consequências de um projeto inadequado se estendem por toda a vida útil do edifício, em média 30 anos. Um projeto mal elaborado acarretará um aumento do consumo de energia e dos custos de operação durante todo este período. Por outro lado as alterações que forem efetuadas na edificação após a construção serão onerosas, e em muitos casos não se justificarão economicamente (MASCARÓ, 1992). Nas edificações do setor de comércio e serviços as repercussões são ainda mais significativas do que no setor residencial.

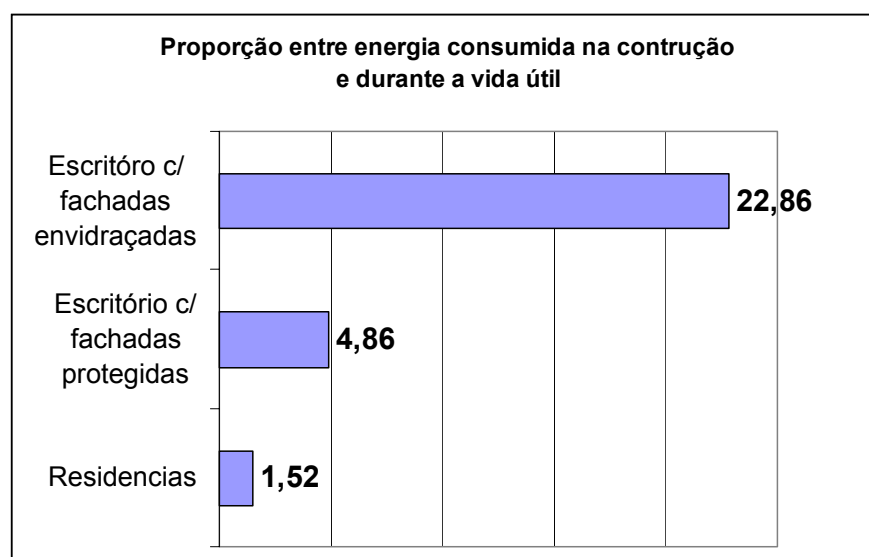


Figura 5.6.3 Energia consumida durante na construção e operação de edificações.

Fonte: MASCARÓ, 1992.

Quando um edifício é projetado de acordo com o clima do local torna-se confortável, além de poupar energia. A superfície interna de uma parede, por exemplo, sem a inércia térmica adequada pode estar 4 a 8°C mais quente do que uma outra adequadamente projetada, na região tropical. Os usuários sofrem com este aumento de temperatura, ligam o ar condicionado consumindo mais energia. No inverno, na região sul

do país, por exemplo, a situação se inverte e o usuário faz uso do aquecimento. O tipo de clima tem, evidentemente, uma influência decisiva no consumo de energia, independentemente da adequação do projeto. Um edifício comercial típico situado em um clima predominantemente quente deveria consumir aproximadamente 40% menos energia se comparado a um situado em clima frio. Principalmente devido ao uso predominante de condicionamento ambiental, dado que o consumo de energia com a iluminação é determinado mais por hábitos de consumo, faixa de renda, ocupação e características da edificação, do que pelo tipo de clima local. Um edifício, na região tropical ou sub-tropical, poderá obter ótimas condições de conforto, não necessitando de equipamento suplementar, através da orientação correta, das fachadas do dimensionamento adequado das suas aberturas, das características térmicas de sua envolvente (paredes, pisos e cobertura) e dos elementos de controle da ventilação e radiação solar.

A orientação das fachadas tem uma contribuição importante na quantidade de calor recebida por um edifício, e portanto no consumo de energia com condicionamento ambiental.

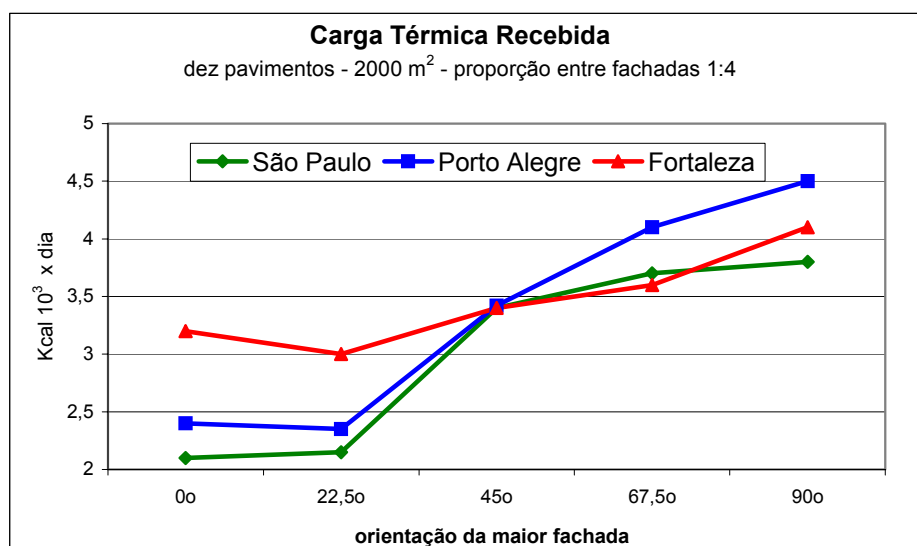


Figura 5.6.4 Carga térmica recebida nas fachadas.

Fonte: MASCARÓ, 1992

Com suas fachadas orientadas corretamente um edifício comercial em São Paulo recebe $2,1 \cdot 10^3$ kcal/dia, quando mal orientadas a carga térmica recebida é da ordem de $3,8 \cdot 10^3$ kcal/dia, ou seja 46% maior (MASCARÓ, 1992). Um outro aspecto importante quanto à radiação térmica recebida pelo edifício está associado a latitude do local. Verifica-se que à medida que a latitude diminui a orientação perde importância. A variação da radiação solar recebida pelo edifício em função da orientação, na cidade de Fortaleza, é de 26% e em São Paulo é de 46%.

Entre um edifício e seu entorno imediato há uma troca permanente de energia térmica que varia em função das características de sua envolvente (cobertura, paredes e aberturas). Estes elementos podem ser utilizados para conforto, com uso reduzido de energia.

Dentro deste contexto, paredes e aberturas são determinantes na absorção da carga térmica, não só devido as características dos materiais que as constituem, mas também pela sua forma, podendo ser elemento de controle da radiação solar direta. Do mesmo modo a localização, proporção, orientação e tipo das aberturas. A quantidade de calor que entra em um edifício e o aproveitamento da luz natural podem definir um edifício como poupador ou não de energia. Aparentemente a proteção contra a radiação solar direta é um empecilho para a utilização da luz natural, porém, aberturas iluminantes corretamente dimensionadas, orientadas e protegidas da radiação solar direta são fontes de luz eficientes e econômicas. Embora o sol seja a fonte primária de iluminação natural não é considerado como tal na elaboração de projetos, pois é uma fonte puntiforme e de elevada carga térmica. A abóbada celeste (fonte secundária por refletir a luz solar) é a fonte de luz ideal, que associada a uma alta eficiência luminosa apresenta uma carga térmica bastante reduzida. Por outro lado não é só a luz da abóbada que interfere no desempenho da iluminação natural ou no consumo de energia. O ambiente natural ou construído pode favorecer ou não este desempenho.

Grande parte da luz proveniente das aberturas da edificação é absorvida, transmitida ou difundida pelas superfícies interiores, podendo atingir valores importantes de perda, conforme os fatores de reflexão e absorção destas superfícies. Elementos de controle da iluminação natural, tais como, brise, persianas, difusores, beirais, etc., que possam ser operados de acordo com a variação das condições climáticas e a utilização de cores claras, com altos fatores de reflexão, são necessários para garantir a eficiência da iluminação natural

Uma análise mais detalhada das características do uso final de energia em edificações e a influencia do projeto arquitetônico nos padrões de consumo, não foi objetivo deste trabalho, pois considera-se que o tema já foi suficientemente estudado. Acrescenta-se que a interdependência entre arquitetura, clima e energia é o tema básico que está dando sustentação à posposta de regulamento deste trabalho. Evidentemente que o aprimoramento do concebimento sobre as características do uso final em edificações poderá demonstrar um potencial ainda maior de economia de energia que a adequação climática das edificações pode propiciar.

6. EXPERIENCIA EM REGULAMENTAÇÃO

Os esforços para a implantação de regulamentos sobre o desempenho térmico e energético de edificações receberam um grande impulso a partir da 1ª crise do petróleo, especialmente nos países mais desenvolvidos, com maior grau de dependência deste insumo energético. Com características predominantes de regiões sub-tropicais, possuem climas com temperaturas mais críticas e por conseqüência deste e de outros fatores adicionais consomem quantidades relevantes dos recursos energéticos para climatização de ambientes.

Em 1992 países como Canadá, Hong-Kong, França, Jamaica, Japão, Kuwait, Nova Zelândia, Paquistão, Filipinas, Singapura, Suécia, Reino Unido e os Estados Unidos já haviam instituído seus regulamentos de desempenho térmico e energético. Contudo, um conjunto significativo de países com participação relevante no consumo energético mundial ainda não haviam implantado seus regulamentos, destacando-se o Brasil (JANDA E BUSCH, 1992). O conteúdo das normas estabelecidas até o momento geralmente combinam exigências prescritivas e exigências de desempenho do projeto. O objetivo principal na maioria dos países é o de criar instrumentos para a racionalização do consumo de energia em edificações, seguido do aprimoramento das condições de conforto. Em quase todos os países estão incorporadas à regulamentação prescrições para a envolvente da construção capazes de influenciar nas alternativas de projeto de coberturas, paredes e janelas. Em quantidade menor, prescrições para os sistemas mecânicos e de iluminação são definidos nos regulamentos.

Segundo a pesquisa realizada por JANDA e BUSCH, em 1992 existiam seis países que contemplavam o controle de iluminação e a densidade de energia como recomendações de caráter prescrito. Onze países apresentaram prescrições para eficácia de iluminação. Três países contemplavam a iluminação em normas regulamentares específicas.

Nos processos de desenvolvimento dos regulamentos em diversos países, verifica-se que as normas da ASHRAE foram utilizadas como material de referência. Com relação a sistemática de implementação e de verificação de conformidade, os países usualmente estabelecem seus regulamentos como pré-requisitos para as autorizações de construção em consonância com a prática construtiva vigente. Porém, normalmente a fase de verificação de conformidade ocorre durante o processo de aprovação preliminar, tendo como exceção a Suécia que verifica a conformidade após a obra concluída.

6.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (Department of Energy - DOE), trabalha com representações dos estados, no intuito de estabelecer a forma mais apropriada para assistência técnica e critérios de alocação de incentivos adequados ao processo para a certificação dos códigos de energia, que podem variar de Estado para Estado. A Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Ar Condicionado (ASHRAE), em conjunto com a Sociedade de Engenharia de Iluminação (IES), desenvolveram o projeto pioneiro nacional de normas - ASHRAE/IES 90.1-1989 (ASHRAE/IES, 1989). Os objetivos desta norma são:

- a) estabelecer as exigências mínimas para eficiência energética de projetos para novas edificações, suas características construtivas, sua forma de uso e manutenção para minimizar o uso de energia sem constringer a função do edifício nem o conforto e a produtividade de seus ocupantes;
- b) providenciar critérios para projetos de eficiência energética e métodos para determinar a conformidade com estes critérios;
- c) providenciar a orientação correta para projetos de eficiência energética.

As exigências referem-se ao envelope do edifício, ao uso de energia, aos sistemas e equipamentos para aquecimento, ventilação e condicionamento ambiental,

serviço de aquecimento de água, iluminação e gerenciamento de energético. Esta regulamentação é aplicável a novos edifícios ou porções do edifício com ocupação humana, exceto edifícios residenciais unifamiliares, ou aqueles com no máximo três pavimentos. Não é aplicável a edificações de comércio, ou indústrias, e edificações cujo pico máximo do consumo de energia para uso em sistemas de aquecimento, resfriamento, ventilação, ar condicionado ou sistemas de iluminação, seja menor que 11,03 Wh/m² considerada a área bruta de construção.

São diversas as opções para obtenção de conformidade. Existem exigências básicas obrigatórias sendo que todos os projetos de edifícios devem estar em conformidade com tais exigências. As exigências adicionais devem ser verificadas por critérios prescritivos ou por critérios de desempenho. Os critérios prescritivos são utilizados quando poucas alterações são necessárias para se alcançar a conformidade desejada. O sistema de critérios de desempenho é adequado para verificar conformidade nos setores de iluminação e envelope. Este critério pode ser usado quando muitas inovações de projeto ou flexibilidade de soluções arquitetônicas são desejadas

Outra opção para alcançar conformidade é o Método de Orçamento de Custo de Energia, que pode ser usado quando inovações de projeto são consideradas ou quando o projeto proposto está dentro da categoria que deve apresentar conformidade tanto pelo Critério Prescritivo como pelo Critério de Desempenho.

O Método de Orçamento de Custo de Energia é verificado através da confirmação de que o custo de energia a ser consumida no edifício proposto é menor que o custo da energia que seria consumida por edifício de referência.

6.2 Califórnia

A norma de eficiência energética para edificações residenciais e não residenciais do Estado da Califórnia foi implantada em julho de 1992 conforme as determinações da CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (1992) baseadas na ASHRAE/IES 90.1-1989. Para aplicação desta norma, o território foi dividido em 16 áreas geográficas,

para as quais foram estabelecidos dados climáticos típicos, pacotes prescritivos e orçamento energético. Essa norma aplica-se para edifícios não residenciais e residenciais de grande porte, hotéis e motéis; edifícios residenciais de pequeno porte; e novas construções em edifícios existentes. A regulamentação da Califórnia correlaciona a iluminação artificial com a iluminação natural e apresenta soluções construtivas por zona climática para facilitar a verificação de conformidade para edifícios residenciais de pequeno porte. Os métodos de cálculo são apresentados também em programas de computador facilitando sua aplicação.

Como na norma ASHRAE, a verificação por desempenho é feita através do Orçamento Energético Anual de um edifício padrão, comparado com o edifício proposto. As verificações por prescrição são cumpridas através de valores limites de transmitância térmica (U), de elementos construtivos ou pela perda ou ganho de calor do edifício proposto comparado com o edifício padrão. Percebe-se que as maiores preocupações da regulamentação da Califórnia são os ganhos e perdas de calor, o consumo anual de energia e os limites de transmitância térmica.

6.3 Argentina

Com relação às experiências de normalização na América do Sul, EVANS descreve resumidamente a estrutura das normas IRAM, de condicionamento térmico de edifícios, desenvolvidas na Argentina (EVANS-1991). Segundo EVANS, as normas existentes na Argentina não têm respaldo legal que garantam sua aplicação, a não ser nos casos em que um organismo público exija o cumprimento de uma ou várias normas através de um decreto, resolução ou código, ou quando a legislação nacional ou estadual edita alguma lei que incorpora condições similares as formuladas pela norma.

Portanto, os únicos mecanismos de aplicação das normas IRAN de habitabilidade, são as condicionantes para a utilização das resoluções do Fundo Nacional de Habitação (FONAVI), que exigem dos empreendimentos financiados, o cumprimento das normas de Isolamento global das edificações, IRAN 11.604, de Isolamento de paredes, IRAN 11.605, e/ou de Controle de condensação, IRAN 11.625,

respeitando o zoneamento bioclimático definido pela norma IRAN 11.603. As zonas bioclimáticas definidas pela norma IRAN 603 são seis: Zona (I) Muito quente; Zona (II) Quente; Zona (III) Temperado quente; Zona (IV) Temperado frio; Zona (V) Frio; e Zona (VI) Muito frio.

6.4 França

Na França a legislação de construções e a regulamentação relativa as características térmicas das edificações e seus equipamentos evoluiu a partir do ano de 1974 quando da criação do chamado índice G, que determina e estabelece limites para as perdas de calor pela envolvente da edificação. Em 1982 foi introduzido também a necessidade de se determinar e limitar os ganhos de calor - índice B. Decorridos 15 anos do início do processo de regulamentação foram incorporadas novas soluções técnicas e de abordagem da problemática do conforto ambiental e da eficiência energética com a instituição de um novo índice denominado – índice C. Este novo índice é um coeficiente de perdas térmicas que leva em consideração os galhos de calor devido a radiação solar e o desempenho dos equipamentos.

O regulamento Francês divide o território basicamente em três zonas (H1, H2 e H3), que em função da altitude são subdivididas em mais três zonas climáticas, Esse regulamento é aplicado para as edificações residenciais novas e as alterações ou ampliações de construções antigas.

Para se obter a conformidade com o regulamento, os seguintes requisitos ou opções de aplicação estão disponíveis:

- a) adota-se uma das soluções técnicas prescritivas apresentadas pelo regulamento;
- b) calcula-se as perdas volumétricas - GV. Estas deverão ser menor ou igual as perdas volumétricas de referência - GV de referência. Os equipamentos também são os de referência;

- c) calcula-se os ganhos volumétricos - BV. Este deverá de ser menor ou igual ao BV de referência somado ao GV de referência, que tem que ser menor ou igual ao GV de referência mais 15%. Os equipamentos também terão de ser os de referência;
- d) calcula-se o C (perdas, ganhos e desempenho de equipamentos). Este deverá ser menor ou igual ao C de referência (especificado pela norma), somado ao GV de referência (especificado pela norma), o qual terá de ser menor ou igual ao GV de referência (especificado pela norma), mais 20%.

A opção d) é a mais sofisticada e possivelmente a mais econômica, não havendo obrigatoriedade em adotar a lista de equipamentos de referência. Pode-se passar de uma opção para outra, pois existem métodos apresentados para este procedimento.

Os principais aspectos considerados nas soluções técnicas são:

- a) insolação,
- b) sistema de aquecimento de ar e de água ,
- c) ventilação,
- d) aberturas,
- e) isolamento térmico.

As maiores preocupações da regulamentação francesa são as perdas e os ganhos através dos elementos construtivos e o desempenho dos equipamentos.

O regulamento francês se atém aos problemas de clima frio. Para ser usado no Brasil seriam necessários diversas adaptações entre outras:

- a) determinação dos valores de coeficientes específicos para cada zona climática necessários para se determinar GV de referência e BV referência por zona;

b) determinação da lista de equipamentos de referências (para o caso das opções 2 e 3), sendo que para a opção 4 pode-se escolher qualquer tipo de equipamento; dotar de recomendações técnicas, com categoria de aceitabilidade (níveis), os equipamentos para aquecimento de água, bem como os materiais e elementos construtivos;

c) determinar de maneira explícita os quadros de soluções técnicas (soluções construtivas) por zona climática.

As soluções técnicas prescritivas do regulamento Francês são apresentadas em forma de tabelas, para cada uma das três zonas climáticas, sendo que para cada uma das 3 zonas existem duas tabelas:

a) uma relativa a utilização de energia elétrica;

b) outra, para os outros tipos de energia utilizada: gás, GLP, etc.

Para cada uma das zonas climáticas pode-se combinar os diversos níveis de insolação, sistema de aquecimento de ar, sistemas de aquecimento de água, e ventilação. Em cada combinação escolhida indicam-se os níveis de desempenho necessários para as aberturas e para isolamento de paredes opacas.

6.5 Portugal

A regulamentação de desempenho térmico e energético das edificações portuguesas foi instituída em 1999 por intermédio de um Decreto-lei federal, que tinha como objetivos expressos:

a) melhorar o nível de conforto que é possível de ser obtido, sem o uso de recursos artificiais, no interior dos edifícios, durante todo o ano;

- b) reduzir o período em que há necessidades de aquecimento ou de resfriamento artificial dos edifícios;
- c) reduzir os consumos de energia para condicionamento dos ambientes, tanto no inverno como no verão;
- d) reduzir o risco de condensações interiores e conseqüente degradação do edifício e riscos para a saúde dos seus ocupantes.

Estes objetivos, porém, tiveram de ser balizados pela realidade sócio-econômica do país, tendo em conta, em particular, o estado da arte das técnicas construtivas e projetuais. Assim, os reguladores pretenderam adicionalmente:

- a) Contribuir para a melhoria das técnicas construtivas e projetuais verificadas no país sem a necessidade de mudanças profundas na indústria da construção, evitando fortes investimentos em formação técnica e aumentos de custo da construção;
- b) Preparar o Regulamento para que seja possível o aprimoramento gradual dos requisitos térmicos dos edifícios sem mudanças profundas na sua estrutura.

O Regulamento português se aplica a todos os novos edifícios e também aqueles que sofrerem remodelações profundas, com exceção daqueles que estão abertos para o exterior durante longos períodos e adota como parâmetro fundamental de caracterização as necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um edifício durante as estações de inverno e verão. Estes parâmetros não correspondem, evidentemente, ao consumo energético real esperado do edifício a ser construído. Mas ao qualificar todos os edifícios por um índice único, obtido a partir do seu funcionamento dentro de um mesmo padrão, é possível fazer uma comparação objetiva dos edifícios e verificar se um nível mínimo de exigências é ou não atingido.

As denominadas necessidades nominais de aquecimento (N_i) e de arrefecimento (N_v), máximas admissíveis para um dado edifício, são definidas pelas expressões seguintes:

$$N_i = (((1,3.K_{fr}.A_f + K_{hr}.A_h + K_{env}.A_{env})/2) + 0,34.P_d).(0,024.GD) \quad [6.1]$$

e

$$N_v = ((0,36.(1,3.\Delta T_f.K_{fr}.A_f + \Delta T_h.K_{hr}.A_h) + G_{ref}.A_{env})/2).M \quad [6.2]$$

Onde:

A_f : área da fachada opaca (m^2)

A_h : área da cobertura mais área do pavimento em contato com o ar exterior (m^2)

A_{env} : área dos envidraçados (m^2)

A_p : área útil de pavimento (m^2)

K_{fr} : coeficiente de transmissão térmica de referência para as fachadas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

K_{hr} : coeficiente de transmissão térmica de referência para as coberturas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

K_{env} : coeficiente de transmissão térmica de referência para os envidraçados

P_d : pé-direito (m)

GD : graus-dia de aquecimento ($^\circ C \cdot dia$)

ΔT_f : diferença efetiva de temperatura nas paredes opacas no dia de projeto no verão ($^\circ C$)

ΔT_h : diferença efetiva de temperatura nas coberturas no dia de projeto de Verão ($^\circ C$)

G_{ref} : ganhos solares de referência através dos envidraçados ($kWh/m^2 \cdot mês$)

M : duração efetiva da estação de arrefecimento (meses)

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica (K) dos diferentes elementos da envolvente e dos ganhos solares admissíveis – G e ΔT - através da envolvente no verão são fixados com base em uma construção típica de referência, que varia de acordo com a zona climática, admitindo-se que esta satisfaz os requisitos mínimos de comportamento térmico.

Se os projetistas de um dado edifício optarem por soluções iguais às admitidas como referência – ou melhores é claro – o edifício é considerado regulamentar. Porém, um projetista poderá conceber o seu edifício com total liberdade, adotando outros tipos de construção que não as soluções de referência, desde que as necessidades nominais calculadas para esse edifício não sejam superiores às de referência.

No processo de cálculo das necessidades nominais reais de um dado edifício são contabilizadas as seguintes parcelas:

- a) no inverno, as necessidades nominais resultam da soma das perdas pelos elementos da envolvente e pelas infiltrações, reduzidas do valor dos ganhos solares do edifício.
- b) as perdas são calculadas por uma expressão idêntica à que define N_l , mas utilizando os K e as áreas reais de edifício.
- c) os ganhos solares úteis são aqueles que entram pelas aberturas envidraçadas orientados a sul (+ ou - 45°) não sombreados.
- d) no verão, as necessidades nominais são obtidas a partir da soma dos ganhos individuais contabilizados na expressão que define N_v , mas utilizando os valores reais de ΔT e G , correspondentes às soluções utilizadas.

Os responsáveis pela formulação da regulamentação portuguesa afirmam que esta permite que um projetista, por exemplo, reduza a proteção térmica de uma envolvente se houver ganhos solares úteis que compensem o aumento das necessidades correspondentes a essa redução, ou, também, aumente a proteção térmica de certos componentes da envolvente para utilizar soluções menos exigentes em outros elementos, por exemplo: reduzir ganhos solares pelos vidros no verão para compensar a utilização de uma cobertura de cor escura.

Esta flexibilidade porém é limitada pela proibição de soluções com comportamento térmico comprovadamente inadequado, aquelas cujo coeficiente de transmissão térmica possa levar ao aparecimento de condensações na face interior da envolvente, e aquelas que não possam limitar eficazmente os ganhos solares pelos vidros no verão. Nestes caso, na estação de resfriamento são fixados valores máximos admissíveis do fator solar, para cada zona climática, em função da inércia térmica da construção.

O regulamento em vigor em Portugal apresenta uma diferença importante sobre outros pois visa limitar o comportamento do edifício, no inverno e no verão. O reflexo desta abordagem é que os projetistas são obrigados a não descuidar das exigências impostas à edificação diante dos dois tipos distintos de solicitações a que os edifícios estão sujeitos.

Dentro da flexibilidade pretendida pelo método, uma edificação pode ser concebida a partir de diversas alternativas projetuais e/ou técnicas construtivas, desde que atendam aos requisitos mínimos, contudo a solução adotada terá de atender simultaneamente os condicionantes impostos para o inverno e para o verão. Ou seja, a adoção de uma medida que melhore o comportamento no inverno e piore no verão, por exemplo, obrigará também que sejam adotadas medidas compensatórias para repor o comportamento regulamentar durante o verão.

Os profissionais envolvidos com a formulação do regulamento português afirmam que o mesmo está orientado para a melhoria das técnicas de projeto. Espera-se que o regulamento seja capaz de sensibilizar os projetistas para a problemática do conforto térmico nos edifícios, aspecto que, até agora, tem recebido menos atenção na grande maioria dos casos.

Quando da proposição inicial desse regulamento admitia-se que se havia dado um primeiro passo para melhoria do comportamento térmico dos edifícios em Portugal e que sua aplicação iria permitir o aumento gradual do nível de exigência, sem que impactos econômicos e culturais se manifestem de modo significativo.

6.6 Brasil

Diversas são as instituições e profissionais que desenvolveram estudos e pesquisas na área de desempenho térmico e energético de edificações, propugnando de longa data, a necessidade de criação de uma regulamentação nacional que estabeleça índices de desempenho energético e de conforto ambiental das edificações brasileiras.

Com o concurso de diversos profissionais foi desenvolvida no âmbito do ABNT e do Comitê Brasileiro da Construção Civil a proposta de Norma para Desempenho Térmico das Edificações.

Essa proposta foi desenvolvida como uma atividade da Comissão de Estudos de Desempenho Térmico de Edificações e contou especialmente com o apoio profissional e de pesquisas realizadas por diversas instituições, destacando-se as contribuições da Universidade Federal de Santa Catarina, dentre diversas outras.

A estrutura da norma proposta é bastante abrangente e busca não encerrar os procedimentos para a criação de uma regulamentação de caráter nacional ou mesmo de regulamentações específicas para Estados e/ou regiões. Os tópicos desenvolvidos abrangem os seguintes aspectos que por si só, explicitam o caráter da propositura em seu conteúdo referencial:

1. Definição de símbolos e unidades;
2. Cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar de elementos e componentes da edificação;
3. Procedimento para o tratamento de dados climáticos;
4. Zoneamento bioclimático brasileiro;
5. Metodologia para avaliação de desempenho térmico em edificações residenciais.

Encontra-se já em discussão no Comitê Brasileiro da Construção Civil os seguintes textos da proposta de norma, sob o número 02:135.07-001, de dezembro de 1998, seguindo o conjunto de tópicos apresentados como indispensáveis para o início de um processo de elaboração da regulamentação nacional:

- a) parte 1 - Definições de símbolos e unidades
- b) parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações.

- c) parte 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.
- d) parte 4 - Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa protegida.
- e) parte 5 - Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Dentre os trabalhos atualmente em desenvolvimento no Brasil, com o objetivo de avaliar a qualidade dos regulamentos internacionais e fornecer subsídios para a elaboração uma regulamentação que possa ser aplicada para as condições típicas do climas brasileiros, destaca-se a pesquisa realizada na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, coordenada pelo professor MARCELO ROMERO.

Trata-se da pesquisa no âmbito do programa *PAEE - Padrões Arquitetônicos de Eficiência Energética*, desenvolvido com recursos da FINEP, de aplicação da metodologia do Regulamento Português, em edificações de todos os Campi da USP. O projeto de pesquisa é pioneiro na aplicação e avaliação metodológica do referido regulamento e de seus resultados quando aplicado em edificações localizados em regiões climáticas específicas, diferentes daquelas para o qual foi concebido. Os resultados servirão para melhorar compreensão da problemática do desempenho térmico e seu vínculo com o consumo de energia nas edificações e da importância de padrões arquitetônicos que se baseiem nas características do clima local para o conforto ambiental. Esta avaliação de aplicação, com certas adaptações da Regulamentação Portuguesa trará um impulso importante para a elaboração da regulamentação nacional e será indispensável para a formulação do regulamento de âmbito estadual.

6.7 Outros regulamentos

A análise da regulamentação de países como a Jamaica indicam que existe uma preocupação maior com o comportamento energético de edifícios de grande porte, com ênfase nos equipamentos, no tipo de energia utilizada chegando a fazer uma integração entre consumo de energia e o desempenho térmico e a iluminação natural e artificial do edifício do que o comportamento passivo dos edifícios. O parâmetro de avaliação utilizado é a quantificação dos gastos anuais energia

Já a norma inglesa para edificações residenciais se propõe a ser objetiva e simples. Assim os parâmetros de avaliação partem da quantificação do consumo de energia, considerando os equipamentos apenas como mais uma fonte de energia. A preocupação fundamenta-se na energia necessária para aquecer o ambiente e com o conjuntos das perdas de calor que ocorrem pela envoltória da edificação. (BARBOSA e LAMBERTS, 1993).

A regulamentação espanhola avalia a edificação basicamente a partir das características do isolamento térmico da envolvente e não considera diretamente a energia utilizada e nem tampouco com a qualidade dos equipamentos (ESPANHA, 1979).

Nestes exemplos nota-se que existe uma separação entre a abordagem pelo desempenho térmico e pelo desempenho energético do edifício, sendo que essa distinção se configura em função do porte da edificação. O desempenho térmico somente é abordado separadamente quando se trata de edifícios de pequeno porte (habitação e edifícios residenciais de até três pavimentos), pois quando se refere a edifícios comerciais e de grande porte, torna-se mais difícil a separação desempenho térmico do desempenho energético do edifício, visto que condições adequadas de conforto neste caso somente são atingidas com o recurso de sistemas artificiais de condicionamento.

7. PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO

7.1 Objetivos

O *Regulamento Proposto* tem como objetivo principal estabelecer condições mínimas de conforto ambiental e de desempenho térmico de edificações residenciais e comerciais, restringindo-se a avaliação do desempenho passivo dos elementos construtivos e características arquitetônicas, não se referindo aos sistemas de climatização e iluminação artificiais. Sua estrutura foi definida considerando as condições climáticas gerais verificadas no Estado de São Paulo e o padrão construtivo encontrado nas edificações residenciais e comerciais.

A concepção geral da proposta baseia-se na estrutura da regulamentação portuguesa, naquilo que se refere ao caráter de avaliação por critérios de desempenho, pois também busca identificar as necessidades de aquecimento e resfriamento de uma dada edificação em relação a temperaturas internas máximas e mínimas, admissíveis como condições limite de conforto térmico.

As necessidades de resfriamento e aquecimento de um projeto que seja submetido ao regulamento são confrontadas com as necessidades de aquecimento e resfriamento de uma edificação típica, que possui características arquitetônicas e construtivas de referência, capazes de garantir condições internas adequadas de conforto térmico. As necessidades de aquecimento e resfriamento, e portanto, as condições limite que definem a adequação ou não de uma determinada edificação são expressas em Watts, e identificam uma potência térmica admissível, tanto para condições de aquecimento como para resfriamento.

O opção por uma metodologia de avaliação por critério de desempenho permite que o projetista desenvolva e aplique livremente suas concepções arquitetônicas e alternativas construtivas, sendo ao mesmo tempo pedagógica, pois informa quais elementos estão comprometendo o desempenho dos projetos que não atingem as

exigências. Esta característica do regulamento visa permitir que os critérios de desempenho, ou seja o rigor do regulamento, seja balizado pela evolução da formação e capacitação técnica dos projetistas e pela evolução das alternativas tecnológicas e construtivas. Recomenda-se que o *Regulamento proposto*, a exemplo do regulamento Português, seja implantado por *Lei Estadual*, conferindo-lhe aplicabilidade imediata, podendo ser aplicado para construções novas ou reformas que representem alterações significativas nas condições existentes. A princípio, as exigências do regulamento se referem a características construtivas e arquitetônicas típicas e usuais, que podem ser gradativamente aprimoradas, refletindo não apenas a evolução das soluções construtivas e das técnicas de projeto, como também o aprimoramento das condições de conforto das edificações.

Como resultado imediato pretende-se aprimorar o desempenho térmico das edificações, com imediato reflexo sobre as condições internas de conforto e sobre o consumo de energia, especialmente a parcela utilizada para iluminar e condicionar.

A aplicação do *Regulamento Proposto* objetiva, paralelamente, fornecer subsídios para avaliação mais completa da contribuição dos elementos construtivos para o consumo de energia nas edificações, aprimorar o tratamento de dados climáticos para efeito da avaliação de desempenho térmico e induzir o aprimoramento da formação acadêmica.

Contudo, não pode-se deixar de considerar que a sociedade brasileira não é capaz ainda de prover habitação minimamente adequada para a maioria da população. Inúmeras são as evidências de incapacidade das ações governamentais em dar resposta ao enorme déficit habitacional, em quantidade e qualidade, que o país apresenta. Neste contexto, a aplicação do *Regulamento* como o proposto, será restrito àquela parcela das edificações que, no Brasil, não estão à margem dos procedimentos oficiais de licenciamento e aprovação. Sobre o tema o IAB/SP destaca que apenas 25% do acréscimo anual da área construída na região metropolitana é feita com o conhecimento de alguma esfera da administração municipal ou estadual.

Apesar da constatação que a população de baixa renda é a mais afetada pelo déficit habitacional, do mesmo modo é exatamente para este segmento que uma regulamentação como a que está sendo proposta pode significar maior aprimoramento da qualidade de vida. Não podemos permitir que a compreensão de que o conforto ambiental somente é possível com custos e consumo de energia elevados, seja predominante. Nesse sentido a aplicação do *Regulamento Proposto* será capaz de demonstrar que as técnicas construtivas e projetuais que melhoram o desempenho térmico e a adequação climática das edificações não são onerosas, mas apenas que ressaltam da incorporação de conhecimento, que já existe há muitos anos, nas práticas atuais.

7.2 Diretrizes

Das diversas características que um regulamento de desempenho térmico e de conforto ambiental precisa ter, enfatizou-se no *Regulamento Proposto*, primeiramente a simplicidade de sua aplicação, sem prejuízo da qualidade da avaliação. No Brasil praticamente não existe regulamentação para disciplinar o comportamento térmico ou outras características relativas as condições de conforto, além daquelas referentes as dimensões mínimas de paredes, coberturas e ambientes ou a dimensão das aberturas, visando garantir vãos mínimos de ventilação e iluminação. Sendo assim, e acrescentado que as escolas de arquitetura e engenharia ainda não incorporaram total e claramente em seus currículos a ênfase em adequação climática e conforto ambiental, torna-se extremamente recomendável que uma proposta de regulamentação seja simples de ser aplicada. Esse não é o caso normalmente verificado em regulamentações baseadas em critérios de desempenho, como a que está sendo proposta.

Sendo assim, buscou-se adotar também uma metodologia simplificada para tratamento dos dados climáticos, de modo que resultasse em um zoneamento climático que já fosse de conhecimento comum. Seguir esta abordagem, de simplicidade de aplicação, no tratamento dos limites de máximos e mínimos de conforto, não resultou, necessariamente, em simplificações metodológicas que induzissem a equívocos, mesmo adotando-se como parâmetros de conforto apenas as temperaturas internas.

A metodologia de avaliação das trocas térmicas pela envolvente da edificação, que resultam nas equações básicas para definição das necessidades de aquecimento e resfriamento, estão baseadas em condições de regime permanente e não em condições variáveis de temperaturas externas e internas. Ou seja, as temperaturas externas máximas e mínimas utilizadas nos cálculos das necessidades de aquecimento e resfriamento apesar de diferentes, são fixas. O mesmo ocorre com as temperaturas internas, máximas e mínimas, de conforto.

Essa alternativa, embora facilite a estruturação das equações básicas, e conseqüentemente, a aplicação do regulamento por projetistas não especializados em cálculos de trocas térmicas em regimes variáveis, impõe a correção de alguns efeitos identificáveis apenas quando se avalia o comportamento térmico de uma edificação em condições de regime variável, com período mínimo de 24 hs. de avaliação. O principal efeito que precisou ser considerado, especialmente nas condições climáticas típicas usualmente verificadas nos climas do Estado de São Paulo, foi a inércia térmica dos elementos constituintes da envoltória.

Buscou-se incorporar o efeito da inércia térmica na metodologia, especialmente a diferença desta propriedade -- com especial atenção ao retardamento térmico -- que paredes, coberturas e aberturas envidraçadas possuem. Diferentemente dos regulamentos desenvolvidos para climas temperados, a correta aplicação desta estratégia é indispensável para promover condições internas adequadas de temperatura. Para tanto a parcela de contribuição das superfícies opacas foi defasada em termos temporais, daquelas oriundas de aberturas envidraçadas, tanto para as trocas térmicas por condução como por radiação que ocorrem nas superfícies verticais, horizontais ou inclinadas da envolvente.

Como a identificação das trocas térmicas pela envolvente se refere aos momentos de maior média das máximas temperaturas externas - para avaliação das necessidades de resfriamento - e aos momentos de menor média das temperaturas mínimas externas - para avaliação das necessidades de aquecimento - foi necessário incorporar o efeito do atraso térmico proporcionado pela envolvente em termos de uma

redução equivalente de temperaturas externas. Para tanto foram construídos fatores de multiplicação de temperaturas exteriores em função do atraso, Tabela A2.6. A utilização de tal índice (Fator de Correção de Temperaturas externas) contribui de maneira significativa para a compreensão destes fenômenos – atraso e amortecimento - no comportamento térmico da edificação e do uso da estratégia da inércia térmica para aprimoramento das condições de conforto das edificações.

Da mesma forma buscou-se aprimorar os mecanismos e instrumentos de avaliação da radiação solar sobre as edificações, separando-se claramente o efeito da radiação direta sobre superfícies translúcidas ou superfícies opacas, tanto na sua componente direta como na componente difusa. A simplicidade da abordagem deste tema permite que facilmente sejam entendidas as referências utilizadas para a definição das condições construtivas e projetuais típicas.

O *Regulamento Proposto* estabelece uma solução de referência, que nada mais é que o projeto elaborado pelo arquiteto, com algumas de suas características limitadas por parâmetros de referência, porém com volumetria, implantação e soluções espaciais e arquitetônicas conforme o projeto original. As características construtivas e projetuais que são definidas na solução de referência dizem respeito à *transmitância* e o *atraso térmico* da envolvente (paredes e coberturas), a proporção e orientação das aberturas e as cores dos elementos externos. Os dados de radiação solar e de temperatura externa são corrigidos em função do *atraso térmico* dos componentes para efeito do cálculo das trocas térmicas que pelas superfícies opacas. Os demais aspectos seguem as designações e especificações que o arquiteto fizer. Esta liberdade de soluções foi um dos principais objetivos perseguidos ao se formular esta proposta de regulamentação.

Finalmente cabe destacar que a maioria dos regulamentos existentes no mundo baseia-se em existência de dados climáticos detalhados e organizados de uma forma que ainda não dispomos no país. Em que pese a existência de séries longas e detalhadas de dados climáticos, estas não abrangem muitas das localidades que devem ser consideradas no Estado de São Paulo. Sendo assim, adotamos o zoneamento climático já existente ou seja o Mapa das médias das máximas e média das mínimas, elaborado

pelo IAC, pois com base nesta documentação pode-se definir as condições de temperatura em qualquer localidade do Estado de São Paulo (IAC, 2003).

7.3 Estrutura Básica

A estrutura básica do Regulamento Proposto foi desenvolvida tendo como referência o regulamento português, pois este apresenta algumas qualidades específicas que o tornam adaptável às circunstâncias climáticas e regulamentares diversas. Neste sentido, a análise das alterações e adaptações necessárias em sua estrutura original básica conduziram à formulação de uma nova sistemática, tanto no que se refere a concepção geral e parâmetros de aplicação, como quanto aos dados climáticos requeridos e equações básicas utilizadas. A simplicidade de aplicação, decorrente de equações de trocas térmicas em regime permanente e a liberdade para aplicação para qualquer tipo de projeto, sem impor restrições de soluções técnicas ou de partido arquitetônico, foram objetivos iniciais perseguidos.

Procurou-se observar as características climáticas predominantes no estado, onde persistem condições em que a amplitude térmica está situada em patamares próximos ou superiores 10°C , com temperaturas, médias próximas, da faixa de conforto, indicando a eficácia do uso da inércia térmica para as condições internas de conforto.

Em que pese os diversos regulamentos elaborados para países de clima temperado considerarem também o efeito da inércia térmica, esses ainda não apresentaram uma metodologia adequada, para que, em sistemáticas de cálculo em regimes permanentes, o efeito do atraso térmico diferente dos componentes da envoltória, seja corretamente avaliado. Conseqüentemente, os regulamentos que não conseguem avaliar corretamente esse aspecto, inevitavelmente subestimam o efeito da inércia térmica.

Portanto, tratou-se de reconhecer que a onda térmica que está sendo obstruída por uma parede de tijolos maciços ou por uma superfície de vidro, por exemplo, atingem a fase interior da envoltória em momentos diferentes, ou seja com atrasos

térmicos diferentes, não podendo ser considerada como cargas térmicas simultâneas. Este efeito precisou ser considerado quando a elaboração do regulamento e especialmente de suas equações básicas, pois estão baseados em cálculos em regime permanente. Como o efeito da radiação sobre uma abertura envidraçada será sentido quase que imediatamente no interior de uma edificação, ao passo que o efeito nas superfícies opacas será transferido para o interior tardiamente, a estrutura proposta, as equações básicas e o tratamento dado aos dados climáticos, visam capturar este efeito adicional da inércia térmica, para melhor avaliar o desempenho térmico das edificações e as condições internas de conforto.

Buscando sempre manter a simplicidade de sua estrutura e incorporar esta consideração adicional sobre o efeito do atraso térmico o *Regulamento Proposto* foi organizado com base nos seguintes premissas.

- a) Condições de conforto térmico ocorrem na faixa de temperaturas internas compreendidas entre 26° C e 18° C.
- b) Os cálculos das trocas térmicas máximas admissíveis que ocorrem pela envoltória são realizados para duas condições de temperaturas externas - temperatura média das máximas e temperatura média das mínimas - considerando-se:
 - ⇒ a radiação solar incidente sobre as superfícies no momento de maior temperatura exterior;
 - ⇒ que a temperatura exterior máxima ocorre às 14 hs.;
 - ⇒ que a temperatura exterior mínima ocorre às 05 hs.;
 - ⇒ que não existe radiação solar no momento de temperatura mínima.
- c) Identifica-se as trocas térmicas máximas admissíveis, pela envolvente, para aquecimento e resfriamento, com base em soluções construtivas e arquitetônicas de referência, considerando-se os seguintes parâmetros:
 - ⇒ transmitância de referência das superfícies envolventes, definidos em função das temperaturas externas,

- ⇒ atraso térmico dos componentes opacos da envoltória exterior, definido em função da amplitude térmica que o Mapa das Normais indica,
- ⇒ radiação solar incidente, no momento de temperatura máxima exterior, corrigida em função do atraso de referência,
- ⇒ cor das superfícies externas;
- ⇒ proporção das aberturas;
- ⇒ fator de proteção solar das aberturas.

d) Seguindo a mesma sistemática, identifica-se as trocas térmicas que ocorrem pela envolvente nas condições do projeto elaborado pelo arquiteto, considerando-se os mesmos parâmetros.

e) A edificação será considerada regulamentar, ou seja, aprovada pelo regulamento, quando a totalidade das trocas térmicas ocorridas nos diversos componentes da envoltória não forem maiores que as trocas térmicas admissíveis, chamadas de condições de referência.

A estrutura geral do *Regulamento Proposto*, permite identificar necessidades de aquecimento ou de resfriamento dos ambientes internos, para que se mantenham temperaturas internas estáveis – variando de 26°C a 18°C baseando-se nas características construtivas e arquitetônicas da edificação e nas variações do clima exterior. Conforme já destacado são estabelecidas, portanto, **NECESSIDADES DE REFERÊNCIA DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO** -- Q_{res} e Q_{aq} , respectivamente -- que definem o aporte ou a retirada de calor necessários para que condições adequadas de conforto interno ocorram. Estas necessidades expressam a quantidade de energia que a edificação “troca” com o ambiente externo nos momentos de máxima exigência de aquecimento e resfriamento.

As equações básicas para a definição, tanto das **NECESSIDADES DE AQUECIMENTO** como de **RESFRIAMENTO**, tem a seguinte estrutura:

$$Q_{res} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar} \quad [7.1]$$

$$Q_{aq} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar} \quad [7.2]$$

Onde:

Q_{res} = necessidades de referência de resfriamento (W)

Q_{aq} = necessidades de referência de aquecimento (W)

Q_p = trocas pelas paredes (W)

Q_c = trocas pela cobertura (W)

Q_v = trocas pelas aberturas/envidraçados (W)

Q_{ar} = trocas térmicas pelo ar (W)

Por intermédio destas equações básicas as edificações são avaliadas, para as temperaturas médias das máximas e média das mínimas do local onde estão situadas. Estas duas situações, que identificam as NECESSIDADES DE AQUECIMENTO ou RESFRIAMENTO, refletem as características do comportamento térmico da edificação no período de inverno e verão, respectivamente. Sendo assim AS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO (Q_{aq}) referem-se ao período de inverno e as de RESFRIAMENTO (Q_{res}) ao período de verão, reconhecendo-se que tais necessidades não ocorrem necessariamente de modo coincidente com as estações do ano.

Para a avaliação e aprovação de uma dada edificação as NECESSIDADES DE AQUECIMENTO ou RESFRIAMENTO, são comparadas com as necessidades de uma edificação de referência. Esta edificação de referência nada mais é que a edificação projetada pelo arquiteto, mantidas todas suas características espaciais e volumétricas, alterando-se porém as características térmicas da envolvente, especialmente a transmitância e o atraso térmico, a orientação e proporção das aberturas, o Fator Solar e as cores das superfícies externas, de modo a garantir temperaturas internas dentro da faixa de conforto estabelecida.

As NECESSIDADES DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA (Q_{res} e Q_a) são, comparadas com as denominadas NECESSIDADES ESPECÍFICAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO (Q_{Eres} e Q_{Eaq}) da edificação. Como os fluxos nas suas condições de temperaturas externas, normalmente

são opostos, para a edificação ser aprovada pelo *Regulamento Proposto* é necessário que:

$$QE_{res} \leq Q_{res} \quad [7.3]$$

e

$$Q_{eaq} \geq Q_{aq} \quad [7.4]$$

As equações gerais para o cálculo das necessidades de referência e das necessidades específicas e dos fluxos térmicos que ocorrem pelos diversos componentes e mecanismos, tanto para as condições de aquecimento como de resfriamento, são iguais, diferenciando-se apenas devido a direção oposta do fluxo térmico, que na situação de resfriamento é positiva e na situação de aquecimento é negativa.

7.4 Tratamento dos Dados Climáticos

Uma das principais restrições para o estabelecimento de regulamentação de desempenho energético e conforto ambiental está relacionada com a qualidade dos dados climáticos disponíveis. Diversos regulamentos precisaram da elaboração preliminar de um zoneamento climático específico para serem aplicados.

Em uma primeira abordagem deve-se considerar quais dados serão utilizados para a avaliação do comportamento térmico das edificações e da sensação de conforto dos usuários. Basicamente os regulamentos existentes restringem-se a considerar para efeito das condições de conforto, a temperatura do ar, a radiação e a temperatura das superfícies que envolvem o indivíduo, as condições de circulação do ar, e a pressão de vapor. Estes aspectos são dependentes das condições climáticas do local.

No *Regulamento Proposto* utilizou-se das condições de temperatura do ar exterior em seus momentos mais rigorosos, ou seja as temperaturas médias das máximas

e mínimas diárias, como a base para os cálculos das trocas térmicas, além da radiação solar incidente e conseqüentemente da temperaturas das superfícies do entorno. Os dados de temperatura utilizados foram os das Normais Climatológicas e os dados de radiação foram calculadas conforme metodologia, descrita a seguir.

A referência de temperaturas médias das máximas e temperaturas médias das mínimas como a expressão mais próxima das exigências térmicas médias a que a edificação esta submetida, em um período anual, precisou ser comprovada. Para tanto simulou-se as temperaturas médias, máximas e mínimas para todos os dias do ano, com base na metodologia apresentada por PETROVIC, conforme segue:

a) Temperatura média [7.5]

$$T^* d med = \frac{T medq + T medf}{2} - \frac{T medq - T medf}{2} \cdot \cos \left[\left(\frac{180^\circ}{Dq - Df + 365} \right) \cdot (d - Df + 365) \right]$$

Onde:

$T^* d med$ = temperatura média no dia d (°C)
 $T medq$ = maior temperatura média mensal (°C)
 $T medf$ = menor temperatura média mensal (°C)
 Dq = dia da maior temperatura máxima (°C)
 Df = dia da menor temperatura mínima (°C)
 d = dia (número seqüencial do dia)

b) temperatura máxima [7.6]

$$T^* d max = \frac{T maxq + T maxf}{2} - \frac{T maxq - T maxf}{2} \cdot \cos \left[\left(\frac{180^\circ}{Dq - Df + 365} \right) \cdot (d - Df + 365) \right]$$

Onde:

$T^* d max$ = temperatura máxima no dia (°C)
 $T maxq$ = maior temperatura média das máximas mensais (°C)
 $T maxf$ = menor temperatura média das máximas mensais (°C)
 Dq = dia da maior temperatura máxima (°C)
 Df = dia da menor temperatura mínima (°C)
 d = dia (número seqüencial do dia)

c) temperatura mínima [7.7]

$$T^*_{d \min} = \frac{T_{\min q} + T_{\min f}}{2} - \frac{T_{\min q} - T_{\min f}}{2} \cdot \left[\left(\frac{180^\circ}{Dq - Df + 365} \right) \cdot (d - Df + 365) \right]$$

Onde:

$T^*_{d \min}$ = temperatura mínima no dia (°C)
 $T_{\min q}$ = maior temperatura média das mínimas mensais (°C)
 $T_{\min f}$ = menor temperatura média das mínimas mensais (°C)
 Dq = dia da maior temperatura máxima
 Df = dia da menor temperatura mínima
 d = dia (número seqüencial do dia)

O resultado desta simulação apresentou diferenças significativas, maiores que 2°C, em determinados meses do ano, em relação aos dados apresentados nas Normais Climatológicas conforme indica a Figura 7.4.1 (IAC, 2003)

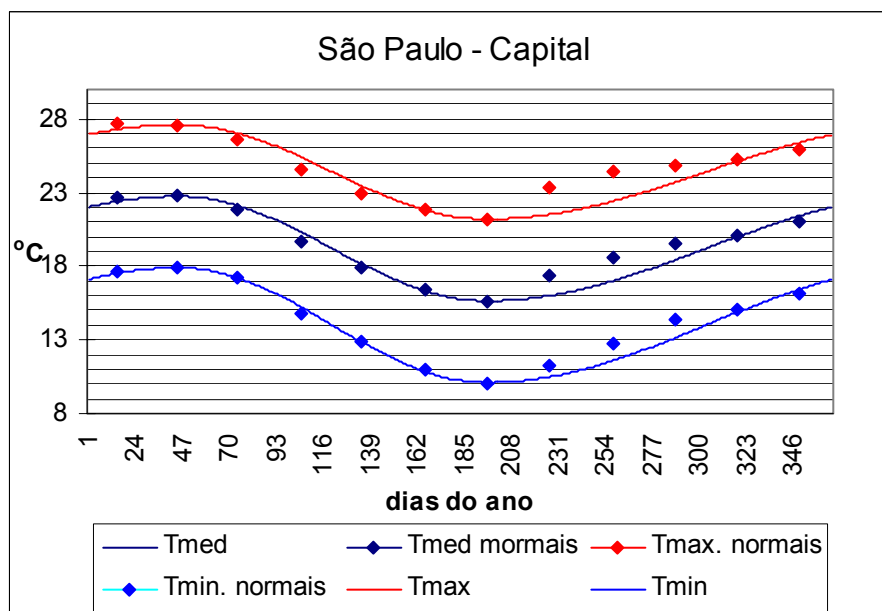


Figura 7.4.1 Temperaturas simuladas e medidas (Normais Climatológicas).

Para corrigir esta distorção foi desenvolvida uma nova metodologia de tratamento dos dados climáticos, onde, inicialmente é simulada a curva anual de amplitudes térmicas diárias a partir da senóide deformada das amplitude médias mensais. Tendo sido definida a amplitude térmica diária, identifica-se as temperaturas máxima e mínima diárias, conforme a sistemática descrita abaixo.

a) Cálculo da amplitude diária

$$Ampl = \frac{Ama + Ame}{2} - \frac{Ama + Ame}{2} \cdot \left[\left(\frac{180^\circ}{Dma - Dme + 365} \right) \cdot (d - Dme) \right] \quad [7.8]$$

Onde:

$Ampl$ = amplitude diária (°C)
 Ama = maior amplitude média mensal(°C)
 Ame = menor amplitude média mensal(°C)
 Dma = dia de maior amplitude
 Dme = dia de menor amplitude
 d = dia

b) Cálculo da temperatura máxima diária

$$Td \max = \left(\frac{T \max n + T \min n}{2} \right) + Ampl \quad [7.9]$$

Onde:

$Td \max$ = temperatura máxima no dia
 $T \max n$ = temperatura média das máximas mensais das Normais Climatológicas
 $T \min n$ = temperatura média das mínimas mensais das Normais Climatológicas
 $Ampl$ = amplitude térmica no dia

Obs: para o cálculo de $T \max n$ e $T \min n$, visto que as normais apresentam temperaturas médias das máximas e mínimas mensais e não temperaturas diárias, acrescenta-se, seqüencialmente, 1/30 da diferença de temperatura, entre a temperatura média das máximas do mês avaliado e do mês seguinte, à temperatura do dia imediatamente anterior, para a definição da temperatura no dia.

c) Cálculo da temperatura mínima

$$Td \text{ min} = \left(\frac{T \text{ max } n + T \text{ min } n}{2} \right) - \text{Ampl} \quad [7.10]$$

Onde:

$Td \text{ min}$ = temperatura mínima no dia ($^{\circ}\text{C}$)

$T \text{ max } n$ = temperatura média das máximas mensais das Normais Climatológicas

$T \text{ min } n$ = temperatura média das mínimas mensais das Normais Climatológicas

Ampl = amplitude térmica no dia

Esta metodologia mostrou-se mais adequada e precisa como instrumento de simulação das temperaturas médias, máximas e mínimas diárias, pois os resultados obtidos, quando comparados com dados reais de temperatura apresentados pelas Normais Climatológicas são bastante consistentes, conforme pode-se verificar na Figura 7.4.2.

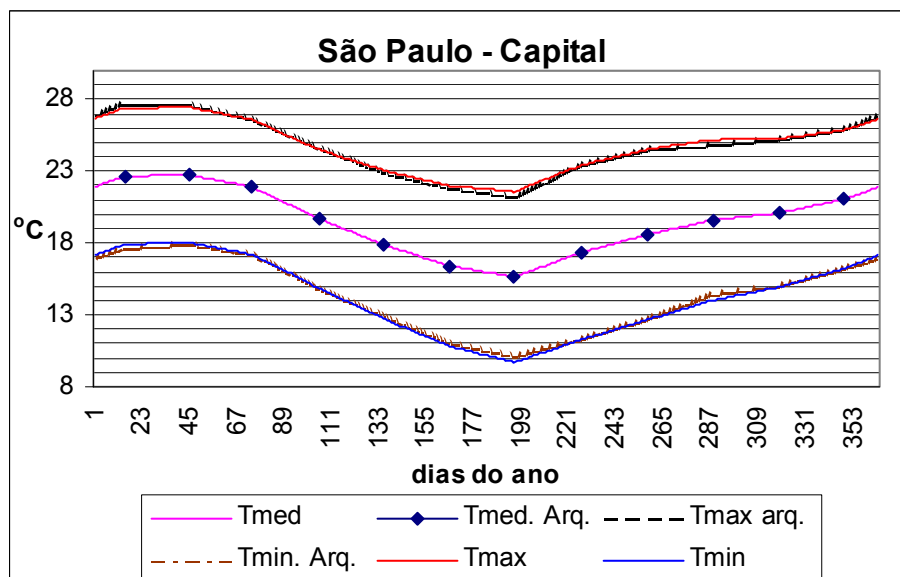


Figura 7.4.2 Simulação de temperaturas diárias e médias mensais - Normais Climatológicas.

A necessidade de se definir uma metodologia adequada para o tratamento dos dados climáticos, com resultados que mais se aproximassem dos dados oficiais, foi indispensável para a definição de qual temperatura externa deveria ser levada em consideração para o cálculo das necessidades de aquecimento e resfriamento. A metodologia adotada permitiu a simulação das curvas diárias de temperatura, tendo como premissa que as maiores e menores temperaturas diárias ocorrem respectivamente as 14hs. e 05hs. conforme a sistemática descrita abaixo:

a) simulação de temperatura horária

$$Th = \frac{Td \max + Td \min}{2} - \frac{Td \max - Td \min}{2} \cdot \left[\left(\frac{180^\circ}{h \max - h \min} \right) \cdot (h - h \min) \right] \quad [7.11]$$

Onde:

Th = temperatura na hora
 $Td \max$ = temperatura máxima no dia
 $Td \min$ = temperatura mínima no dia (°C)
 $h \max$ = hora de temperatura máxima (14hs.)
 $h \min$ = hora de temperatura mínima (05hs)
 h = hora

Foram construídas, com base na metodologia apresentada, as curvas diárias de temperatura, das 26 cidades paulistas que possuem dados organizados em forma de Normais Climatológicas, para todos os dias do ano, o que permitiu a identificação dos Graus Dia de aquecimento e resfriamento com significância de 97,5 % . Os resultados, foram comparados aos dados das Normais e estão apresentados na tabela 7.4.1.

Verifica-se, da análise da tabela, que as temperaturas simuladas conforme a metodologia proposta são praticamente coincidentes com os dados apresentados nas Normais Climatológicas, sendo assim, optou-se por não incluir na estrutura do *Regulamento Proposto* uma metodologia específica para a definição das temperaturas

de referência e cálculo de Graus Dia, mas adotar como referência o Mapa das Normais Climatológicas apresentado pelo IAC (IAC, 2003).

Tabela 7.4.1 – Temperaturas de referência – resultados da simulação x Normais Climatológicas

Localidade	Temperatura máxima		Temperatura mínima	
	Simulação	Normais	Simulação	Normais
São Paulo	27,43	27,70	10,39	10,10
Campos do Jordão	-	23,60	04,19	03,00
Avaré	27,80	28,30	10,59	10,20
Bandeirantes	29,44	29,80	11,85	11,70
Franca	27,39	27,70	12,88	12,90
Iguape	28,99	29,80	15,13	14,90
São Carlos	28,50	29,00	12,99	13,10
Viracopos	29,00	29,00	11,22	11,40
Mogi-Guaçú	29,54	29,50	09,43	09,00
Andradina	31,71	31,30	14,01	13,90
Campinas	29,50	30,20	12,59	12,40
Catanduva	30,80	31,50	12,42	13,90
Itapeva	29,51	30,20	09,94	09,60
Jaú	29,93	30,60	12,53	12,90
Limeira	28,90	29,40	11,45	11,40
Mococa	29,65	30,30	12,74	12,70
Paraguaçu Paulista	30,32	30,70	13,17	13,30
Pindamonhangaba	32,83	34,20	09,10	09,20
Presidente Prudente	31,08	31,06	14,46	14,60
Ribeirão Preto	30,11	30,90	12,48	12,10
Santos	29,40	30,10	15,46	15,30
Sorocaba	29,40	29,80	11,40	11,60
Tietê	30,27	31,00	11,18	11,10
Tremembé	30,12	30,60	11,06	11,60
Ubatuba	29,94	30,80	13,65	13,40
Votuporanga	30,58	31,10	14,92	15,20

Justifica-se esta opção não apenas pelo resultado semelhante que foi obtido, mas também devido a simplicidade de procedimentos que a utilização de uma publicação oficial de conhecimento e credibilidade inquestionável propicia.

Outro aspecto que ressalta a importância da utilização do Mapa proposto é que pode-se definir as temperaturas máximas e mínimas para qualquer localidade do território do estado, ao passo que caso fosse utilizada uma metodologia específica, seria necessário previamente elaborar o zoneamento climático para efeito de regulamentação.

De qualquer forma, mesmo utilizando-se como referência as temperaturas indicadas no Mapa, pode-se realizar a avaliação do desempenho térmico de uma edificação em período anual, mesmo não se dispondo da definição de Graus Dia de aquecimento e resfriamento para as localidades, que indicam mais precisamente o rigor do clima local, bastando para isso incorporar os resultado de duração das estação de aquecimento e resfriamento que a metodologia específica desenvolvida demonstrou.

Os Mapas das Normais são apresentados nas figura 7.4.3 e 7.4.4, nas duas condições necessárias para a realização dos cálculos e fazem parte da estrutura básica do *Regulamento Proposto*. Inicialmente pretende-se adotar o mapa na forma como é apresentado, onde a identificação das temperaturas é feita com base na similaridade cromática das regiões do Mapa com a escala de temperaturas. Futuramente pode-se alterar e aprimorar a configuração desse Mapa, para um registro de zonas climáticas com base em linhas isotérmicas. Desta forma a identificação das temperaturas será feita da forma mais precisa e direta.

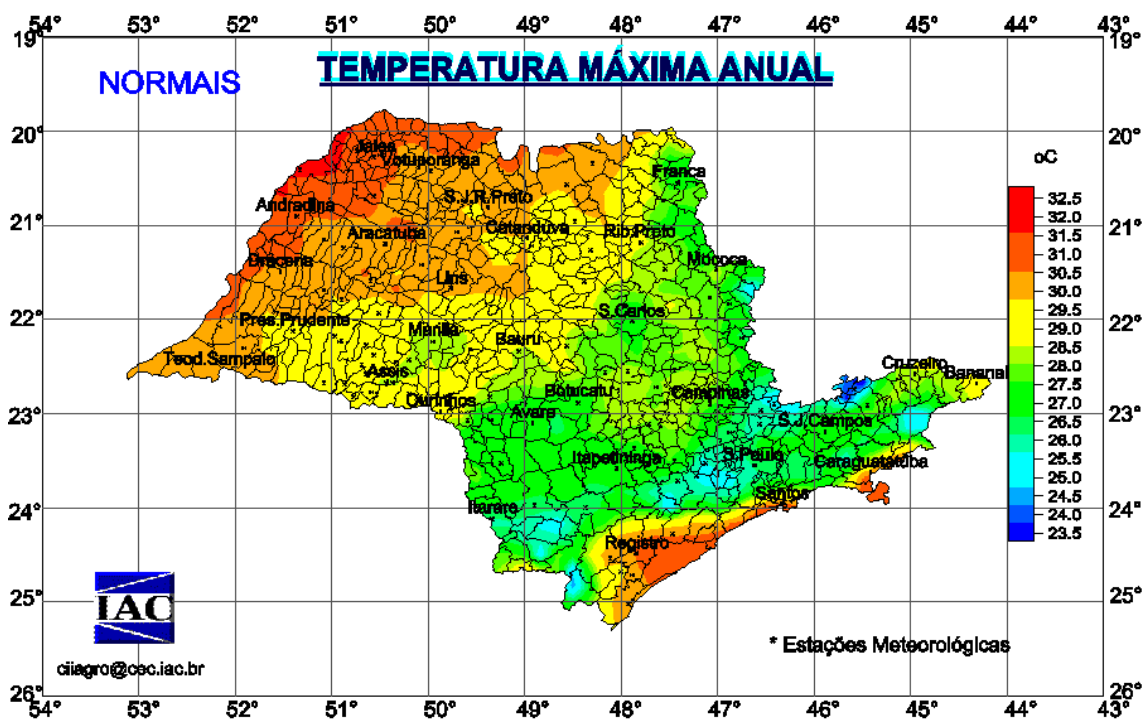


Figura 7.4.3 Mapa das Normais Climatológicas – Temperatura máxima anual
Fonte: IAC, 2003

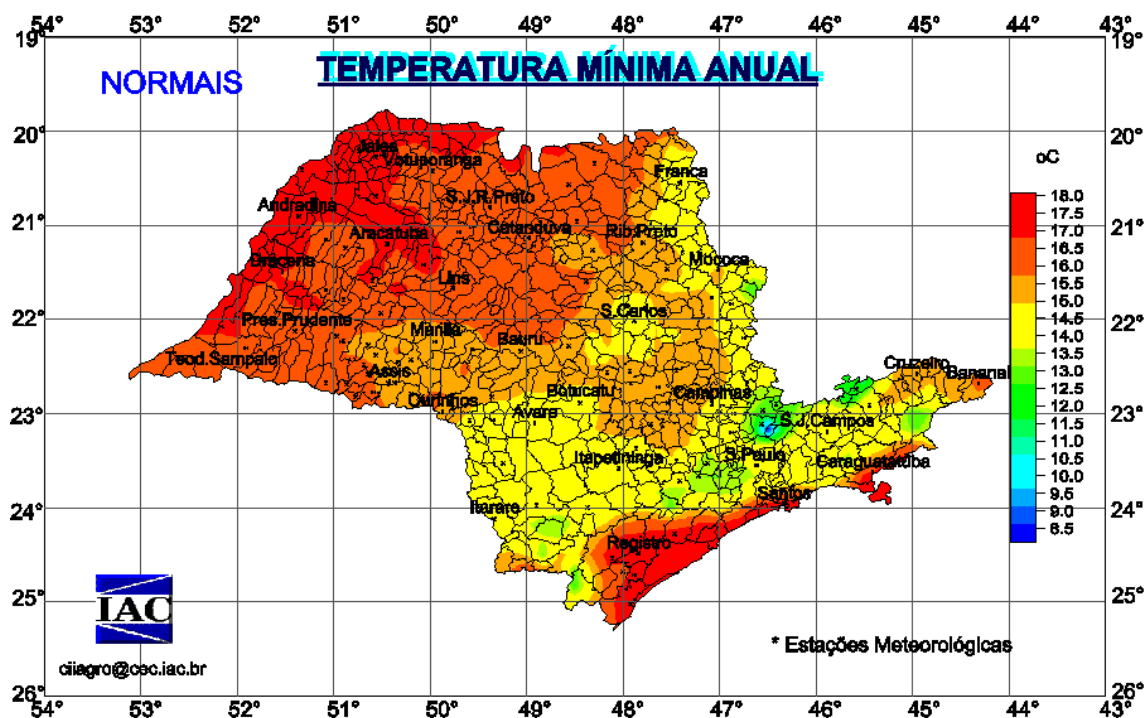


Figura 7.4.4 Mapa das Normais Climatológicas – Temperatura mínima anual
 Fonte: IAC, 2003

Seguindo os objetivos e diretrizes estabelecidas para a formulação deste regulamento, tratou-se de incorporar o efeito dos diferentes atrasos térmicos que se apresentam nas envoltórias das edificações, especificamente nas superfícies opacas e transparentes e aberturas. Como quando se considera, em uma sistemática de cálculo baseada em regime permanente, o efeito da inércia térmica/atraso térmico ocorrendo simultaneamente, consequentemente induzindo a um erro na avaliação do comportamento geral da edificação e nos cálculos dos fluxos de calor, torna-se necessário adaptar a sistemática de tratamento dos dados climáticos.

A estratégia empregada no *Regulamento Proposto* identifica a radiação solar incidente sobre as superfícies, hora a hora, em função da latitude e da cobertura de nuvens, considerada constante. Ou seja, a proporção entre a radiação solar direta e difusa é considerada constante para todas as localidades, variando em função do dia e da hora. A variação da radiação incorpora além das modificações na trajetória aparente do sol, verificadas em período diário e anual, o efeito amortecedor da atmosfera em função da altitude da localidade.

Da mesma forma que com relação aos dados de temperatura, optou-se por oferecer uma metodologia de cálculo da radiação solar (direta e difusa) incidente sobre as superfícies, que pudesse ser aplicada em qualquer localidade do estado de São Paulo. Esta metodologia esta baseada nas equações para cálculo da radiação solar incidente, conforme sistemática descrita abaixo.

Cálculo da radiação solar incidente sobre as superfícies

$$RS = Rsp \cdot \cos \theta \quad [7.12]$$

$$Rsp = Rsn \cdot K_t^e \quad [7.13]$$

$$\begin{aligned} \cos \theta = & (\sin \delta \cdot \sin \beta \cdot \cos \phi) - (\sin \delta \cdot \cos \beta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma) + (\cos \delta \cdot \cos \beta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega) \\ & + (\cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega) + (\cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega) \end{aligned}$$

$$Rsn = Rsc \left(1 + 0,333 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \quad [7.14]$$

$$e = \left((100 \cos \theta_h)^2 + 201 \right)^{0,5} - 100 \theta_h \quad [7.15]$$

Onde:

RS = radiação incidente sobre a superfície (W/m^2). [7.16]

Rsp = radiação solar incidente em um plano perpendicular à radiação, ao nível da superfície terrestre (W/m^2).

K_t = índice de transparência média da atmosfera – 0,65

Rsc = radiação solar incidente em um plano perpendicular à radiação, no topo da atmosfera - constante solar ($1367 W/m^2$).

Rsn = radiação solar incidente em um plano perpendicular à radiação, no topo da atmosfera, no dia n (W/m^2).

E = espessura da atmosfera

β = latitude

δ = declinação

γ = azimute da superfície

ϕ = inclinação da superfície

θ_h = ângulo de incidência dos raios solares no topo da atmosfera
 ω = ângulo horário

Com base nesta metodologia foram construídas tabelas de radiação solar incidente sobre superfícies verticais, para cada 15' de variação de orientação e para superfícies horizontais, para cada latitude do Estado de São Paulo, organizadas também com 15' de variação de latitude, conforme apresentado em anexo, Tabela A1.8. Estas tabelas de referência, apresentadas nos anexos, permitem identificar a radiação solar a ser considerada em função da classe de atraso térmico da superfície considerada, incorporando desta forma o efeito de retardamento diferenciado da onda térmica.

Para exemplificar a forma de tratamento diferenciado dos dados de radiação, em função da classe de atraso das superfícies, tomemos uma parede hipotética voltada para norte onde esta localizada uma janela de vidro. Adotemos que a classe de atraso da superfície opaca seja de 2hs. Para o cálculo das trocas por radiação que ocorrem na janela considera-se a radiação para o momento de máxima temperatura, ou seja às 14hs. Já para o cálculo do efeito da radiação sobre as superfícies opacas considera-se a radiação incidente sobre a superfícies 2 hs. (equivalentes ao atraso térmico da superfície) antes do momento de máxima temperatura (14 hs.).

A mesma sistemática utilizada para corrigir a radiação sobre as superfícies opacas é aplicada para a definição do efeito da temperatura externa. Aplica-se tal procedimento, pois a transmissão de calor por condução que ocorre nos vidros, usualmente empregados na construção civil, é praticamente imediata, não ocorrendo efeito (significativo) de atraso térmico. O mesmo não ocorre com as paredes e demais superfícies opacas. Deste modo, o procedimento adotado, considera o efeito combinado e de modo simultâneo as cargas térmicas incidentes em momentos diferentes. Portanto, a temperatura externa também é modificada em função da classe de atraso, de maneira similar ao adotado para a radiação solar. O *Regulamento Proposto* apresenta tabelas de correção de temperaturas para cada classe de atraso, Tabela A1.6 dos anexos

Esta correção de temperaturas externas para o cálculo das trocas por radiação justifica-se em função da análise feita a partir da simulação dos dados horários de temperatura para as cidades do Estado, que dispõem de dados consolidados nas Normais

Climatológicas. Verifica-se que a variação de temperatura em cada hora apresenta-se regular para as diversas localidades, possibilitando deste modo a construção de um índice da variação de temperatura para cada intervalo de uma hora.

Com base nas temperaturas horárias simuladas, foi avaliada diferença de temperatura para cada hora anterior ao momento da maior temperatura, considerado o período de necessidade de resfriamento (verão) e a diferença para cada hora anterior ao momento de menor temperatura, considerado o período de aquecimento (inverno). As tabelas 7.4.2 e 7.4.3 indicam o índice de variação de temperatura horária encontrado, para as duas situações, com atraso máximo de 7 hs., e a variação em torno da média que este índice apresentou, dentro do universo de 26 cidades avaliadas. A análise da tabela deixa claro que ao se adotar o índice de correção de temperaturas proposto não incorporadas variações significativas na avaliação da temperatura externa mas, ao contrário, incorpora-se na sistemática de cálculo, o importante efeito do atraso térmico diferenciado dos componentes da envolvente.

Tabela 7.4.2 Fatores de correção de temperatura exterior e desvio em torno da média necessidades de resfriamento

Atraso térmico - hs.	7	6	5	4	3	2	1	0
Fator de correção	0,705	0,749	0,804	0,862	0,916	0,961	0,990	1,000
Desvio em torno da média	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00

Tabela 7.4.3 Fatores de correção de temperatura exterior e desvio em torno da média necessidade de aquecimento

Atraso térmico - hs.	7	6	5	4	3	2	1	0
Fator de correção	1,559	1,432	1,312	1,207	1,119	1,054	1,014	1,000
Desvio em torno da média	0,177	0,136	0,099	0,065	0,038	0,017	0,004	0,000

7.5 Equações básicas

As equações utilizadas no *Regulamento Proposto* identificam os fluxos térmicos que ocorrem pela envolvente da edificação, dadas as condições internas de temperatura, denominadas condições internas de conforto e as condições externas de temperatura do ar e radiação solar. São equações baseadas em modelos comuns de quantificação dos fluxos térmicos em regime permanente e foram estruturadas a partir dos métodos apresentados no Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações, atualmente em análise no âmbito do Comitê Brasileiro da Construção Civil da ABNT, e Manual de Desempenho Térmico de Edificações editado pelo UFSC (LAMBERTS et al, 2000).

O conjunto de equações do *Regulamento Proposto* estabelece, inicialmente, uma condição limite para os fluxos térmicos totais admissíveis pela envoltória da edificação, baseado em condições arquitetônicas e construtivas de referência. Estas condições limites estão referidas a duas situações opostas, ou seja aquelas em que a temperatura externa é maior que o limite máximo de temperatura interna de conforto – definido como 26 °C -e aquelas em que a temperatura externa é menor que o limite mínimo de temperatura internas de conforto – definido como 10 °C.

As equações gerais que exprimem os fluxos térmicos máximos admissíveis, para situações de necessidades de aquecimento e resfriamento da edificação estão descritas abaixo, em cada um de seus componentes:

A) NECESSIDADES DE REFERENCIA DE RESFRIAMENTO - Q_{res}

$$Q_{res} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar} \quad [7.17]$$

Onde:

Q_{res} =	necessidades de referência de resfriamento
Q_p =	fluxos pelas paredes
Q_c =	fluxos pelas cobertura
Q_v =	fluxos pelas aberturas/envidraçados
Q_{ar} =	fluxos térmicos por ventilação

e

$$Q_p = A_p \cdot U_{rp} \cdot (TEC_{res} + (\alpha_r \cdot RSc_p \cdot R_{se}) - T_{imax}) \quad [7.18]$$

$A_p =$	área da parede (m ²)
$U_{rp} =$	transmitância térmica de referência de paredes (W/m ² . °C)
$TEC_{res} =$	temperatura externa corrigida – resfriamento (°C)
$\alpha_r =$	absortividade à radiação solar de referência das superfícies externas
$RSc_p =$	radiação solar corrigida-paredes (W/m ²)
$R_{se} =$	resistividade superficial externa (m ² . °C). W
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)

e

$$Q_c = A_c \cdot U_{rc} \cdot (TEC_{res} + (\alpha_r \cdot RSc_c \cdot R_{se}) - 4 - T_{imax}) \quad [7.19]$$

$A_c =$	área da cobertura (m ²)
$U_{rc} =$	transmitância térmica de referência de coberturas (W/m ² . °C)
$TEC_{res} =$	temperatura externa corrigida – resfriamento (°C)
$\alpha_r =$	absortividade à radiação solar de referência das superfícies externas
$RSc_c =$	radiação solar corrigida - cobertura (W/m ²)
$R_{se} =$	resistividade superficial externa de referência (m ² . °C). W
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)

e

$$Q_v = A_v \cdot U_{rv} \cdot (T_{max} - T_{imax}) + (FSr \cdot RS) \quad [7.20]$$

$A_v =$	área das aberturas envidraçadas (m ²)
$U_{rv} =$	transmitância térmica de referência dos vidros (W/m ² . °C)
$T_{max} =$	temperatura média das máximas (°C)
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)
$FSr =$	solar de referência
$RS =$	radiação solar incidente sobre a superfície (W/m ²)

e

$$Q_{ar} = 0,34 \cdot A_{pi} \cdot P_d \cdot (T_{max} - T_{imax}) \quad [7.21]$$

$A_{pi} =$	área do pavimento (m ²)
$P_d =$	pé direito (m)
$T_{max} =$	temperatura externa corrigida – resfriamento (°C)

$T_{imax} =$ temperatura interna máxima (°C)

B) NECESSIDADES DE REFERÊNCIA DE AQUECIMENTO - Q_{aq}

$$Q_{aq} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar} \quad [7.22]$$

Onde:

Q_{aq} = necessidades de referência de aquecimento
 Q_p = fluxos pelas paredes
 Q_c = fluxos pelas cobertura
 Q_v = fluxos pelas aberturas/envidraçados
 Q_{ar} = fluxos térmicos por ventilação

e

$$Q_p = A_p \cdot U_{rp} \cdot (TEC_{aq} - T_{imin}) \quad [7.23]$$

A_p = área da parede (m²)
 U_{rp} = transmitância térmica de referência de paredes (W/m² . °C)
 TEC_{aq} = temperatura externa corrigida – aquecimento (°C)
 T_{imin} = temperatura interna mínima (°C)

e

$$Q_c = A_c \cdot U_{rc} \cdot (TEC_{aq} - T_{imin}) \quad [7.24]$$

A_c = área da cobertura (m²)
 U_{rc} = transmitância térmica de referência de cobertura (W/m² . °C)
 TEC_{aq} = temperatura externa corrigida – aquecimento (°C)
 T_{imin} = temperatura interna mínima (°C)

e

$$Q_v = A_v \cdot U_{rv} \cdot (T_{min} - T_{imin}) \quad [7.25]$$

A_v = área das aberturas envidraçadas (m²)
 U_{rv} = transmitância térmica de referência de vidros (W/m² . °C)
 T_{min} = temperatura média das mínimas (°C)
 T_{imin} = temperatura interna mínima (°C)

e

$$Q_{ar} = 0,34 \cdot A_{pi} \cdot P_d \cdot (T_{min} - T_{imin}) \quad [7.26]$$

A_{pi} =	área do pavimento (m ²)
P_d =	pé direito (m)
T_{min} =	temperatura média das mínimas
T_{imin} =	temperatura interna mínima (°C)

As NECESSIDADES DE REFERENCIA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO são comparadas com as NECESSIDADES ESPECÍFICAS DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO, calculadas com base nas características construtivas e arquitetônicas próprias do projeto que está sendo submetido a aprovação do *Regulamento Proposto*. As equações que exprimem as trocas térmicas totais que ocorrem pela envoltória da edificação, em suas condições originais, possuem a mesma estrutura das equações que definem as necessidades de referencia. A equação geral que exprime os fluxos térmicos que ocorrem na envoltória da edificação a ser avaliada, tanto para situações de necessidades de aquecimento como de resfriamento, estão descritas abaixo, em cada um de seus componentes:

A) NECESSIDADES ESPECÍFICAS DE RESFRIAMENTO - QE_{res}

$$QE_{res} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar} \quad [7.27]$$

Onde:

QE_{res} =	necessidades específica de resfriamento
Q_p =	fluxos pelas paredes
Q_c =	fluxos pelas cobertura
Q_v =	fluxos pelas aberturas/envidraçados
Q_{ar} =	fluxos térmicos por ventilação

e

$$Q_p = A_p \cdot U_p \cdot (TEC_{res} + (\alpha \cdot RSc_p \cdot R_{se}) - T_{imax}) \quad [7.28]$$

A_p =	área da parede (m ²)
---------	----------------------------------

$U_p =$	transmitância térmica de paredes (W/m ² . °C)
$TEC_{res} =$	temperatura externa corrigida – resfriamento (°C)
$\alpha =$	absortividade à radiação solar das superfícies externas
$RSc_p =$	radiação solar corrigida-paredes (W/m ²)
$R_{se} =$	resistividade superficial externa (m ² . °C). W
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)

e

$$Qc = Ac . U_c . (TEC_{res} + (\alpha . RSc_c . R_{se}) - 4 - T_{imax}) \quad [7.29]$$

$Ac =$	área da cobertura (m ²)
$U_c =$	transmitância térmica de coberturas (W/m ² . °C)
$TEC_{res} =$	temperatura externa corrigida – resfriamento (°C)
$\alpha =$	absortividade à radiação solar das superfícies externas
$RSc_c =$	radiação solar corrigida - cobertura (W/m ²)
$R_{se} =$	resistividade superficial externa (m ² . °C). W
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)

e

$$Qv = Av . U_v . (T_{max} - T_{imax}) + (FS . RS) \quad [7.30]$$

$Av =$	área das aberturas (m ²)
$U_v =$	transmitância térmica dos vidros (W/m ² . °C)
$T_{max} =$	temperatura média das máximas (°C)
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)
$FS =$	Fator solar
$RS =$	radiação solar incidente sobre a superfície (W/m ²)

e

$$Qar = 0,34 . Api . P_d . (T_{max} - T_{imax}) \quad [7.31]$$

$Api =$	área do pavimento (m ²)
$P_d =$	pé direito (m)
$T_{max} =$	temperatura média das máximas (°C)
$T_{imax} =$	temperatura interna máxima (°C)

B) NECESSIDADES DE REFERÊNCIA DE AQUECIMENTO - QE_{aq}

$$QE_{aq} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar} \quad [7.30]$$

Onde:

$QE_{aq} =$	necessidades específicas de aquecimento
$Q_p =$	fluxos pelas paredes
$Q_c =$	fluxos pelas cobertura
$Q_v =$	fluxos pelas aberturas/envidraçados
$Q_{ar} =$	fluxos térmicos por ventilação

e

$$Q_p = A_p \cdot U_p \cdot (TEC_{aq} - T_{imin}) \quad [7.31]$$

$A_p =$	área da parede (m ²)
$U_p =$	transmitância térmica de paredes (W/m ² . °C)
$TEC_{aq} =$	temperatura externa corrigida – aquecimento (°C)
$T_{imin} =$	temperatura interna mínima (°C)

e

$$Q_c = A_c \cdot U_c \cdot (TEC_{aq} - T_{imin}) \quad [7.32]$$

$A_c =$	área da cobertura (m ²)
$U_c =$	transmitância térmica de cobertura (W/m ² . °C)
$TEC_{aq} =$	temperatura externa corrigida – aquecimento (°C)
$T_{imin} =$	temperatura interna mínima (°C)

e

$$Q_v = A_v \cdot U_v \cdot (T_{min} - T_{imin}) \quad [7.33]$$

$A_v =$	área das aberturas envidraçadas (m ²)
$U_v =$	transmitância térmica de vidros (W/m ² . °C)
$T_{min} =$	temperatura média das mínimas (°C)
$T_{imin} =$	temperatura interna mínima (°C)

e

$$Q_{ar} = 0,34 \cdot A_{pi} \cdot P_d \cdot (T_{min} - T_{imin}) \quad [7.34]$$

$A_{pi} =$	área do pavimento (m ²)
$P_d =$	pé direito (m)
$T_{min} =$	temperatura média das mínimas (°C)
$T_{imin} =$	temperatura interna mínima (°C)

7.6 Definição das condições de referência

As condições de referência baseiam-se nas características construtivas e arquitetônicas que uma edificação precisa ter para promover as condições internas de conforto adequadas considerando as condições climáticas típicas do Estado de São Paulo. Elas não limitam a liberdade do arquiteto na elaboração dos projetos, mas definem os limites dos fluxos térmicos máximos admissíveis para garantir as condições internas de conforto, tanto quando a edificação necessita de aporte de calor e quando precisa que o calor seja retirado da edificação ou evitado.

Com base na avaliação climática do estado e nas estratégias mais eficazes para a melhoria do desempenho térmico das edificações, discutidas nos capítulos anteriores, buscou-se identificar inicialmente a transmitância térmica de referência das paredes e de coberturas, em função da exposição as temperaturas máximas e mínimas, características de cada localidade, bem como da amplitude térmica. Desta forma a transmitância térmica de referência da envolvente (paredes e coberturas) é determinada em função das temperaturas máximas e mínimas típicas de cada local (identificadas no Mapa das Normais) conforme a Tabela 7.6.1, optando-se pela transmitância que for menor.

A Tabela 7.6.1 foi construída a com base na transmitância típica dos materiais usualmente empregados na construção civil brasileira. A transmitância dos materiais utilizados para a confecção da tabela são aquelas que constam da proposta de Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificação (ABNT, 1998). Esta tabela é um dos itens do Regulamento Proposto que merecem aperfeiçoamentos constantes. Em uma versão inicial optou-se por adotar como parâmetro a maior transmitância encontrada entre os materiais tipicamente empregados na construção civil, como limite máximo para a utilização em climas com amplitude média igual a máxima encontrada no estado de São Paulo, conforme Tabela A1.7, e como limite mínimo para utilização em climas com a menor amplitude média, a menor transmitância dentre os materiais usualmente empregados.

Tabela 7.6.1 Transmissância de Referência

Transmissância de Referência dos Componentes			
Temperatura externa °C		Transmissância (U) W/m ² . °C	
Mínima	máxima	Paredes	coberturas
18,0	26,0	2,480	1,400
17,1	26,5	2,386	1,351
16,1	27,0	2,293	1,303
15,2	27,5	2,199	1,254
14,3	28,1	2,105	1,205
13,3	28,6	2,011	1,156
12,4	29,1	1,918	1,108
11,4	29,6	1,824	1,059
10,5	30,1	1,730	1,010
9,6	30,6	1,636	0,961
8,6	31,1	1,543	0,912
7,7	31,6	1,449	0,864
6,8	32,2	1,355	0,815
5,8	32,7	1,261	0,766
4,9	33,2	1,168	0,718
3,9	33,7	1,074	0,669
3,0	34,2	0,980	0,620

De modo similar, ou seja, a partir da consideração das condições climáticas típicas de cada localidade, são definidos os atrasos térmicos de referência para cada um dos componentes opacos da envolvente externa (paredes e cobertura) da edificação. O atraso térmico é definido em termos de horas e utilizado para a correção da radiação solar incidente e para a identificação do fator de correção das temperaturas externas. A Tabela 7.6.2 indica os valores do atraso térmico de referência para os diversos intervalos de amplitude térmica encontrados no Estado de São Paulo.

A consideração da classe de atraso se vincula à eficácia da estratégia de inércia térmica como promotora de adequação climática em situações de amplitudes térmicas significativas e também as propriedades de transmissão térmica da envolvente. Deve-se destacar que a estrutura do *Regulamento Proposto* impõe a necessidade de correção da temperatura externa e da radiação solar incidente não apenas para as condições de referência.

O mesmo procedimento adotado para a construção da Tabela 7.6.1 foi adotado para a construção da Tabela 7.6.2, relacionando-se os maiores atrasos térmicos com as condições de maiores amplitudes térmicas.

Tabela 7.6.2 Atraso Térmico de Referência em horas

Amplitude hs.	Atraso térmico de referência - φ_r	
	Paredes hs.	Coberturas hs.
5,9	2,4	3,0
6,6	2,8	3,4
7,3	3,1	3,8
8,0	3,5	4,1
8,7	3,8	4,5
9,4	4,2	4,9
10,1	4,5	5,3
10,8	4,9	5,6
11,5	5,3	6,0
12,1	5,6	6,4
12,8	6,0	6,8
13,5	6,3	7,1
14,2	6,7	7,5
14,9	7,0	7,9
15,6	7,4	8,3
16,3	7,7	8,6
17,0	8,1	9,0

Além das características relativas à transmitância e atraso térmico dos componentes o *Regulamento Proposto* define as condições de referência para:

- a) Fator Solar de Referência das aberturas envidraçadas – equivalente ao Fator Solar médio das proteção usualmente empregadas nas edificações projetada de acordo com as características climáticas locais, em função da orientação das aberturas – Figura 7.6.1 e Figura A1.4 dos anexos.
- b) Absortividade de Referência das superfícies externas – equivalente a absortividade de uma superfície externa de cor clara – Tabela 7.6.3 e Tabela A1.3 dos anexos.

c) Transmitância de Referência dos vidros – equivalente a transmitância de um vidro comum de 3mm – Tabela 7.6.3 e Tabela A2.3.

d) Proporção de Referência das aberturas envidraçadas – variável em função da orientação das aberturas, privilegiando –se a exposição para as orientações N e S. – Gráfico 7.6.5 e Gráfico A2.2

A tabela 7.6.3 e as Figuras 7.6.1 e 7.6.2 indicam os valores de referência adotados

Tabela 7.6.3 Valores de referência: absorvidade das superfícies, transmitância de vidros.

	Valores de referência	Unidade	Símbolo
Absorvidade das superfícies	0,30	-	α_r
Transmitância de vidros	5,80	$W/m^2/^\circ C$	U_{rv}

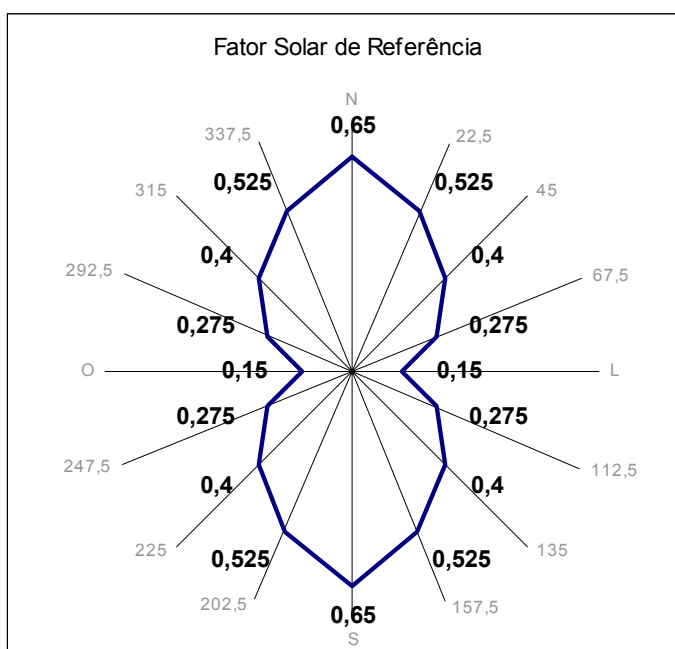


Figura 7.6.1 Fator Solar de Referência das aberturas em função da orientação.

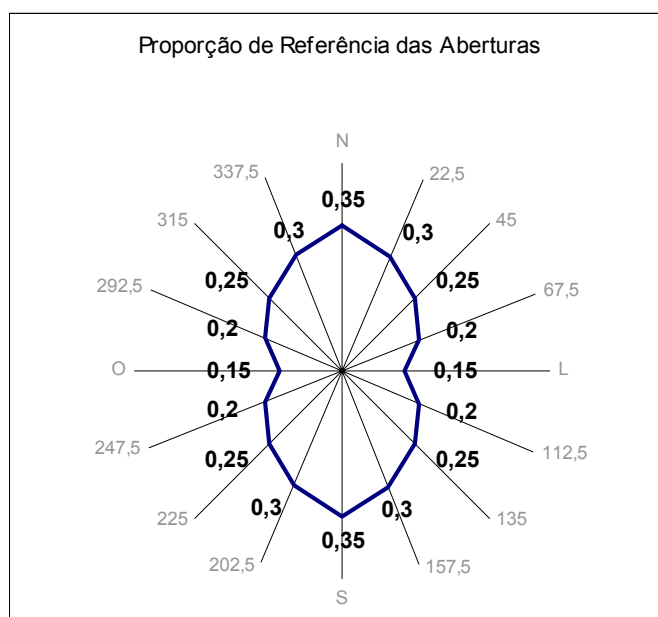


Figura 7.6.2 Proporção de Referência das aberturas em função da orientação

O Fator Solar de Referência, considerando as discussões dos capítulos anteriores, foi definido de forma tal que as orientações que recebem a maior carga térmica precisam ser mais protegidas. Desta forma para as superfícies voltadas para Lestes-Oeste o FS é de 0,15 enquanto que para as orientações voltadas para Norete-Sul o FS é de 0,65. A definição da Proporção de Referencia das Aberturas, conforma já analisado, também obedece o critério da menor exposição. Sendo assim as aberturas voltadas para Leste-Oeste podem representar apenas 15% da área da parede, enquanto que as aberturas voltadas para Norte-Sul a proporção pode ser 35%.

7.7 Roteiro para a aplicação do Regulamento

A aplicação do *Regulamento Proposto* segue um roteiro simples que consiste no cálculo das NECESSIDADES DE REFERÊNCIA DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO (Q_{res} e Q_{aq} , respectivamente) e das NECESSIDADES ESPECÍFICAS DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO (Q_{Eres} e Q_{Eaq} ,

respectivamente), comparando-se o resultado. Para a edificação ser aprovada é necessário que:

$$\begin{array}{c} Q_{res} \leq Q_{Eres} \\ e \\ Q_{aq} \geq Q_{Eaq} \end{array}$$

Recomenda-se que primeiramente sejam calculadas as NECESSIDADES DE REFERÊNCIA, com base nas equações apresentadas, identificando para cada componente, separadamente, os fluxos pelas paredes, pelas coberturas, pelas aberturas envidraçadas e pela movimentação de ar. O resultado do cálculo para cada componente específico é somado, determinando os fluxos totais admissíveis para a edificação. Este resultado será comparado com o cálculo das NECESSIDADES ESPECÍFICAS.

Para o cálculo das NECESSIDADES ESPECÍFICAS estão apresentadas em anexo tabelas de apoio (Anexo 3), onde estão indicados os valores de Transmitância e Atraso Térmico de paredes e coberturas, de Fator Solar das aberturas e de Absortividade de superfícies, característicos das técnicas construtivas, soluções arquitetônicas e dos principais materiais empregados regularmente nas edificações brasileiras. As fichas de aplicação do regulamento apresentadas no anexo (anexo 4) são de fácil compreensão para os profissionais que deverão aplicar o regulamento e tem uma estrutura praticamente auto-explicativa. Contudo, com o objetivo de demonstrar a sistemática de aplicação do *Regulamento Proposto*, iremos aplicá-lo em uma edificação real.

Trata-se de um projeto desenvolvido pela CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, para um edifício de habitação popular de baixa renda, implantado na cidade de São Paulo. As características arquitetônicas e construtivas da edificação, que precisam ser consideradas para a avaliação do mesmo pelo *Regulamento Proposto* estão apresentadas na Planta “PROJETO CDHU. A Unidade descrita é uma unidade típica que se repete em 6 módulos por cada andar. O edifício possui 4 pavimentos, sendo que a unidade que está sendo avaliada é a do último pavimento.

INSERIR PLANTA - PROJETO CDHU

Das fichas de aplicação do regulamento, apresentadas no Anexo 4, a FICHA 1 descreve as condições do local onde a edificação esta situada, no caso do PROJETO CDHU temos que:

FICHA 1

Dados do local			
Latitude	$T_{max.}$	$T_{min.}$	Amplitude térmica
23° 30'	27,7 °C	10,1 °C	12,1 °C

T_{max} e T_{min} são definidos a partir do Mapa das Normais, Figura 7.4.3 e 7.4.4, respectivamente. Para efeito da aplicação do *Regulamento Proposto* a identificação das amplitude médias ainda não pôde ser feita com base em um mapa das amplitudes médias, sendo assim utilizou-se os dados das Normais Climatológicas, conforme apresentado na Tabela A1.7. A utilização desta tabela restringe a aplicação àquelas localidade listadas, contudo a confecção de um mapa de amplitudes, a partir dos dados disponíveis, não se constitui em empecilho para a validação da estrutura de regulamentação que está sendo proposta neste trabalho.

A temperatura interna de conforto adotada para cálculo das condições de resfriamento e aquecimento são, respectivamente, 26 °C e 18 °C.

A partir de $T_{max.}$ e $T_{min.}$ é possível identificar na tabela A2.1 a Transmitância e o Atraso Térmico de Referência de paredes e cobertura, que serão utilizados no cálculo das necessidades de referencia de aquecimento e resfriamento. São adotados os menores valores obtidos da tabela, ou seja:

$$U_{rp} = 1,730 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U_{rc} = 1,010 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{rp} = 5,5 \text{ hs.}$$

$$\varphi_{rc} = 6,3 \text{hs.}$$

Destaca-se que, por aproximação, utilizou-se $T_{max} = 10,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, pois a tabela foi organizada, apenas para efeito de apresentação, com 20 subdivisões na escala de variação total das temperaturas máximas e mínimas verificadas, contudo esta subdivisão

pode tal que englobe a variação que se quiser, ou valor pode ser obtido por interpolação. Como o intuito é o de demonstrar a viabilidade e adequação da estrutura proposta neste regulamento a aproximação não invalida o resultado obtido, pois somente aumenta a restrição do caso de referência.

Para o cálculo das necessidades de referencia - resfriamento os cálculos são feitos separadamente considerando as trocas pelas paredes, coberturas, aberturas envidraçadas e ventilação. A FICHA 4 identifica as trocas pelas paredes.

FICHA 4

Cálculo das necessidades de referência – resfriamento								
Paredes	$Q_p = A_p \cdot U_{rp} \cdot (TEC_{res} + (\alpha_r \cdot RSc_p \cdot R_{se}) - T_{imax})$							
	Q_p	A_p	U_{rp}	TEC_{res}	α_r	RSc_p	R_{se}	T_{imax}
1	63,0	14,78	1,730	21,52	0,3	578,5	0,04	26
	+							
2	-55,6	11,81	1,730	21,52	0,3	146,6	0,04	26
	+							
3	-83,4	14,78	1,730	21,52	0,3	101,5	0,04	26
	=							
total	-75,9							

TEC_{res} é obtida multiplicado-se T_{max} pelo Fator de Correção de Temperatura Exterior. O Fator de Correção de Temperatura Exterior é obtido da Tabela A2.6, em função do atraso térmico de referência das paredes, $\phi_{rp} = 5,5$ hs., resultando, por interpolação, em 0,777.

Assim:

$$TEC_{res} = (27,7 \cdot 0,777) = 21,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A Tabela A.2.5 indica $R_{se} = 0,04$

A radiação solar corrigida, RSc_p , para o atraso de referência do componente (parede = 5,5 hs.) é obtida da tabela A1.8, para a latitude em questão, optando-se pelo valor mais próximo do número inteiro, ou por interpolação. No caso adotou-se o valor

A transmitância é dada pela Tabela A.2.1, como sendo:

$$U_{rc} = 1,010 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A $TE_{C_{res}}$ para cobertura é definida do mesmo modo que para as paredes (tanto para o período de resfriamento como de aquecimento), contudo deve-se considerar o atraso de referência da cobertura que é, $\varphi_{rc} = 6,3\text{hs}$. Da tabela A.2.6, de Fatores de Correção de Temperatura Externa, obtêm-se por interpolação o valor de 0,736, portanto:

$$TE_{C_{res}} = 27,7 \cdot 0,739 = 20,387 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Da tabela A2.5 obtêm-se o valor de R_{se} .

$$R_{se} = 0,04$$

A radiação solar corrigida RSc_c é obtida da tabela A1.8, para o atraso de referência do componente, optando-se pelo valor mais próximo, no caso 6 hs, ou interpolando-se, assim:

$$RSc_c = 565 \text{ W/m}^2 \text{ (considerando atraso de 6 hs.)}$$

Caso o valor de radiação seja interpolado para o cálculo das trocas em um componente específico, todos os outros devem seguir o mesmo procedimento.

A absorvidade da cobertura de telha cerâmica, obtida da tabela A2.2, é de:

$$\alpha_{rc} = 0,775$$

A área de cobertura a ser considerada, dada pelas informações da planta é de:

$$Ac = 46,8 \text{ m}^2$$

A FICHA 6 indica o cálculo das necessidades de referência-resfriamento para as trocas pelas aberturas envidraçadas, portanto não são corrigidas a temperatura exterior e a radiação solar incidente nas superfícies.

FICHA 6

Cálculo das necessidades de referência – resfriamento							
Aberturas Envidraçadas	$Q_v = A_v \cdot U_{rv} \cdot (T_{max} - T_{imax}) + (FSr \cdot RS)$						
	Q_v	A_v	U_{rv}	T_{max}	T_{imax}	FSr	RS
	+						
1	78,0	2,61	5,8	27,7	26,0	0,15	133,4
	+						
2	1038,0	6,37	5,8	27,7	26,0	0,65	235,7
	+						
3	223,4	2,61	5,8	27,7	26	0,15	504,6
	=						
<i>Total</i>	1339,4						

O Fator Solar de Referência FSr é obtido da Figura A1.4, em função da orientação da abertura, no caso:

Aberturas situadas em P1 (leste)= 0,15

Aberturas situadas em P2 (norte) =0,65

Aberturas situadas em P3 (oeste) = 0,15

A área das abertura também é dada em função da orientação, a partir da proporção de referência das aberturas, obtida no Figura A.1.2.

Proporção das aberturas:

Em P1 = 0,15

Em P2 = 0,35

Em P3 = 0,15

Assim, a área das aberturas é de:

Em P1 = $6,69 \cdot 0,15 = 2,61 \text{ m}^2$

$$\text{Em P2} = 6,99 \cdot 0,35 = 6,37 \text{ m}^2$$

$$\text{Em P3} = 6,69 \cdot 2,61 = 2,61 \text{ m}^2$$

A radiação solar incidente RS é obtida na tabela A1.8 para as orientações das aberturas em questão, considerando a latitude do local:

$$\text{Aberturas em P1 (leste)} = 133,4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Aberturas em P2 (norte)} = 235,7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Aberturas em P3 (oeste)} = 504,6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para a definição de U_{rv} utiliza-se a tabela A2.9. Esta tabela considera a transmitância de um vidro comum de 3mm de espessura como sendo o valor de referência para todos as aberturas envidraçadas, tanto para o cálculo das necessidades de referência como par o cálculo das necessidades específicas, ou seja:

$$U_{rv} = 5,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A FICHA 7 indica o cálculo das necessidades de referência – resfriamento para as trocas por ventilação.

FICHA 7

Cálculo das necessidades de referência – resfriamento						
Ventilação		$Q_{ar} = 0,34 \cdot A_{pi} \cdot P_d \cdot (T_{min} - T_{imin})$				
	Q_{ar}	$0,34$	A_{pi}	P_d	T_{min}	T_{imin}
		+				
I	70,36	0,34	46,83	2,6	27,7	26
		=				
Total	70,36					

A área de piso e o pé direito são dados pela planta:

$$A_{pi} = 46,8 \text{ m}^2$$

$$P_d = 2,6 \text{ m}$$

A FICHA 8 totaliza o cálculo da necessidades de referência - aquecimento, considerando as parcelas das paredes, cobertura, aberturas envidraçadas e ventilação.

FICHA 8
Cálculo das necessidades totais de referência – resfriamento

$$Q_{res} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar}$$

Q_{res}	Q_p	Q_c	Q_v	Q_{ar}
1707,55	-75,89	373,76	1339,30	70,38

O cálculo das necessidades de referência - aquecimento segue os mesmos procedimentos descritos anteriormente para as necessidades de referência – resfriamento. Porém, como o cálculo é feito considerando a hora mais fria do dia no período mais frio do ano, ou seja, inverno às 5 hs., não há presença de radiação solar.

A FICHA 9 indica as trocas pelas paredes.

FICHA 9

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento					
Paredes		$Q_p = A_p \cdot U_{rp} \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_p	A_p	U_{rp}	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
1	-105,96	14,78	1,730	13,9	18
	+				
2	-84,67	11,81	1,730	13,9	18
	+				
3	-105,96	14,78	1,730	13,9	18
	+				
N					
	=				
Total	-296,59				

A TEC_{aq} é obtida multiplicando-se T_{min} pelo Fator de Correção de Temperatura Externa, dado pela tabela A1. 6, ou seja, 1,372 para Atraso de Referência do componente de 5,5 hs. (considerou-se 5 hs.).

Assim:

$$TEC_a = 10,1 \cdot 1,372 = 13,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e

$$T_{min} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

U_{rp} já foi anteriormente definida como: $1,730 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

A área de paredes é a mesma.

A FICHA 10 indica o cálculo das necessidades de referência – aquecimento para as trocas por cobertura.

FICHA 10

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento					
Cobertura		$Q_c = A_c \cdot U_{rc} \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_c	A_c	U_{rc}	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
<i>I</i>	-149,1	46,8	1,010	14,8	18
	=				
<i>Total</i>	-149,1				

O único dado novo a ser acrescentado na FICHA 10 é TEC_{aq} , que é obtida multiplicando-se T_{min} pelo Fator de Correção de Temperatura Externa, que para o caso da cobertura, com Atraso de Referência de 6,3 hs, é de 1,470 (obtido por interpolação).

Assim:

$$TEC_{aq} = 10,1 \cdot 1,470 = 14,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A FICHA 11 indica o cálculo da necessidades de referência – aquecimento para as trocas pelas aberturas envidraçadas.

FICHA 11

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento					
Aberturas envidraçadas		$Q_v = A_v \cdot U_{rv} \cdot (T_{min} - T_{imin})$			
	Q_v	A_v	U_{rv}	T_{min}	T_{imin}
	+				
<i>1</i>	-119,6	2,61	5,8	10,1	18
	+				
<i>2</i>	-291,7	6,37	5,8	10,1	18
	+				
<i>3</i>	-119,6	2,61	5,8	10,1	18
	=				
<i>Total</i>	-530				

Como não há radiação solar no cálculo das necessidades de aquecimento, os dados necessários já foram utilizados, a saber:

$$U_{rv} = 5,8$$

$$T_{min} = 10,1$$

Área das aberturas

$$\text{Em P1} = 2,61 \text{ m}^2$$

$$\text{Em P2} = 6,37 \text{ m}^2$$

$$\text{Em P3} = 2,61 \text{ m}^2$$

A FICHA 12 indica o cálculo das trocas por ventilação. Para este cálculo todos os dados já foram utilizados.

FICHA 12

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento						
Ventilação		$Q_{ar} = 0,34 \cdot A_{pi} \cdot P_d \cdot (T_{min} - T_{imin})$				
	Q_{ar}	0,34	A_{pi}	P_d	T_{min}	T_{imin}
	+					
I	-327,1	0,34	46,8	2,6	10,1	18
	=					
Total	-327,1					

A FICHA 13 totaliza as necessidades de referência de – aquecimento considerando os diversos componentes da edificação.

FICHA 13

Cálculo das necessidades totais de referência – aquecimento

$$Q_{aq} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar}$$

Q_{aq}	Q_p	Q_c	Q_v	Q_{ar}

Os dados obtidos serão comparados com os dados resultantes do cálculo das necessidades específicas, para identificar se o projeto é considerado aprovado pelo *Regulamento Proposto*.

FICHA 23

Cálculo das necessidades totais específicas - aquecimento

$$QE_{aq} = Q_p + Q_c + Q_v + Q_{ar}$$

QE_{aq}	Q_p	Q_c	Q_v	Q_{ar}
-1935,6	-724,6	-554,14	-329,90	-327,1

FICHA 24

Comparação dos resultado

Necessidades Específicas		Necessidades de Referência
	condição	
Resfriamento - QE_{res}	\leq	Resfriamento - Q_{res}
3703,39		1707,55
Aquecimento - QE_{aq}	\geq	Aquecimento - Q_{aq}
-1935,6		1303,72

-

8. Conclusão

Para avaliar a aplicabilidade do *Regulamento Proposto*, a qualidade de sua estrutura, bem como testar suas premissas básicas de cálculo e a definição das condições de referência, realizamos a simulação de aplicação em 4 casos básicos: dois projetos do Habitacionais da CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, localizados na cidade de São Paulo e em Santos e dois projetos desenvolvidos com critérios de adequação climática, localizados também em Santos e São Paulo, aplicando, nestes últimos, as principais estratégias que comprovadamente garantem que as temperaturas internas permaneçam dentro da faixa de conforto tanto no inverno como no verão.

Os projeto avaliados foram portanto:

- a) CDHU - São Paulo,
- b) CDHU - Santos,
- c) PROJETO ADEQUADO - São Paulo,,
- d) PROJETO ADEQUADO - Santos.

O PROJETO ADEQUADO possui as mesmas características básicas dos projetos da CDHU, ou seja tem a mesma área construída, com os mesmos ambientes, e mantém os mesmos padrões simples dos projetos da CDHU.

As modificações realizadas, no projeto da CDHU, que resultaram no PROJETO ADEQUADO, foram nos materiais utilizados nas paredes e cobertura, na disposição dos ambientes, na orientação das fachadas e conseqüentemente das aberturas.

As demais características foram mantidas, conforme planta e descrição a seguir:

Planta projeto adequado

A simulação de aplicação do *Regulamento Proposto*, para os 4 projetos em questão apresentou o seguinte resultado:

1

CDHU – Santos	
NECESSIDADES DE REFERÊNCIA	NECESSIDADES ESPECÍFICAS
$Q_p = 307,62$	$Q_p = 493,25$
$Q_c = 904,2$	$Q_c = 2106,32$
$Q_v = 1513,21$	$Q_v = 1896,38$
$Q_{ar} = 169,74$	$Q_{ar} = 169,74$
$Q_{res} = 2894,81$	$Q_{Eres} = 4665,69$
NÃO APROVADO	
$Q_p = -34,47$	$Q_p = -54,2$
$Q_c = -22,09$	$Q_c = -6,15$
$Q_v = -181,46$	$Q_v = -112,75$
$Q_{ar} = -103,18$	$Q_{ar} = -103,2$
$Q_{aq} = -297,02$	$Q_{Eaq} = -276,3$
APROVADO	

2

CDHU – São Paulo	
NECESSIDADES DE REFERÊNCIA	NECESSIDADES ESPECÍFICAS
$Q_p = -75,89$	$Q_p = 248,32$
$Q_c = 373,76$	$Q_c = 1587,72$
$Q_v = 1339,30$	$Q_v = 1796,94$
$Q_{ar} = 70,38$	$Q_{ar} = 70,32$
$Q_{res} = 1707,55$	$Q_{Eres} = 3703,36$
NÃO APROVADO	
$Q_p = -296,59$	$Q_p = -724,60$
$Q_c = -149,14$	$Q_c = -554,14$
$Q_v = -530,94$	$Q_v = -329,90$
$Q_{ar} = -327,05$	$Q_{ar} = -327,10$
$Q_{aq} = -1303,72$	$Q_{Eaq} = -1935,60$
NÃO APROVADO	

3

PROJETO ADEQUADO	
Santos	
NECESSIDADES DE REFERÊNCIA	NECESSIDADES ESPECÍFICAS
$Q_p = 331,26$	$Q_p = 273,88$
$Q_c = 926,8$	$Q_c = 578,29$
$Q_v = 949,99$	$Q_v = 597,23$
$Q_{ar} = 173,97$	$Q_{ar} = 173,97$
$Q_{res} = 2382,02$	$Q_{Eres} = 1623,38$
APROVADO	
$Q_p = -35,83$	$Q_p = 158,0$
$Q_c = 22,65$	$Q_c = 146,91$
$Q_v = -233,54$	$Q_v = -120,27$
$Q_{ar} = -114,57$	$Q_{ar} = -114,6$
$Q_{eq} = -361,29$	$Q_{Eeq} = 70,1$
APROVADO	

4

PROJETO ADEQUADO	
São Paulo	
NECESSIDADES DE REFERÊNCIA	NECESSIDADES ESPECÍFICAS
$Q_p = 174,02$	$Q_p = 23,75$
$Q_c = 46,2$	$Q_c = 480,1$
$Q_v = 859,56$	$Q_v = 490,33$
$Q_{ar} = 72,13$	$Q_{ar} = 72,13$
$Q_{res} = 1151,93$	$Q_{Eres} =$
APROVADO	
$Q_p = -349,13$	$Q_p = -661,1$
$Q_c = -152,86$	$Q_c = -223,09$
$Q_v = -823,62$	$Q_v = -351,9$
$Q_{ar} = -335,21$	$Q_{ar} = -335,2$
$Q_{Eeq} = -1660,81$	$Q_{aq} = -1571,3$
APROVADO	

Os resultados da simulação indicam que a estrutura do Regulamento Proposto e as suas equações conseguem identificar corretamente as condições limites para a aprovação dos projetos, permitindo avaliar o desempenho dos componentes específicos

do projeto, indicando aqueles que estão comprometendo ou contribuindo para o conforto do ambiente interno. Nota-se que apesar das alterações realizadas nos projetos do CDHU para produzir o PROJETO ADEQUADO se concentrarem apenas nos aspectos mais sensíveis do desempenho térmico, a disposição dos ambientes, a orientação das fachadas e as características térmicas da cobertura, o projeto foi aprovado, pois seu desempenho térmico foi aprimorado. Ressalta-se que como as equações básicas definem um coeficiente de movimentação de ar em função da área de piso, sem considerar a área efetiva das aberturas, ou mesmo a participação das frestas, as trocas por ventilação são as mesmas os três projetos, contudo com participações diferentes nas trocas totais. De fato, as trocas podem variar entre alternativas que tenham área de janelas diferentes, mas o regulamento não incorporará esse aspecto no momento. A incerteza quanto ao real nível de vedação e de renovação do ar que as soluções de aberturas permitem, são maiores que uma renovação regular do ar, adotada como referência no cálculos das trocas térmicas.

Percebe-se que da análise do resultado da simulação de aplicação do *Regulamento Proposto* o arquiteto já pode retirar recomendações importantes e suficientes para a adequação climática da edificação, pois fica evidente quais são os elementos e características construtivas que precisam ser modificadas.

Os principais aspectos que definem a estrutura do *Regulamento Proposto*, são por definição, merecedores de aprimoramentos constantes. Esta é uma característica indispensável para a implantação de qualquer regulamentação de desempenho térmico ou de condições mínimas de conforto das edificações, especialmente no período inicial, onde o impacto econômico e cultural que pode acarretar, caso não seja corretamente avaliado o seu grau de exigência, pode conduzir a perda de credibilidade prematura dos objetivos proposta na regulamentação. É indispensável permitir níveis de restrição crescentes que somente podem ser obtidos com uma regulamentação que possua uma estrutura formulada para ser constantemente aprimorada. Este objetivo pôde ser atingido com o *Regulamento Proposto*, pois os casos de referência e os dados necessários são aqueles estruturados para representar, no período inicial de implantação, o estado da arte da construção civil e das técnicas de projeto dos dados disponíveis.

O objetivo inicial deste trabalho foi o de traçar as diretrizes para a implantação de uma regulamentação, de âmbito estadual, que não só pudesse ser implantada imediatamente como também e tivesse repercussões no médio prazo, tanto sobre o consumo de energia, como sobre as condições de conforto das novas edificações, mas também, e conseqüentemente, sobre as características construtivas e as técnicas de projeto atualmente empregadas.

Contudo, com o desenvolvimento dos trabalhos e das pesquisas foi possível avançar dentro deste objetivo inicial e apresentar uma proposta mais consolidada de regulamentação, expressa na formulação ora apresentada, denominada de *Regulamento Proposto*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **Desempenho Térmico de Edificações** – Projeto de Norma Brasileira no 02:135.07-001. São Paulo, COBRACON, mimeo, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE **Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**, Atlanta, ASHRAE Standards 55 – 1992, 1992.
- _____. **Energy efficient design of new low-rise residential buildings**. Atlanta, s.ed. 1989.
- _____. **ASHRAE Fundamentals - Cap. 8: Thermal Comfort**. Atlanta, 1997.
- BALCON, D., et al. **Passive solar heating of buildings – Energy conservation through buildings design**. New York, ed. Donald Watson, MacGraw Hill, 1979.
- BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R. **Avaliação térmica de edifícios – subsídios para a normalização brasileira**. Florianópolis, UFSC – relatório interno, mimeo, 1993.
- BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H. **Le Corbusier**. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 1971.
- BUSCH, J. F. **A tale of two populations: thermal comfort in air conditioned and naturally ventilated offices in Thailand**. California, Lawrence Laboratory, Energy and Buildings v.18, 1992.
- BUTTY, K. E PERLIN, J. **Un hilo dorado – 2500 años de arquitectura y tecnología solares**. Madrid, Hermann Blume, 1985.
- DEAR, R. J.; FOUNTAIN, M. E. **Field experiments on occupants comfort and office thermal environments in hot-humid climate**. Atlanta, ASHRAE Transactions, vol.100, n.2, 1994.
- DOLLFUS, J. **Les Aspects de L'architecture Populaire dans le Monde**. Paris, Albert Morancé, 1954.
- ESPAÑA. **Condiciones térmicas de los edificios**. Madrid, Ministério de obras públicas y urbanismo, NBE-CT-79, 1979.
- EVANS, J.M. **Acondicionamento térmico – analisis de las normas IRAN de argentina**. Florianópolis, Anais ENCAC, 1991.
- _____. **Housing, climate and confort**. London, ed. The architectural press, 1980.

- FANGER, P.O. **Thermal Comfort.** New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO INDIO – FUNAI. **Museu do Indio.** *in:* www.funai.gov.br, 2003.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** London, Applied Science, 1976.
- _____ **Man, Climate and Architecture.** London, ed. Applied Science, 1976.
- _____ **Confort climate analysis and building guidelines.** Energy and Buildings, n.18, 1992.
- GIVONI, B. e MILNE, M. **Architectural design based on climate – Energy conservation trough buildings design.** New York, ed. Donald Watson MacGraw Hill, 1979.
- GONZALES, E.; et al. **Projeto, clima y arquitetura.** vol. 1 e 2. México, ed. G. Gilli, 1996.
- GOULART, S. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** Florianópolis, UFSC/NPCC, relatório 02/94 (mimeo), 1994.
- IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. **Normais Climatológicas.** Campinas, *in:* www . iac.com.br, 2003.
- INTERNATIONAL ORGANIZATIO FOR STANDARIZATION – ISO. **Guidance on the preparation of standarts in building: Draft proposal-ISO/DP 6241.** London, s.ed., 1970.
- _____ **Moderate thermal enviroments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO 7730.** Genebra, s.ed. 1994.
- IZARD, J. L.; GUYOT, A. **Arquitetura Bioclimática.** Barcelona, Gustavo Gilli, 1983.
- J.W. CONSULTORES **Consumo de Energia no Setor de Comércio e Serviços.** São Paulo, mimeo, 1988.
- JANDA,K BUSCH, J. **Word status of energy standards for building.** Berkeley, Anais ACEE – Summer study on energy efficiency in buildings, 1992.
- KIMBAL, F. E.; EDGELL, G. H. **A History of Architecture.** *in:* www .brynmawr.edu, 2003.
- KJEILEN, T. **LexicOrient.** *in:* www.i-cias.com, 2002.

- KOENIGSBERGER, O. H.; et al. **Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales.** Madrid, Espanha, ed. Paraninfo, 1980.
- LAMBERTS, R. et al. **Desempenho Térmico de Edificações.** Florianópolis, s.ed. mimeo, 2000.
- LAUDE, O. **Chinese Rural Architecture.** *in:* www.atlasmagazine.com, 2002
- LE CORBUSIER. **Urbanismo.** São Paulo, Martins Fontes [Tradução: Maria Ermantina Galvão Gomes Pereira], 1992.
- MASCARÓ, J. L. et al. **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios.** Porto Alegre, Saga/DC Luzatto, 1992.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME **Balanco Energético Nacional – BEN 2002.** Brasília, 2002.
- MUMFORD, L. **A Cidade na História: Suas Origens, Transformações e Perspectivas.** São Paulo, Martins Fontes, 1982.
- NEVINS E GAGGE. **The new ASHRAE comfort chart.** Atlanta, ASHRAE – j.14, 1972.
- NICOL, F. **A handbook for field studies towards na adaptive model.** London, s.ed. University of East London, 1993.
- OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism.** New Jersey, Princenton University Press, 1963.
- _____. **Arquitectura y Clima – Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas.** Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 1998.
- PETROVIC, P. **Guidelines on crop-weather models** Genebra, World Meteorological Orbaniztion, *in:* World Programe WCP-50, 1983.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** 2^a ed., Porto Alegre, ed. Luzzatto editores, 1986.
- ROMERO, M. A.; DILONARDO, L.P. **Dinamic computer simulation with ESP-r in a building model in São Paulo.** Florianópolis, *In:* The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2001.
- RORIZ, M.; BASSO, A. **Comparação entre dez critérios para a definição da zona de conforto térmico.** Florianópolis, UFSC, 1^o ENCAC-1991, anais, 1991.
- SCHILLER, G., et al. **A field study of thermal environments and comfort in office buildings.** Atlanta, ASHRAE Transactions, vol. 94. n.2, 1988.

- SZOKOLAY, S.V. **The CPZ (Control Potencial Zone) method and its use to develop climate zones.** Queensland, University of Queensland, ISES (mimeo), 1995.
- _____ **Cooling problems and response in predominantly overheated humid regions.** *in: Passive Cooling,* ed. Bowen et al., p. 651-659, 1981.
- TASSINARI, A. M. I. **Sociedades Indígenas: Introdução ao Tema da Diversidade Cultural.** *in: www .bibvirt.futuro.usp.br,* 2002.
- TOKER, F. **History of Western Architecture.** *in www.pitt.edu,* 2003.
- VITRUVIO, M. L. **Los Dies Libros de Arquitectura.** Barcelona, Editora Iberia, 1982.
- XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – Teoria física aplicada a estudos de campo.** Florianópolis, 2000. 251 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- YANNAS, S. E MALDONADO, B. **PASCOOL handbook – Design for Summer Comfort.** London, ed. Architectural Association Graduate school, 1995.
- ZAMBADA, F. **Três momentos da construção de casas Xavante.** *in, www .wara.org.br,* 2003.

ANEXO 1. TABELAS DE REFERÊNCIA

Tabela A1.1 Transmitância e Atraso Térmico de Referência

Tmin °C	Tmax °C	Transmitância		amplitude °C	Atraso térmico	
		paredes Ur	coberturas Ur		atraso ϕ	atraso ϕ
18,0	26,0	2,480	1,400	5,9	2,4	3,0
17,1	26,5	2,386	1,351	6,6	2,8	3,4
16,1	27,0	2,293	1,303	7,3	3,1	3,8
15,2	27,5	2,199	1,254	8,0	3,5	4,1
14,3	28,1	2,105	1,205	8,7	3,8	4,5
13,3	28,6	2,011	1,156	9,4	4,2	4,9
12,4	29,1	1,918	1,108	10,1	4,5	5,3
11,4	29,6	1,824	1,059	10,8	4,9	5,6
10,5	30,1	1,730	1,010	11,5	5,3	6,0
9,6	30,6	1,636	0,961	12,1	5,6	6,4
8,6	31,1	1,543	0,912	12,8	6,0	6,8
7,7	31,6	1,449	0,864	13,5	6,3	7,1
6,8	32,2	1,355	0,815	14,2	6,7	7,5
5,8	32,7	1,261	0,766	14,9	7,0	7,9
4,9	33,2	1,168	0,718	15,6	7,4	8,3
3,9	33,7	1,074	0,669	16,3	7,7	8,6
3,0	34,2	0,980	0,620	17,0	8,1	9,0

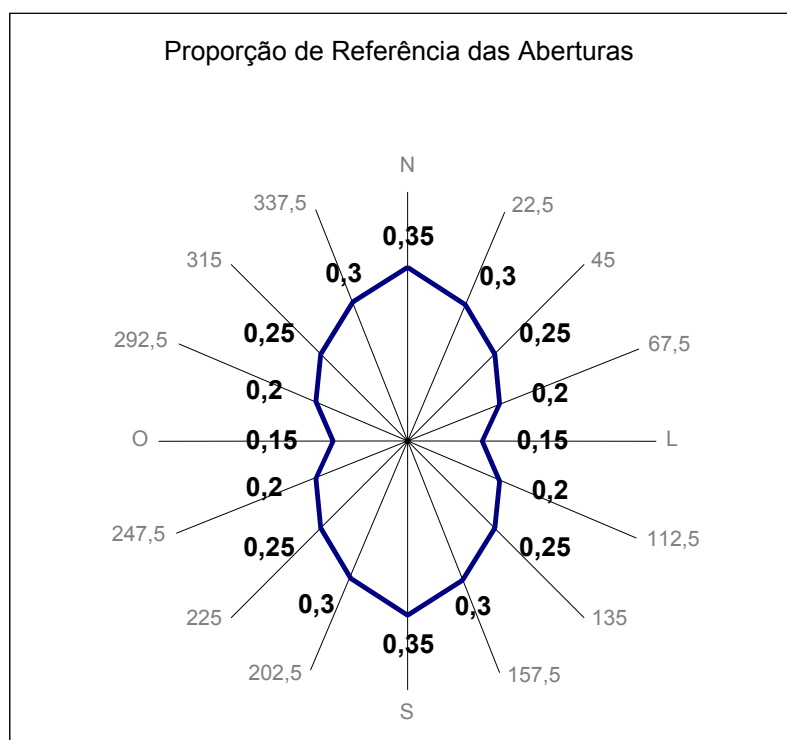
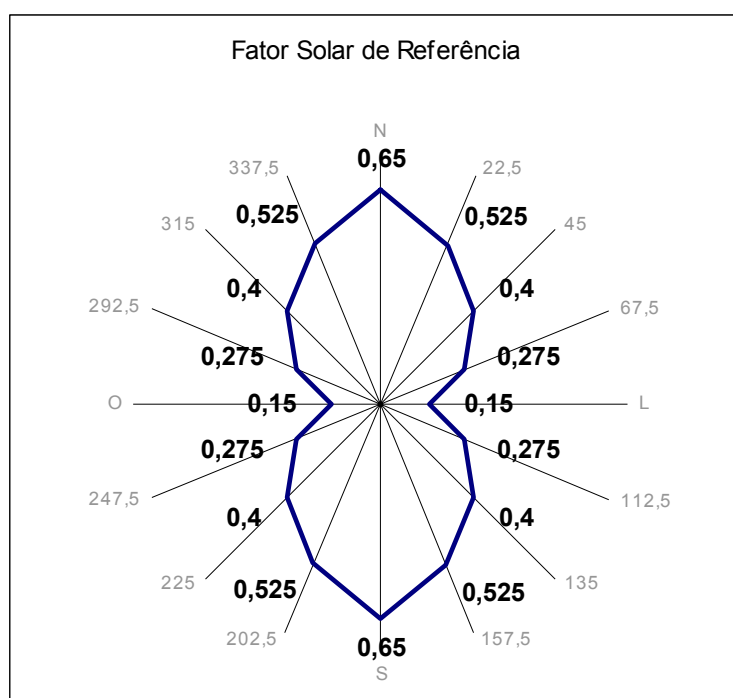


Figura A1.2 Proporção de Referência das Aberturas

Tabela A1.3 Absortividade de Superfícies Opacas e Transmitância do Vidro

	Valores de Referência	Unidade	Símbolo
Absortividade das superfícies	0,30	-	α_r
Transmitância de vidros	5,80	$W/m^2/^\circ C$	U_{rv}

**Figura A1.4** Fator Solar de Referência**Tabela A1.5** Resistência superficial interna e externa

Resistência térmica	interna	externa
direção do fluxo	R_{si}	R_{se}
horizontal	0,13	0,04
ascendente	0,1	0,04
descendente	0,17	0,04

Tabela A1.6 Fatores de Correção de Temperatura Externa

Resfriamento (verão)		Aquecimento (inverno)	
atraso (hs)	Fator de correção	atraso (hs)	Fator de correção
13	0,721	13	2,195
12	0,698	12	2,130
11	0,680	11	2,042
10	0,670	10	1,937
9	0,666	9	1,818
8	0,676	8	1,690
7	0,705	7	1,559
6	0,749	6	1,432
5	0,804	5	1,312
4	0,862	4	1,207
3	0,916	3	1,119
2	0,961	2	1,054
1	0,990	1	1,014
0	1,000	0	1,000

Tabela A.1.7 Dados Climáticos - Normais Climatológicas

Cidade: **AVARE** (77/86) UF:SP Lat: 23 06 Lon: 48,55 Alt: 767

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	34,3	11,9	22,4	27,6	17,7	9,9	79,0	209,0	7,8	---	--
2 FEV	34,3	14,1	20,2	28,3	19,0	9,3	79,0	156,0	7,9	---	--
3 MAR	32,5	12,5	20,0	26,8	18,0	8,8	94,0	145,0	7,7	---	--
4 ABR	31,0	10,2	20,8	25,5	16,3	9,2	81,0	101,0	7,4	---	--
5 MAI	28,9	0,4	28,5	23,6	13,2	10,4	78,0	103,0	7,1	---	--
6 JUN	27,4	1,2	26,2	22,7	12,9	9,8	74,0	82,0	6,9	---	--
7 JUL	29,1	2,0	27,1	22,4	12,1	10,3	71,0	24,0	7,0	---	--
8 AGO	31,3	2,6	28,7	24,0	10,2	13,8	70,0	56,0	7,5	---	--
9 SET	32,0	5,3	26,7	23,8	13,3	10,5	75,0	92,0	7,6	---	--
10 OUT	33,6	8,9	24,7	26,7	15,5	11,2	72,0	116,0	7,8	---	--
11 NOV	36,6	10,0	26,6	27,1	16,6	10,5	76,0	127,0	7,3	---	--
12 DEZ	33,2	12,1	21,1	26,5	17,5	9,0	78,0	182,0	8,3	---	--
13 ANO	32,0	7,6	24,4	25,4	15,2	10,2	77,0	1395,0	7,5	---	--

Cidade: **BANDEIRANTES** UF:SP Lat: 22 36 Lon: 44 28 Alt: 545

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	36,4	11,9	24,5	29,8	18,9	10,9	79	263	6,9	---	--
2 FEV	36,5	13	23,5	29,7	19,1	10,6	80	255	6,9	---	--
3 MAR	34,9	10,8	24,1	28,7	18,4	10,3	80	202	6,4	---	--
4 ABR	32,8	8,2	24,6	26,7	16,5	10,2	80	81	6,1	---	--
5 MAI	31,2	4,9	26,3	25	13,9	11,1	79	40	5,1	---	--
6 JUN	30	3,2	26,8	24,2	12,1	12,1	77	31	4,2	---	--
7 JUL	30,9	3	27,9	23,9	11,7	12,2	74	20	4,2	---	--
8 AGO	34,4	4,2	30,2	25,5	12,5	13	70	25	4,2	---	--
9 SET	35,9	3,5	32,4	26,3	14,6	11,7	72	58	6,2	---	--
10 OUT	37,9	6,2	31,7	27,2	16,3	10,9	75	118	7,1	---	--
11 NOV	36,4	10,1	26,3	27,8	17,1	10,7	77	155	7,3	---	--
12 DEZ	36,7	10,4	26,3	28,3	18,1	10,2	79	227	7,5	---	--
13 ANO	34,5	7,5	27	26,9	15,8	11,2	77	1474	6	---	--

Cidade: **FRANCA** (77/86) UF:SP Lat: 20 32 Lon: 47 24 Alt: 997

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	32,2	12,8	19,4	26,2	18	8,2	81	324	6,7	---	--
2 FEV	31,8	14,7	17,1	27,7	18,3	9,4	74	180	5,4	---	--
3 MAR	32,2	10	22,2	27,2	18	9,2	76	209	9,9	---	--
4 ABR	30,3	8,3	22	25,7	16,2	9,5	74	84	4,5	---	--
5 MAI	28,2	1,3	26,9	24,4	14,8	9,6	70	73	3,6	---	--
6 JUN	27,8	0	27,8	23,3	13,2	10,1	66	35	3,1	---	--
7 JUL	28,7	0,8	27,9	23,4	12,9	10,5	61	26	2,5	---	--
8 AGO	31,8	1,4	30,4	25,7	14,4	11,3	57	28	3,1	---	--
9 SET	32,8	7,8	25	26,1	15	11,1	64	92	4,2	---	--
10 OUT	34	8,6	25,4	27,5	17	10,5	65	148	5,2	---	--
11 NOV	34,4	9,2	25,2	26,8	17,1	9,7	74	239	5,9	---	--
12 DEZ	31,4	12,3	19,1	26,1	17,7	8,4	80	306	7,1	---	--
13 ANO	31,3	7,3	24	25,8	16,1	9,8	70	1744	5,1	---	--

Cidade: **IGUAPE** (77/86) UF:SP Lat: 24 42 Lon: 47 32 Alt: 3

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	39,9	15,8	24,1	28,9	21,7	7,2	83	196	6 ---	--	
2 FEV	39,6	17,8	21,8	29,8	22,3	7,5	82	211	5,9 ---	--	
3 MAR	38,8	16,2	22,6	28,3	22,1	6,2	83	378	6,6 ---	--	
4 ABR	35,2	12	23,2	26,3	19,6	6,7	84	146	6 ---	--	
5 MAI	32,6	7,1	25,5	24,9	17,5	7,4	85	133	5,6 ---	--	
6 JUN	31,8	5	26,8	22,8	15,2	7,6	85	145	5,9 ---	--	
7 JUL	33	6	27	22,7	14,9	7,8	85	102	5,8 ---	--	
8 AGO	35,4	5	30,4	23,3	15,5	7,8	85	92	6,5 ---	--	
9 SET	37,6	9,3	28,3	22,5	16,1	6,4	84	125	6,9 ---	--	
10 OUT	36,8	12	24,8	24,6	18,2	6,4	84	125	7,2 ---	--	
11 NOV	37,4	13,2	24,2	26,2	20	6,2	83	169	7,3 ---	--	
12 DEZ	36,7	15,5	21,2	28	21	7	82	193	7 ---	--	
13 ANO	36,2	11,2	25	25,7	18,7	7	84	2015	6,4 ---	--	

Cidade: **SÃO PAULO** UF:SP Lat: 23 30 Lon: 46 37 Alt: 792

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	34,6	10,2	24,4	27,7	17,6	10,1	80	253	7,6	150	3,6
2 FEV	35,2	11,1	24,1	27,6	17,9	9,7	83	227	7,8	150	4,6
3 MAR	32,8	11	21,8	26,6	17,2	9,4	77	173	7,8	150	4,6
4 ABR	31,8	6	25,8	24,6	14,8	9,8	80	81	7,2	150	4,1
5 MAI	31,2	5,3	25,9	22,9	12,9	10	82	54	7	150	3,6
6 JUN	27,8	1	26,8	21,8	11	10,8	89	53	6,6	60	2,6
7 JUL	29,2	0,4	28,8	21,2	10,1	11,1	79	43	6,7	150	3,6
8 AGO	33,1	-2,1	35,2	23,4	11,3	12,1	75	39	6,2	150	4,1
9 SET	34,3	2,2	32,1	24,5	12,7	11,8	69	64	7,3	100	4,6
10 OUT	35	4,3	30,7	24,8	14,4	10,4	75	127	8,1	150	4,1
11 NOV	34,2	7,1	27,1	25,2	15	10,2	75	131	7,8	150	4,6
12 DEZ	34,2	9,4	24,8	25,9	16,2	9,7	80	180	7,7	150	4,6
13 ANO	32,8	5,5	27,3	24,7	14,3	10,4	79	1425	7,3	150	4,1

Cidade: **SAO CARLOS** (77/86) UF:SP Lat: 22 01 Lon: 47 53 Alt: 855

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	35,2	13,4	21,8	27,6	18,7	8,9	79	233	7,5	34	3,8
2 FEV	33,6	15,2	18,4	29	19,2	9,8	75	169	6,7	41	4,8
3 MAR	33,5	13,1	20,4	28	18,6	9,4	78	174	6,7	61	3,8
4 ABR	31,6	10,9	20,7	26,4	16,6	9,8	76	74	5,6	75	6,1
5 MAI	29	0,7	28,3	25	14,8	10,2	74	64	5,1	65	4,2
6 JUN	27,8	1	26,8	23,4	13,1	10,3	72	47	4,5	53	3,7
7 JUL	29,4	1,8	27,6	24,2	13,2	11	66	33	4,2	62	3,7
8 AGO	32,1	2,2	29,9	25,9	14,2	11,7	64	42	5	73	5,6
9 SET	33,4	6,2	27,2	26,1	14,9	11,2	66	77	5,1	77	3,4
10 OUT	35,3	9,4	25,9	28,1	16,9	11,2	66	114	5,9	76	3,9
11 NOV	36,9	9,8	27,1	27,8	17,8	10	74	176	6,6	74	4,9
12 DEZ	32,7	13,8	18,9	26,9	18,5	8,4	80	320	7,8	50	4,3
13 ANO	32,5	8,1	24,4	26,5	16,4	10,2	73	1522	5,9	63	0

Cidade: **CAMPINAS** UF:SP Lat: 23 00 Lon: 47 08 Alt: 648
(**VIRACOPOS**)

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	34,7	19,4	15,3	29	18,7	10,3	74	193	--	120	4,6
2 FEV	33,6	19	14,6	28,7	18,4	10,3	79	207	--	120	6,2
3 MAR	34,4	12,4	22	29	17,6	11,4	74	127	--	150	3,7
4 ABR	32,6	10,9	21,7	28,5	16	12,5	73	54	--	120	5,1
5 MAI	29,4	4	25,4	26,2	14,5	11,7	75	80	--	150	5,1
6 JUN	29,1	2,7	26,4	23,8	11,8	12	74	22	--	120	4,1
7 JUL	30	2,4	27,6	24	11,4	12,6	68	35	--	150	5,1
8 AGO	34	2,5	31,5	26,9	12,9	14	59	27	--	120	4,1
9 SET	37,1	6	31,1	29,4	15,9	13,5	57	64	--	150	7,2
10 OUT	37,1	11	26,1	27,9	16,3	11,6	71	142	--	150	6,2
11 NOV	34,9	9,4	25,5	28,8	17	11,8	67	92	--	150	6,7
12 DEZ	34,9	12,9	22	28,2	18,1	10,1	74	131	--	150	5,6
13 ANO	33,5	9,4	24,1	27,5	15,7	11,8	70	1173	--	150	5,6

Cidade: **MOGI GUACU** UF:SP Lat: 22 18 Lon: 47 11 Alt: 600
(**CAMPININHA**)

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	--	--	--	29,5	18,5	11	81	230	6,1	45	3,8
2 FEV	--	--	--	30	18	12	80	140	6	0	4,8
3 MAR	--	--	--	29,5	17,5	12	81	150	5,6	0	3,8
4 ABR	--	--	--	28	15	13	81	80	4,6	0	6,1
5 MAI	--	--	--	26,5	11,5	15	82	60	4,1	0	4,2
6 JUN	--	--	--	25	10	15	81	50	3,8	0	3,7
7 JUL	--	--	--	25,5	9	16,5	76	35	3,5	0	3,7
8 AGO	--	--	--	27	10,5	16,5	72	30	3,4	0	5,6
9 SET	--	--	--	27,5	13	14,5	73	70	4,2	180	3,4
10 OUT	--	--	--	29	15	14	75	140	5,6	180	3,9
11 NOV	--	--	--	29	16,5	12,5	77	170	5,6	0	4,9
12 DEZ	--	--	--	29	18	11	80	240	5,9	0	4,3
13 ANO	--	--	--	28	14,4	13,6	78	1395	4,9	0	--

Cidade: **ANDRADINA** (77/86) UF:SP Lat: 20 53 Lon: 51 22 Alt: 378

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	37,2	10,9	26,3	31,1	20,6	10,5	75	197	6,2	--	--
2 FEV	36,8	18,1	18,7	32	20,9	11,1	76	131	5,8	--	--
3 MAR	35,8	14,3	21,5	31,3	20,5	10,8	80	160	5,5	--	--
4 ABR	34,6	9,9	24,7	29,8	18,5	11,3	73	106	4,4	--	--
5 MAI	32,4	2,5	29,9	28,4	17,1	11,3	71	90	4,4	--	--
6 JUN	35,6	2,4	33,2	27,1	13,9	13,2	69	25	4,3	--	--
7 JUL	33,8	0,3	33,5	27,6	14,2	13,4	63	35	3,6	--	--
8 AGO	35,8	0,3	35,5	29,4	15,5	13,9	59	25	3,7	--	--
9 SET	38	6,5	31,5	29,7	16,4	13,3	62	67	4,7	--	--
10 OUT	38,1	11,7	26,4	32	19	13	63	116	4,9	--	--
11 NOV	40,6	12,9	27,7	31,9	20,1	11,8	67	129	5,6	--	--
12 DEZ	39,6	16	23,6	30,6	20,6	10	77	230	6,1	--	--
13 ANO	36,5	8,8	27,7	30,1	18,1	12	70	1311	4,9	--	--

Cidade: **CAMPINAS** (77/86) UF:SP Lat: 22 53 Lon: 47 04 Alt: 693

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	35,4	13	22,4	28,9	18,9	10	75	217	6,2	---	--
2 FEV	34,4	15,2	19,2	30,2	19,4	10,8	72	124	5,6	---	--
3 MAR	34,3	8,5	25,8	29,2	18,8	10,4	72	142	5,3	---	--
4 ABR	32,3	10,4	21,9	27,5	16,7	10,8	73	91	4,3	---	--
5 MAI	30,8	0,4	30,4	25,5	14,7	10,8	73	77	3,9	---	--
6 JUN	28,6	1	27,6	24,2	12,4	11,8	70	62	3,8	---	--
7 JUL	30,8	3,4	27,4	24,9	12,5	12,4	66	23	2,9	---	--
8 AGO	32,1	2,6	29,5	26,2	13,8	12,4	63	47	3,4	---	--
9 SET	34,8	7,6	27,2	26,5	14,7	11,8	62	80	3,9	---	--
10 OUT	35	9,6	25,4	28,6	16,8	11,8	68	116	4,6	---	--
11 NOV	37,8	10	27,8	28,8	18	10,8	70	146	5,3	---	--
12 DEZ	34,8	11,4	23,4	28,1	18,4	9,7	76	244	6,9	---	--
13 ANO	33,4	7,8	25,7	27,4	16,3	11,1	70	1367	4,7	---	--

Cidade: **CAMPOS DE JORDAO** (77/86) UF:SP Lat: 22 43 Lon: 45 34 Alt: 1700

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	29	5	24	22,4	12,8	9,6	87	324	7,7	---	--
2 FEV	28	7,7	20,3	23,6	12,7	10,9	87	187	6,8	---	--
3 MAR	28,1	5,1	23	22,4	12,5	9,9	88	185	6,8	---	--
4 ABR	26	1,3	24,7	20,4	9,7	10,7	88	114	5,3	---	--
5 MAI	23,8	-3,3	27,1	19,1	6,9	12,2	87	81	5,2	---	--
6 JUN	23	-7,3	30,3	17,7	4	13,7	86	59	4,5	---	--
7 JUL	24,4	-6,1	30,5	16,1	3	13,1	85	41	4,1	---	--
8 AGO	27	-4,3	31,3	18,5	5,1	14,4	83	55	5,5	---	--
9 SET	26,4	-2,5	28,9	19,6	6,8	12,8	82	99	6,2	---	--
10 OUT	27,4	-0,2	27,6	21,4	9,4	12	81	138	7	---	--
11 NOV	29	4	25	21,8	11,5	10,3	85	197	7,7	---	--
12 DEZ	26,7	3,8	22,9	21,3	13	8,3	88	296	8,3	---	--
13 ANO	26,6	0,3	26,3	20,4	9	11,5	86	1776	6,3	---	--

Cidade: **CATANDUVA** (77/86) UF:SP Lat: 21 08 Lon: 48 58 Alt: 497

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	37,5	14,9	22,6	30,1	20,3	9,8	79	262	6,7	---	--
2 FEV	36,6	17	19,6	31,5	20,6	10,9	76	183	5,6	---	--
3 MAR	35,5	14,1	21,4	30,6	20,3	10,3	77	190	5,5	---	--
4 ABR	34,2	11,9	22,3	29,4	18,1	11,3	75	89	4,4	---	--
5 MAI	32,2	2,6	29,6	27,8	16	11,8	72	72	3,9	---	--
6 JUN	31,3	1,8	29,5	26,4	13,9	12,5	70	27	4,1	---	--
7 JUL	32,3	-1,1	33,4	27,2	13,9	13,3	66	22	3,1	---	--
8 AGO	34,7	0,7	34	28,9	15,4	13,5	60	32	3,4	---	--
9 SET	36,9	6,8	30,1	29,2	16,5	12,7	62	71	4,3	---	--
10 OUT	38	10,3	27,7	31,1	18,7	12,4	60	93	4,9	---	--
11 NOV	38,7	10,8	27,9	30,7	19,6	11,1	69	142	5,7	---	--
12 DEZ	35,7	14,8	20,9	29,7	20,1	9,6	77	247	6,8	---	--
13 ANO	35,3	8,7	26,6	29,4	17,8	11,6	70	1428	4,9	---	--

Cidade: **ITAPEVA** (77/86) UF:SP Lat: 23 58 Lon: 48 52 Alt: 684

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	37	11,2	25,8	28,9	17,6	11,3	75	157	7,5 ---	--	
2 FEV	33,9	12,6	21,3	30,2	18,1	12,1	74	118	6,9 ---	--	
3 MAR	35,1	11,3	23,8	28,7	17,3	11,4	77	96	6,9 ---	--	
4 ABR	32,4	6,5	25,9	26,1	14,5	11,6	78	76	5,9 ---	--	
5 MAI	29,8	-1,1	30,9	24,3	12,2	12,1	78	105	5,7 ---	--	
6 JUN	28,2	-1,1	29,3	22,5	9,6	12,9	78	66	5,1 ---	--	
7 JUL	30,3	-1,7	32	22,9	9,8	13,1	75	65	4,7 ---	--	
8 AGO	31,6	1,1	30,5	24,2	10,8	13,4	73	50	5,2 ---	--	
9 SET	33,9	4,2	29,7	24,1	12,1	12	72	101	5,9 ---	--	
10 OUT	35,5	6	29,5	26,7	14,4	12,3	72	103	6,3 ---	--	
11 NOV	37	8,3	28,7	27,6	16	11,6	74	135	6,9 ---	--	
12 DEZ	34,5	9,4	25,1	27,6	17,1	10,5	76	183	7,8 ---	--	
13 ANO	33,3	5,6	27,7	26,2	14,1	12	75,1	253	6,2 ---	--	

Cidade: **JAU** (77/86) UF:SP Lat: 22 17 Lon: 48 33 Alt: 523

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	35,6	13,6	22	29,4	19,5	9,9	75	230	6 ---	--	
2 FEV	35,3	15,4	19,9	30,6	20	10,6	71	173	4,9 ---	--	
3 MAR	34,6	13,4	21,2	29,6	19,2	10,4	74	137	5,1 ---	--	
4 ABR	32,8	12	20,8	27,8	16,9	10,9	70	89	3,9 ---	--	
5 MAI	30,7	0,2	30,5	26,3	14,8	11,5	71	94	3,7 ---	--	
6 JUN	29,6	2	27,6	24,9	12,9	12	68	56	3,2 ---	--	
7 JUL	31,6	0	31,6	24,8	12,9	11,9	61	30	2,9 ---	--	
8 AGO	33,7	-1,3	35	27,2	13,9	13,3	58	35	2,9 ---	--	
9 SET	35,7	7,6	28,1	27,5	14,8	12,7	62	77	3,8 ---	--	
10 OUT	36,5	10,2	26,3	29	17	12	59	100	4,3 ---	--	
11 NOV	37,5	10,1	27,4	29,4	18,5	10,9	67	175	5,1 ---	--	
12 DEZ	35,4	13,6	21,8	28,8	19,3	9,5	73	225	6,4 ---	--	
13 ANO	34,1	8,1	26	27,9	16,6	11,3	67	1420	4,4 ---	--	

Cidade: **LIMEIRA** (77/86) UF:SP Lat: 22 24 Lon: 47 24 Alt: 588

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	34,2	11,2	23	28,3	18	10,3	77	224	5,4 ---	--	
2 FEV	34	14,4	19,6	29,4	18,6	10,8	75	139	4,7 ---	--	
3 MAR	33,4	11,7	21,7	28,1	18,3	9,8	75	166	4,5 ---	--	
4 ABR	31,6	6,5	25,1	26,9	15,5	11,4	75	89	3,6 ---	--	
5 MAI	30,2	1	29,2	25,1	13,2	11,9	70	69	2,7 ---	--	
6 JUN	28,8	0,6	28,2	23,7	11,4	12,3	68	61	2,6 ---	--	
7 JUL	29,6	-0,6	30,2	24,6	11,4	13,2	63	24	2 ---	--	
8 AGO	36,4	2	34,4	26,1	12,7	13,4	62	35	2,5 ---	--	
9 SET	34	4,6	29,4	26,5	13,7	12,8	64	71	3,4 ---	--	
10 OUT	35,2	8,2	27	28,4	15,7	12,7	65	106	3,4 ---	--	
11 NOV	37	9	28	28,4	16,9	11,5	70	172	4,6 ---	--	
12 DEZ	34,4	12,4	22	27,5	17,6	9,9	76	251	5,8 ---	--	
13 ANO	33,2	6,8	26,4	26,9	15,2	11,7	70	1406	3,8 ---	--	

Cidade: **MOCOCA** (77/86) UF:SP Lat: 21 27 Lon: 47 00 Alt: 645

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	35,8	12	23,8	28,7	19,3	9,4	76	269	7,6	---	--
2 FEV	39,8	15,4	24,4	30,3	19,6	10,7	72	139	6,6	---	--
3 MAR	35,2	12,4	22,8	29,7	19	10,7	74	148	7,1	---	--
4 ABR	32,2	9,2	23	28,1	16,8	11,3	72	86	6,3	---	--
5 MAI	31	1,4	29,6	26,5	14,6	11,9	70	61	5,6	---	--
6 JUN	30,4	0	30,4	25,5	12,7	12,8	67	38	5,5	---	--
7 JUL	32,2	-0,2	32,4	26,1	12,7	13,4	59	23	4,6	---	--
8 AGO	34,2	2	32,2	28	14,2	13,8	56	32	6,1	---	--
9 SET	36,2	7	29,2	27,7	15,5	12,2	59	94	6,9	---	--
10 OUT	37	9,6	27,4	29,7	17,5	12,2	61	122	7	---	--
11 NOV	37,4	9	28,4	29,4	18,7	10,7	70	198	7,3	---	--
12 DEZ	34	13,8	20,2	27,8	19,2	8,6	77	331	8,1	---	--
13 ANO	34,6	7,6	27	28,1	16,7	11,5	68	1540	6,6	---	--

Cidade: **PARAGACU
PAULISTA** (77/86) UF:SP Lat: 22 28 Lon: 50 37 Alt: 507

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	35,3	12	23,3	29,9	19,9	10	75	175	5,4	---	--
2 FEV	36,4	15,4	21	30,7	20,7	10	75	146	5,7	---	--
3 MAR	34,9	13,8	21,1	29,7	19,7	10	74	136	4,7	---	--
4 ABR	34,1	9,6	24,5	28,2	17,4	10,8	71	74	4,1	---	--
5 MAI	31,5	1,3	30,2	26,3	15,6	10,7	74	101	3,7	---	--
6 JUN	29,7	1	28,7	24,6	13,3	11,3	66	60	3,4	---	--
7 JUL	31,1	1,1	30	25,2	13,5	11,7	65	36	2,7	---	--
8 AGO	33,7	0,7	33	27,2	14,8	12,4	60	34	3,1	---	--
9 SET	37,1	7,2	29,9	27,1	15,2	11,9	65	93	4,1	---	--
10 OUT	35	9	26	29,8	17,5	12,3	63	113	4,3	---	--
11 NOV	39,8	10,6	29,2	30,3	18,9	11,4	67	137	5	---	--
12 DEZ	36,5	12,8	23,7	29,4	19,7	9,7	76	212	6,2	---	--
13 ANO	34,6	7,9	26,7	28,2	17,2	11	69	1316	4,4	---	--

Cidade: **PINDAMONHANGABA** (77/86) UF:SP Lat: 22 58 Lon: 45 29 Alt: 557

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	39,9	10,2	29,7	32,4	18,2	14,2	77	211	7,2	---	--
2 FEV	39,9	13	26,9	34,2	18,3	15,9	76	122	6	---	--
3 MAR	39,4	11,6	27,8	32,4	18	14,4	79	159	5,8	---	--
4 ABR	36,2	8	28,2	30,1	15,6	14,5	81	75	5,5	---	--
5 MAI	34,6	1,6	33	28,1	12,7	15,4	80	60	5,3	---	--
6 JUN	32,2	-2,8	35	26,1	10,1	16	78	33	4,6	---	--
7 JUL	34,8	-0,6	35,4	23,9	9,2	14,7	75	26	4,3	---	--
8 AGO	36,6	0,4	36,2	28,1	11,1	17	72	31	4,8	---	--
9 SET	39	3,9	35,1	28,2	13,2	15	71	73	5,8	---	--
10 OUT	39,8	5,6	34,2	30,9	15,6	15,3	69	91	6,2	---	--
11 NOV	40,5	10,1	30,4	31,8	17,4	14,4	73	140	7,7	---	--
12 DEZ	37,8	11,4	26,4	31	18,1	12,9	78	180	7,7	---	--
13 ANO	37,6	6	31,5	29,8	14,8	15	76	1203	5,9	---	--

Cidade: **PRESIDENT.PRUDENTE** UF:SP Lat: 22 09 Lon: 51 27 Alt: 476

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	37	11,6	25,4	30,8	21,1	9,7	73	147	6,3	---	--
2 FEV	37,7	16,7	21	31,6	21,6	10	71	132	5,8	---	--
3 MAR	35,8	15,4	20,4	30,8	20,9	9,9	73	124	5,5	---	--
4 ABR	34,5	9,8	24,7	28,7	18,5	10,2	69	87	4,5	---	--
5 MAI	31,7	1,7	30	26,9	17	9,9	63	80	4,3	---	--
6 JUN	31	2,6	28,4	25,4	14,6	10,8	67	54	4,1	---	--
7 JUL	32,3	-0,1	32,4	26,4	14,9	11,5	63	39	3,6	---	--
8 AGO	34,6	0,1	34,5	28	16	12	58	33	3,8	---	--
9 SET	37,9	7	30,9	28	16,5	11,5	55	90	4,3	---	--
10 OUT	37,7	10,4	27,3	30,5	18,8	11,7	63	105	5	---	--
11 NOV	39,3	12,3	27	30,6	20	10,6	64	121	5,6	---	--
12 DEZ	37,2	15,3	21,9	30,2	20,7	9,5	73	186	6,1	---	--
13 ANO	35,6	8,6	27	29	18,4	10,6	66	1196	4,9	---	--

Cidade: **RIBEIRAO PRETO** (77/86) UF:SP Lat: 21 10 Lon: 47 48 Alt: 547

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	36,1	13,3	22,8	29,2	18,2	11	81	283	6,9	---	--
2 FEV	34,8	14,3	20,5	30,9	18,8	12,1	75	175	5,6	---	--
3 MAR	35,2	12,4	22,8	30,1	17,8	12,3	74	169	5,9	---	--
4 ABR	32,4	10,3	22,1	29	16,1	12,9	70	106	5,2	---	--
5 MAI	31,4	1	30,4	27,2	14	13,2	71	62	4,7	---	--
6 JUN	30,8	-0,8	31,6	26,1	12,4	13,7	66	36	3,9	---	--
7 JUL	31,9	-1,2	33,1	26,9	12,1	14,8	61	24	3,6	---	--
8 AGO	34,3	2,4	31,9	28,7	14,2	14,5	60	32	4,8	---	--
9 SET	36,3	6,3	30	29,1	15	14,1	59	75	5,2	---	--
10 OUT	37,3	9,5	27,8	27,9	16,7	11,2	62	127	6	---	--
11 NOV	38	9,3	28,7	30,8	17,8	13	70	174	6,5	---	--
12 DEZ	35,2	12,2	23	28,9	17,8	11,1	78	364	7,1	---	--
13 ANO	34,5	7,4	27,1	28,7	15,9	12,8	69	1625	5,5	---	--

Cidade: **SANTOS** UF:SP Lat: 23 59 Lon: 46 18 Alt: 3

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	37,1	15,5	21,6	29,1	22	7,1	81	248	7	---	--
2 FEV	39	17,6	21,4	30,1	22,3	7,8	83	201	5,9	---	--
3 MAR	38,3	16,7	21,6	28,8	21,9	6,9	84	280	6,5	---	--
4 ABR	35,8	13,2	22,6	26,4	19,7	6,7	83	205	6,1	---	--
5 MAI	34,7	9,2	25,5	25,6	18	7,6	84	87	5,7	---	--
6 JUN	34,2	6,4	27,8	23,8	15,8	8	84	120	5,3	---	--
7 JUL	35,8	7	28,8	23,1	15,3	7,8	81	123	5,7	---	--
8 AGO	37,2	8,7	28,5	23,4	16,2	7,2	83	85	6,7	---	--
9 SET	35,2	9,7	25,5	22,8	16,9	5,9	82	141	6,9	---	--
10 OUT	35,8	12,7	23,1	25	18,6	6,4	82	143	7	---	--
11 NOV	36,8	12,1	24,7	26,4	20,2	6,2	81	158	6,8	---	--
12 DEZ	37,8	17,1	20,7	27,5	21	6,5	82	278	7,6	---	--
13 ANO	36,5	12,2	24,3	26	19	7	83	2068	6,4	---	--

Cidade: SOROCABA (77/86)		UF:SP	Lat:	23 29	Lon:	47 27	Alt:	601				
	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN	
1 JAN	36,4	11,2	25,2	29	18,9	10,1	77	208	6	---	--	
2 FEV	35	13,9	21,1	29,8	19,5	10,3	74	141	5,6	---	--	
3 MAR	34,4	12,6	21,8	28,8	18,7	10,1	75	124	5,5	---	--	
4 ABR	32,5	9,6	22,9	26,7	16,5	10,2	77	65	4,4	---	--	
5 MAI	29,6	0,3	29,3	25	14,1	10,9	76	93	4,1	---	--	
6 JUN	28,2	0,1	28,1	23,3	11,6	11,7	74	69	3,8	---	--	
7 JUL	29,5	0,1	29,4	23,5	11,7	11,8	70	33	3,6	---	--	
8 AGO	31,4	1,2	30,2	22,3	12,8	9,5	69	42	4,3	---	--	
9 SET	34	5,4	28,6	25,3	12,2	13,1	70	86	5,1	---	--	
10 OUT	34,8	9,6	25,2	27,7	15,9	11,8	70	92	4,9	---	--	
11 NOV	36,8	11	25,8	28,2	17,6	10,6	73	157	5,6	---	--	
12 DEZ	34,6	13,1	21,5	27,9	18,4	9,5	73	220	6	---	--	
13 ANO	33,1	7,3	25,8	26,5	15,7	10,8	73	1330	4,9	---	--	

Cidade: TIETE (77/86)		UF:SP	Lat:	23 06	Lon:	47 42	Alt:	509				
	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN	
1 JAN	36,7	12,6	24,1	29,5	19,2	10,3	75	173	6,2	---	--	
2 FEV	36,3	14,8	21,5	31	19,9	11,1	74	108	5,1	---	--	
3 MAR	35	12,6	22,4	29,7	18,9	10,8	78	142	5,2	---	--	
4 ABR	33,4	9,8	23,6	27,8	16,2	11,6	76	85	4,2	---	--	
5 MAI	31,6	1,1	30,5	26,1	13,6	12,5	77	77	4,2	---	--	
6 JUN	30	-0,2	30,2	24,4	11,1	13,3	73	64	4	---	--	
7 JUL	31,1	0,8	30,3	25,2	11,2	14	69	24	3,6	---	--	
8 AGO	33,1	2,1	31	26,3	12,4	13,9	67	41	3,9	---	--	
9 SET	35,6	6,3	29,3	26,8	13,8	13	67	80	4,5	---	--	
10 OUT	35,9	9,3	26,6	29,1	16,1	13	67	99	4,6	---	--	
11 NOV	39,1	9,9	29,2	30,7	17,5	13,2	68	136	5,1	---	--	
12 DEZ	37,2	13,3	23,9	29	19,2	9,8	76	20	6,6	---	--	
13 ANO	34,6	7,7	26,9	28	15,8	12,2	72	1049	4,8	---	--	

Cidade: TREMEMBE (77/86)		UF:SP	Lat:	22 57	Lon:	45 32	Alt:	554				
	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN	
1 JAN	36,6	12	24,6	29,1	19,1	10	76	202	7,6	---	--	
2 FEV	36,4	14,4	22	30,6	19,4	11,2	74	124	6,5	---	--	
3 MAR	35,6	13	22,6	29	18,8	10,2	80	188	7	---	--	
4 ABR	33,2	9,8	23,4	26,9	16,5	10,4	80	78	6,6	---	--	
5 MAI	30,4	3,8	26,6	25,5	14,1	11,4	77	60	5,6	---	--	
6 JUN	30	-1,4	31,4	23,6	11,6	12	81	65	5,3	---	--	
7 JUL	31,2	1,2	30	24,5	10,9	13,6	76	23	4,4	---	--	
8 AGO	34	1,6	32,4	25,7	12,5	13,2	73	38	5,2	---	--	
9 SET	35,5	7,1	28,4	25,7	14,1	11,6	73	87	6	---	--	
10 OUT	36,6	8,4	28,2	28,3	16,6	11,7	73	109	6,7	---	--	
11 NOV	36,8	12	24,8	28,8	17,9	10,9	67	163	7,2	---	--	
12 DEZ	34,4	13,4	21	28,4	18,5	9,9	80	225	8	---	--	
13 ANO	34,2	7,9	26,3	27,2	15,8	11,3	76	1360	6,3	---	--	

Cidade: **UBATUBA** (77/86) UF:SP Lat: 23 25 Lon: 45 04 Alt: 3

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	38	14,5	23,5	29,2	20,8	8,4	84	373	7 ---	--	
2 FEV	37,1	16,4	20,7	30,8	21,1	9,7	82	245	6 ---	--	
3 MAR	36,2	14,5	21,7	29,4	20,7	8,7	87	350	6,9 ---	--	
4 ABR	35,8	12,2	23,6	27,3	18,5	8,8	87	286	6,3 ---	--	
5 MAI	32,7	9,7	23	26,2	16,3	9,9	88	96	5,3 ---	--	
6 JUN	33,6	3,7	29,9	24,8	14	10,8	87	74	4,9 ---	--	
7 JUL	35,2	5,2	30	24,7	13,4	11,3	85	83	4,8 ---	--	
8 AGO	36,3	7,2	29,1	24,7	15,4	9,3	86	97	6 ---	--	
9 SET	36,2	8,2	28	24,3	15,7	8,6	86	155	6,9 ---	--	
10 OUT	38	10,2	27,8	25,7	17,5	8,2	86	172	7,5 ---	--	
11 NOV	37,2	12,6	24,6	27,3	19,3	8	85	267	7,6 ---	--	
12 DEZ	37,5	14,4	23,1	28,3	20,3	8	86	381	8 ---	--	
13 ANO	36,2	10,7	25,4	26,9	17,8	9,1	86	2579	6,4 ---	--	

Cidade: **VOTUPORANGA** UF:SP Lat: 20 25 Lon: 49 58 Alt: 525

	MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
1 JAN	36,8	14,2	22,6	29,9	18,9	11	77	270	7,6 ---	--	
2 FEV	35,4	17,4	18	31,1	21,2	9,9	71	116	6,9 ---	--	
3 MAR	34,2	14,4	19,8	30,6	20,7	9,9	72	171	6,4 ---	--	
4 ABR	34	12,6	21,4	29,3	18,7	10,6	69	104	5,4 ---	--	
5 MAI	32,6	2,9	29,7	27,8	17,4	10,4	68	75	4,8 ---	--	
6 JUN	30,8	3,3	27,5	26,7	15,6	11,1	62	20	4,3 ---	--	
7 JUL	32,4	4,8	27,6	27	15,2	11,8	67	34	3,7 ---	--	
8 AGO	35,4	1,3	34,1	29,3	16,5	12,8	53	20	4,2 ---	--	
9 SET	36,8	7,2	29,6	29,4	17,3	12,1	54	65	4,8 ---	--	
10 OUT	37,4	11,4	26	31,1	19,5	11,6	56	107	5,7 ---	--	
11 NOV	38,8	12,6	26,2	30,5	20,6	9,9	65	152	6,8 ---	--	
12 DEZ	36	15,2	20,8	29,8	20,9	8,9	73	268	7,6 ---	--	
13 ANO	35,1	9,8	25,3	29,4	18,5	10,8	66	1403	5,7 ---	--	

Fonte: Bando de clima do programa ARQUITROP.

Radiação Global corrigida - (função do atraso) - W/m² - paredes e janelas

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida

lat: 19,30

atraso/orientação	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S									
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8	9,1	17,4	24,6	30,2	33,8	35,0	34,0	30,6	25,2	18,1	9,9	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	9,1	
7	74,0	154,6	226,2	283,8	323,5	342,7	340,0	315,6	271,2	209,7	135,5	53,5	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	74,0	
6	99,5	221,9	333,3	426,3	494,4	532,9	539,4	513,3	456,4	372,6	267,6	148,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	99,5	
5	102,0	220,1	335,9	435,8	512,9	562,1	579,8	565,0	518,7	444,0	345,9	231,2	107,8	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	
4	134,9	182,5	277,3	362,5	432,1	481,5	507,3	507,7	482,7	434,0	364,9	280,1	185,5	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	
3	156,1	156,1	186,0	240,9	290,0	329,9	358,0	372,4	372,0	356,9	328,2	287,7	238,2	183,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	
2	163,5	163,5	163,5	163,5	163,5	163,5	163,5	187,6	210,1	229,4	244,2	253,5	256,7	253,5	244,2	229,4	210,1	187,6	163,5	163,5	163,5	163,5	163,5	163,5	163,5	
1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	156,1	183,1	238,2	287,7	328,2	356,9	372,0	372,4	358,0	329,9	290,0	240,9	186,0	156,1	156,1	
Janelas	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	185,5	280,1	364,9	434,0	482,7	507,7	507,3	481,5	432,1	362,5	277,3	182,5	134,9

lat: 19,45

atraso/orientação	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	9,3	17,8	25,2	30,9	34,5	35,8	34,7	31,3	25,8	18,5	10,1	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9,3
7	73,7	154,5	226,3	284,1	324,0	343,4	340,8	316,5	272,1	210,6	136,3	54,1	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	73,7
6	98,1	220,5	332,2	425,4	493,8	532,8	539,6	513,9	457,3	373,8	269,0	150,1	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	98,1
5	102,0	217,7	333,8	434,0	511,7	561,4	579,8	565,7	519,9	445,7	348,0	233,6	110,2	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0
4	134,9	179,2	274,4	360,1	430,4	480,6	507,2	508,4	484,2	436,2	367,6	283,2	188,7	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9
3	156,0	156,0	182,7	238,1	288,0	328,8	357,9	373,2	373,8	359,5	331,3	291,2	241,9	186,7	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0
2	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	188,5	211,9	232,1	247,5	257,2	260,5	257,2	247,5	232,1	211,9	188,5	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3
1	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	186,7	241,9	291,2	331,3	359,5	373,8	373,2	357,9	328,8	288,0	238,1	182,7	156,0	156,0
Janelas	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	188,7	283,2	367,6	436,2	484,2	508,4	507,2	480,6	430,4	360,1	274,4	179,2	134,9

lat: 20,00

atraso/orientação	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
	0,00	15,00	30,00	45,00	60,00	75,00	90,00	105,00	120,00	135,00	150,00	165,00	180,00	195,00	210,00	225,00	240,00	255,00	270,00	285,00	300,00	315,00	330,00	345,00	360,00
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	9,5	18,2	25,7	31,5	35,2	36,6	35,5	32,0	26,3	19,0	10,3	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9,5
7	73,3	154,4	226,3	284,4	324,5	344,1	341,6	317,4	273,0	211,5	137,1	54,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	73,3
6	96,6	219,2	331,0	424,5	493,3	532,6	539,8	514,5	458,3	375,0	270,4	151,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	96,6
5	102,0	215,3	331,6	432,3	510,4	560,7	579,8	566,3	521,1	447,4	350,1	236,0	112,7	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0
4	134,8	176,0	271,5	357,7	428,6	479,6	507,1	509,1	485,7	438,4	370,3	286,3	191,9	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8
3	155,9	155,9	179,3	235,3	285,9	327,7	357,8	374,1	375,5	362,0	334,4	294,7	245,5	190,2	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9
2	163,2	163,2	163,2	163,2	163,2	163,2	163,2	189,4	213,8	234,7	250,8	260,9	264,4	260,9	250,8	234,7	213,8	189,4	163,2	163,2	163,2	163,2	163,2	163,2	163,2
1	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	155,9	190,2	245,5	294,7	334,4	362,0	375,5	374,1	357,8	327,7	285,9	235,3	179,3	155,9	155,9
Janelas	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	191,9	286,3	370,3	438,4	485,7	509,1	507,1	479,6	428,6	357,7	271,5	176,0	134,8

lat: 20,15 **Tabela A1.8** Radiação Solar Corrigida (cont.)

	S		SE			L			NE			N			NO			O			SO			S	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	9,7	18,6	26,2	32,2	36,0	37,3	36,2	32,7	26,9	19,4	10,6	1,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9,7
7	73,0	154,2	226,4	284,7	325,0	344,7	342,4	318,3	273,9	212,4	137,9	55,5	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	73,0
6	95,2	217,9	329,9	423,6	492,7	532,4	540,1	515,1	459,2	376,2	271,8	153,1	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	95,2
5	101,9	212,9	329,4	430,5	509,1	560,1	579,7	566,9	522,3	449,1	352,2	238,3	115,1	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9
4	134,7	172,8	268,6	355,3	426,9	478,6	506,9	509,8	487,2	440,6	373,1	289,3	195,0	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7
3	155,8	155,8	175,9	232,5	283,9	326,6	357,6	374,9	377,2	364,5	337,5	298,2	249,2	193,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8
2	163,1	163,1	163,1	163,1	163,1	163,1	163,1	190,3	215,6	237,4	254,1	264,6	268,2	264,6	254,1	237,4	215,6	190,3	163,1	163,1	163,1	163,1	163,1	163,1	163,1
1	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	155,8	193,8	249,2	298,2	337,5	364,5	377,2	374,9	357,6	326,6	283,9	232,5	175,9	155,8
Janelas	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	134,7	195,0	289,3	373,1	440,6	487,2	509,8	506,9	478,6	426,9	355,3	268,6	172,8	134,7

lat: 20,30

	S		SE			L			NE			N			NO			O			SO			S	
atraso/orientação	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	10,6	20,5	29,0	35,6	39,8	41,3	40,1	36,2	29,9	21,5	11,8	1,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	10,6
7	71,3	153,5	226,7	286,0	327,3	347,9	346,3	322,5	278,4	216,7	141,9	58,8	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	71,3
6	88,0	211,1	324,0	419,1	489,8	531,4	541,0	517,9	463,7	382,2	278,8	160,7	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	88,0
5	101,8	200,8	318,6	421,5	502,7	556,5	579,4	569,7	528,2	457,5	362,7	250,0	127,3	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8
4	134,3	156,7	254,0	343,2	418,1	473,7	506,2	513,3	494,6	451,3	386,5	304,5	210,8	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3
3	155,3	155,3	159,0	218,6	273,8	321,0	356,8	378,9	385,8	377,0	353,0	315,6	267,3	211,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3
2	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	194,7	224,8	250,6	270,4	282,8	287,1	282,8	270,4	250,6	224,8	194,7	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5
1	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	211,3	267,3	315,6	353,0	377,0	385,8	378,9	356,8	321,0	273,8	218,6	159,0	155,3
Janelas	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	210,8	304,5	386,5	451,3	494,6	513,3	506,2	473,7	418,1	343,2	254,0	156,7	134,3

lat: 20,45

	S		SE			L			NE			N			NO			O			SO			S	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	9,3	17,8	25,2	30,9	34,5	35,8	34,7	31,3	25,8	18,5	10,1	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9,3
7	73,7	154,5	226,3	284,1	324,0	343,4	340,8	316,5	272,1	210,6	136,3	54,1	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	73,7
6	98,1	220,5	332,2	425,4	493,8	532,8	539,6	513,9	457,3	373,8	269,0	150,1	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	61,6	98,1
5	102,0	217,7	333,8	434,0	511,7	561,4	579,8	565,7	519,9	445,7	348,0	233,6	110,2	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0
4	134,9	179,2	274,4	360,1	430,4	480,6	507,2	508,4	484,2	436,2	367,6	283,2	188,7	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9
3	156,0	156,0	182,7	238,1	288,0	328,8	357,9	373,2	373,8	359,5	331,3	291,2	241,9	186,7	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0
2	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	188,5	211,9	232,1	247,5	257,2	260,5	257,2	247,5	232,1	211,9	188,5	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3	163,3
1	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	156,0	186,7	241,9	291,2	331,3	359,5	373,8	373,2	357,9	328,8	288,0	238,1	182,7	156,0	156,0
Janelas	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	188,7	283,2	367,6	436,2	484,2	508,4	507,2	480,6	430,4	360,1	274,4	179,2	134,9

lat: 21,00

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida (cont.)

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	10,2	19,7	27,9	34,2	38,3	39,7	38,5	34,8	28,7	20,7	11,3	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	10,2
7	72,0	153,8	226,6	285,5	326,5	346,7	344,7	320,9	276,6	215,0	140,3	57,5	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	72,0
6	90,9	213,8	326,4	420,9	491,0	531,8	540,6	516,8	461,9	379,8	276,0	157,6	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	90,9
5	101,9	205,7	322,9	425,1	505,3	558,0	579,6	568,6	525,9	454,2	358,5	245,4	122,4	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9
4	134,5	163,1	259,8	348,0	421,6	475,7	506,5	511,9	491,7	447,1	381,1	298,4	204,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5
3	155,5	155,5	165,8	224,2	277,9	323,2	357,2	377,3	382,4	372,0	346,9	308,7	260,0	204,3	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5
2	162,7	162,7	162,7	162,7	162,7	162,7	162,7	193,0	221,1	245,3	263,9	275,6	279,5	275,6	263,9	245,3	221,1	193,0	162,7	162,7	162,7	162,7	162,7	162,7	162,7
1	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	155,5	204,3	260,0	308,7	346,9	372,0	382,4	377,3	357,2	323,2	277,9	224,2	165,8	155,5	155,5
janelas	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	204,5	298,4	381,1	447,1	491,7	511,9	506,5	475,7	421,6	348,0	259,8	163,1	134,5

lat: 21,15

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	10,4	20,1	28,5	34,9	39,0	40,5	39,3	35,5	29,3	21,1	11,6	1,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	10,4
7	71,7	153,6	226,7	285,8	326,9	347,3	345,5	321,7	277,5	215,9	141,1	58,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	71,7
6	89,4	212,5	325,2	420,0	490,4	531,6	540,8	517,3	462,8	381,0	277,4	159,2	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	89,4
5	101,9	203,2	320,7	423,3	504,0	557,3	579,5	569,2	527,0	455,9	360,6	247,7	124,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9	101,9
4	134,4	159,9	256,9	345,6	419,9	474,7	506,3	512,6	493,1	449,2	383,8	301,4	207,7	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4
3	155,4	155,4	162,4	221,4	275,8	322,1	357,0	378,1	384,1	374,5	350,0	312,1	263,7	207,8	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4
2	162,6	162,6	162,6	162,6	162,6	162,6	162,6	193,8	223,0	248,0	267,1	279,2	283,3	279,2	267,1	248,0	223,0	193,8	162,6	162,6	162,6	162,6	162,6	162,6	162,6
1	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	155,4	207,8	263,7	312,1	350,0	374,5	384,1	378,1	357,0	322,1	275,8	221,4	162,4	155,4	155,4
janelas	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	207,7	301,4	383,8	449,2	493,1	512,6	506,3	474,7	419,9	345,6	256,9	159,9	134,4

lat: 21,30

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	10,6	20,5	29,0	35,6	39,8	41,3	40,1	36,2	29,9	21,5	11,8	1,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	10,6
7	71,3	153,5	226,7	286,0	327,3	347,9	346,3	322,5	278,4	216,7	141,9	58,8	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	71,3
6	88,0	211,1	324,0	419,1	489,8	531,4	541,0	517,9	463,7	382,2	278,8	160,7	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	88,0
5	101,8	200,8	318,6	421,5	502,7	556,5	579,4	569,7	528,2	457,5	362,7	250,0	127,3	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8
4	134,3	156,7	254,0	343,2	418,1	473,7	506,2	513,3	494,6	451,3	386,5	304,5	210,8	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3
3	155,3	155,3	159,0	218,6	273,8	321,0	356,8	378,9	385,8	377,0	353,0	315,6	267,3	211,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3
2	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	194,7	224,8	250,6	270,4	282,8	287,1	282,8	270,4	250,6	224,8	194,7	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5	162,5
1	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	155,3	211,3	267,3	315,6	353,0	377,0	385,8	378,9	356,8	321,0	273,8	218,6	159,0	155,3	155,3
Janelas	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	134,3	210,8	304,5	386,5	451,3	494,6	513,3	506,2	473,7	418,1	343,2	254,0	156,7	134,3

lat: 21,45

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida (cont.)

atraso/orientação	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	10,8	20,9	29,6	36,3	40,6	42,2	40,9	36,9	30,5	22,0	12,1	1,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	10,8
7	70,9	153,3	226,7	286,2	327,8	348,5	347,0	323,4	279,2	217,6	142,7	59,5	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	70,9
6	86,5	209,7	322,8	418,2	489,2	531,2	541,1	518,4	464,6	383,4	280,2	162,2	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	86,5
5	101,8	198,4	316,4	419,7	501,4	555,8	579,3	570,3	529,3	459,2	364,7	252,4	129,7	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8
4	134,2	153,4	251,1	340,7	416,3	472,7	506,0	514,0	496,0	453,5	389,2	307,5	214,0	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2
3	155,1	155,1	155,7	215,8	271,8	319,8	356,6	379,7	387,5	379,4	356,1	319,1	270,9	214,8	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1
2	162,3	162,3	162,3	162,3	162,3	162,3	162,3	195,6	226,6	253,2	273,6	286,4	290,8	286,4	273,6	253,2	226,6	195,6	162,3	162,3	162,3	162,3	162,3	162,3	162,3
1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	155,1	214,8	270,9	319,1	356,1	379,4	387,5	379,7	356,6	319,8	271,8	215,8	155,7	155,1
janelas	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	134,2	214,0	307,5	389,2	453,5	496,0	514,0	506,0	472,7	416,3	340,7	251,1	153,4	134,2

lat: 22,00

atraso/orientação	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	11,1	21,3	30,2	37,0	41,4	43,0	41,7	37,7	31,1	22,4	12,3	1,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	11,1
7	70,6	153,1	226,8	286,5	328,2	349,1	347,7	324,2	280,1	218,5	143,5	60,2	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	70,6
6	85,1	208,3	321,6	417,2	488,6	530,9	541,3	518,9	465,5	384,5	281,6	163,7	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	85,1
5	101,8	196,0	314,2	417,9	500,1	555,1	579,2	570,8	530,5	460,9	366,8	254,7	132,1	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	101,8
4	134,1	150,2	248,1	338,3	414,5	471,7	505,8	514,6	497,5	455,6	391,8	310,5	217,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1
3	155,0	155,0	155,0	213,0	269,7	318,7	356,4	380,5	389,2	381,9	359,2	322,5	274,4	218,2	157,7	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0
2	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2	196,4	228,4	255,8	276,8	290,0	294,6	290,0	276,8	255,8	228,4	196,4	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2
1	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	157,7	218,2	274,4	322,5	359,2	381,9	389,2	380,5	356,4	318,7	269,7	213,0	155,0	155,0
janelas	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	134,1	217,1	310,5	391,8	455,6	497,5	514,6	505,8	471,7	414,5	338,3	248,1	150,2	134,1

lat: 22,15

atraso/orientação	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	11,3	21,7	30,7	37,7	42,2	43,8	42,6	38,4	31,7	22,9	12,6	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	11,3
7	70,2	152,9	226,8	286,7	328,6	349,7	348,5	325,0	281,0	219,3	144,2	60,9	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	70,2
6	83,6	206,9	320,4	416,3	488,0	530,7	541,4	519,5	466,3	385,7	283,0	165,2	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	83,6
5	101,7	193,5	312,0	416,1	498,7	554,3	579,1	571,4	531,6	462,5	368,9	257,0	134,6	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7
4	134,0	147,0	245,2	335,8	412,7	470,6	505,6	515,3	498,9	457,7	394,5	313,4	220,2	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0
3	154,9	154,9	154,9	210,2	267,7	317,5	356,2	381,3	390,8	384,3	362,2	325,9	278,0	221,7	160,8	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9
2	162,0	162,0	162,0	162,0	162,0	162,0	162,0	197,3	230,2	258,4	280,0	293,6	298,3	293,6	280,0	258,4	230,2	197,3	162,0	162,0	162,0	162,0	162,0	162,0	162,0
1	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	160,8	221,7	278,0	325,9	362,2	384,3	390,8	381,3	356,2	317,5	267,7	210,2	154,9	154,9	154,9
janelas	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	134,0	220,2	313,4	394,5	457,7	498,9	515,3	505,6	470,6	412,7	335,8	245,2	147,0	134,0

lat: 22,30

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida (cont.)

	S		SE			L			NE			N			NO			O			SO			S	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	11,5	22,1	31,3	38,5	43,0	44,7	43,4	39,2	32,3	23,4	12,9	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	11,5
7	69,8	152,7	226,8	286,9	329,0	350,3	349,2	325,8	281,8	220,2	145,0	61,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	69,8
6	82,1	205,6	319,2	415,3	487,3	530,4	541,5	520,0	467,2	386,8	284,3	166,7	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	82,1
5	101,7	191,1	309,8	414,2	497,4	553,6	579,0	571,9	532,7	464,2	370,9	259,3	137,0	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7
4	133,9	143,7	242,3	333,4	410,9	469,6	505,4	515,9	500,3	459,8	397,1	316,4	223,3	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9
3	154,7	154,7	154,7	207,4	265,6	316,4	356,0	382,0	392,5	386,8	365,2	329,4	281,6	225,1	163,9	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7
2	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9	198,1	231,9	261,0	283,2	297,2	302,0	297,2	283,2	261,0	231,9	198,1	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9
1	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	163,9	225,1	281,6	329,4	365,2	386,8	392,5	382,0	356,0	316,4	265,6	207,4	154,7	154,7
janelas	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	223,3	316,4	397,1	459,8	500,3	515,9	505,4	469,6	410,9	333,4	242,3	143,7	133,9

lat: 0,95

22,45

	S		SE			L			NE			N			NO			O			SO			S	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	11,7	22,5	31,9	39,2	43,8	45,5	44,2	39,9	33,0	23,8	13,1	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	11,7
7	69,5	152,5	226,8	287,1	329,4	350,8	349,9	326,6	282,7	221,0	145,8	62,3	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	69,5
6	80,7	204,2	318,0	414,3	486,7	530,1	541,6	520,5	468,1	388,0	285,7	168,2	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	80,7
5	101,6	188,7	307,6	412,4	496,1	552,8	578,9	572,4	533,8	465,8	372,9	261,6	139,4	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6
4	133,8	140,5	239,3	331,0	409,2	468,6	505,2	516,5	501,8	461,9	399,7	319,4	226,4	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8
3	154,6	154,6	154,6	204,6	263,6	315,2	355,8	382,8	394,2	389,2	368,3	332,8	285,1	228,6	167,0	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6
2	161,7	161,7	161,7	161,7	161,7	161,7	161,7	199,0	233,7	263,5	286,4	300,8	305,7	300,8	286,4	263,5	233,7	199,0	161,7	161,7	161,7	161,7	161,7	161,7	161,7
1	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	154,6	167,0	228,6	285,1	332,8	368,3	389,2	394,2	382,8	355,8	315,2	263,6	204,6	154,6	154,6
janelas	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	133,8	226,4	319,4	399,7	461,9	501,8	516,5	505,2	468,6	409,2	331,0	239,3	140,5	133,8

lat: 23,00

	S		SE			L			NE			N			NO			O			SO			S	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	11,9	22,9	32,5	39,9	44,7	46,4	45,1	40,7	33,6	24,3	13,4	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	11,9
7	69,1	152,3	226,8	287,3	329,8	351,4	350,6	327,4	283,5	221,9	146,6	62,9	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	69,1
6	79,2	202,8	316,7	413,4	486,0	529,8	541,7	521,0	468,9	389,1	287,1	169,7	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	79,2
5	101,6	186,2	305,3	410,6	494,7	552,1	578,7	572,9	534,9	467,4	375,0	263,9	141,8	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6
4	133,7	137,3	236,4	328,5	407,3	467,5	505,0	517,1	503,2	464,0	402,3	322,4	229,5	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7
3	154,4	154,4	154,4	201,8	261,5	314,0	355,6	383,5	395,8	391,6	371,3	336,2	288,7	232,0	170,1	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4
2	161,6	161,6	161,6	161,6	161,6	161,6	161,6	199,8	235,5	266,1	289,6	304,4	309,4	304,4	289,6	266,1	235,5	199,8	161,6	161,6	161,6	161,6	161,6	161,6	161,6
1	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	170,1	232,0	288,7	336,2	371,3	391,6	395,8	383,5	355,6	314,0	261,5	201,8	154,4	154,4	154,4
janelas	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	133,7	229,5	322,4	402,3	464,0	503,2	517,1	505,0	467,5	407,3	328,5	236,4	137,3	133,7

lat: 23,15

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida (cont.)

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	12,1	23,4	33,1	40,6	45,5	47,3	45,9	41,5	34,3	24,8	13,7	1,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	12,1
7	68,7	152,1	226,7	287,5	330,2	351,9	351,3	328,2	284,4	222,7	147,4	63,6	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	68,7
6	77,7	201,4	315,5	412,4	485,4	529,5	541,8	521,4	469,7	390,3	288,4	171,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	77,7
5	101,5	183,8	303,1	408,7	493,4	551,3	578,6	573,4	536,0	469,0	377,0	266,2	144,2	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5
4	133,6	134,0	233,4	326,0	405,5	466,5	504,8	517,8	504,6	466,1	404,9	325,3	232,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6
3	154,3	154,3	154,3	199,0	259,5	312,9	355,4	384,3	397,4	394,0	374,3	339,6	292,2	235,4	173,2	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3
2	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4	200,6	237,2	268,7	292,8	307,9	313,1	307,9	292,8	268,7	237,2	200,6	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4
1	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	173,2	235,4	292,2	339,6	374,3	394,0	397,4	384,3	355,4	312,9	259,5	199,0	154,3	154,3	154,3
janelas	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	133,6	232,6	325,3	404,9	466,1	504,6	517,8	504,8	466,5	405,5	326,0	233,4	134,0	133,6

lat: 23,30

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	12,3	23,8	33,7	41,4	46,3	48,2	46,8	42,2	34,9	25,3	14,0	1,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	12,3
7	68,3	151,9	226,7	287,6	330,5	352,5	351,9	329,0	285,2	223,5	148,2	64,3	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	68,3
6	76,2	200,0	314,3	411,4	484,7	529,2	541,9	521,9	470,6	391,4	289,8	172,6	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	76,2
5	101,5	181,4	300,9	406,9	492,0	550,5	578,5	573,9	537,1	470,6	379,0	268,5	146,6	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5
4	133,5	133,5	230,5	323,6	403,7	465,5	504,6	518,4	505,9	468,1	407,5	328,3	235,7	136,2	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5
3	154,1	154,1	154,1	196,2	257,4	311,7	355,2	385,0	399,1	396,4	377,3	342,9	295,7	238,9	176,2	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1
2	161,2	161,2	161,2	161,2	161,2	161,2	161,2	201,5	239,0	271,2	295,9	311,5	316,8	311,5	295,9	271,2	239,0	201,5	161,2	161,2	161,2	161,2	161,2	161,2	161,2
1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	154,1	176,2	238,9	295,7	342,9	377,3	396,4	399,1	385,0	355,2	311,7	257,4	196,2	154,1	154,1	154,1
janelas	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	133,5	136,2	235,7	328,3	407,5	468,1	505,9	518,4	504,6	465,5	403,7	323,6	230,5	133,5	133,5

lat: 23,45

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	12,5	24,2	34,3	42,1	47,2	49,0	47,6	43,0	35,6	25,8	14,2	1,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	12,5
7	67,9	151,7	226,7	287,8	330,9	353,0	352,6	329,8	286,0	224,4	149,0	65,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	67,9
6	74,8	198,5	313,0	410,4	484,0	528,9	542,0	522,4	471,4	392,5	291,1	174,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	74,8
5	101,4	178,9	298,7	405,0	490,6	549,7	578,3	574,4	538,2	472,2	381,0	270,8	148,9	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
4	133,4	133,4	227,6	321,1	401,9	464,4	504,3	519,0	507,3	470,2	410,1	331,2	238,8	139,2	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4
3	153,9	153,9	153,9	193,3	255,4	310,5	355,0	385,7	400,7	398,8	380,3	346,3	299,2	242,3	179,3	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9
2	161,0	161,0	161,0	161,0	161,0	161,0	161,0	202,3	240,7	273,7	299,1	315,0	320,4	315,0	299,1	273,7	240,7	202,3	161,0	161,0	161,0	161,0	161,0	161,0	161,0
1	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	153,9	179,3	242,3	299,2	346,3	380,3	398,8	400,7	385,7	355,0	310,5	255,4	193,3	153,9	153,9	153,9
janelas	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	133,4	139,2	238,8	331,2	410,1	470,2	507,3	519,0	504,3	464,4	401,9	321,1	227,6	133,4	133,4

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida (cont.)

lat: 24,00

	S	SE	L	NE	N	NO	O	SO	S																	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	12,7	24,6	34,9	42,9	48,0	49,9	48,5	43,8	36,2	26,2	14,5	1,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	12,7
7	67,5	151,4	226,6	287,9	331,2	353,5	353,3	330,5	286,8	225,2	149,8	65,7	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	67,5
6	73,3	197,1	311,8	409,4	483,4	528,6	542,1	522,8	472,2	393,6	292,5	175,6	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	73,3
5	101,4	176,5	296,5	403,1	489,3	549,0	578,1	574,8	539,2	473,8	383,0	273,0	151,3	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
4	133,2	133,2	224,6	318,7	400,1	463,3	504,1	519,6	508,7	472,3	412,7	334,1	241,8	142,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2
3	153,8	153,8	153,8	190,5	253,3	309,3	354,7	386,4	402,3	401,2	383,3	349,7	302,7	245,7	182,3	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8
2	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9	203,1	242,5	276,3	302,2	318,5	324,1	318,5	302,2	276,3	242,5	203,1	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9	160,9
1	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	153,8	182,3	245,7	302,7	349,7	383,3	401,2	402,3	386,4	354,7	309,3	253,3	190,5	153,8	153,8	153,8	153,8
janelas	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2	142,2	241,8	334,1	412,7	472,3	508,7	519,6	504,1	463,3	400,1	318,7	224,6	133,2	133,2	133,2

lat: 24,15

	S	SE	L	NE	N	NO	O	SO	S																	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	12,9	25,1	35,5	43,7	48,9	50,8	49,4	44,6	36,9	26,7	14,8	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	12,9
7	67,1	151,2	226,6	288,1	331,6	354,0	353,9	331,3	287,7	226,0	150,5	66,4	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	67,1
6	71,8	195,7	310,5	408,4	482,7	528,3	542,1	523,3	473,0	394,7	293,8	177,1	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	71,8
5	101,3	174,0	294,2	401,3	487,9	548,2	578,0	575,3	540,3	475,4	385,0	275,3	153,7	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3
4	133,1	133,1	221,7	316,2	398,3	462,3	503,8	520,1	510,1	474,3	415,3	337,0	244,9	145,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1
3	153,6	153,6	153,6	187,7	251,3	308,1	354,5	387,1	403,9	403,6	386,2	353,0	306,2	249,0	185,3	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6
2	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7	203,9	244,2	278,8	305,3	322,0	327,7	322,0	305,3	278,8	244,2	203,9	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7	160,7
1	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	185,3	249,0	306,2	353,0	386,2	403,6	403,9	387,1	354,5	308,1	251,3	187,7	153,6	153,6	153,6	153,6
janelas	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	133,1	145,1	244,9	337,0	415,3	474,3	510,1	520,1	503,8	462,3	398,3	316,2	221,7	133,1	133,1	133,1

lat: 24,30

	S	SE	L	NE	N	NO	O	SO	S																	
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	13,1	25,5	36,1	44,4	49,7	51,7	50,3	45,4	37,6	27,2	15,1	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	13,1
7	66,7	150,9	226,5	288,2	331,9	354,5	354,6	332,0	288,5	226,8	151,3	67,1	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	66,7
6	70,3	194,3	309,2	407,4	482,0	527,9	542,2	523,7	473,8	395,8	295,1	178,5	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	70,3
5	101,2	171,6	292,0	399,4	486,5	547,3	577,8	575,7	541,4	477,0	387,0	277,5	156,1	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2
4	133,0	133,0	218,7	313,7	396,4	461,2	503,6	520,7	511,4	476,3	417,8	339,9	247,9	148,1	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0
3	153,4	153,4	153,4	184,9	249,2	306,9	354,2	387,8	405,5	405,9	389,2	356,4	309,7	252,4	188,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4
2	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	204,7	245,9	281,3	308,5	325,5	331,4	325,5	308,5	281,3	245,9	204,7	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5	160,5
1	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	188,4	252,4	309,7	356,4	389,2	405,9	405,5	387,8	354,2	306,9	249,2	184,9	153,4	153,4	153,4	153,4
janelas	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	133,0	148,1	247,9	339,9	417,8	476,3	511,4	520,7	503,6	461,2	396,4	313,7	218,7	133,0	133,0	133,0

lat: 24,45

Tabela A1.8 Radiação Solar Corrigida (cont.)

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	13,4	25,9	36,8	45,2	50,6	52,6	51,1	46,2	38,3	27,7	15,4	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	13,4
7	66,3	150,7	226,4	288,4	332,2	355,0	355,2	332,8	289,3	227,7	152,1	67,8	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	66,3
6	68,8	192,8	308,0	406,3	481,2	527,6	542,2	524,2	474,6	396,9	296,5	180,0	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	68,8
5	101,2	169,1	289,8	397,5	485,1	546,5	577,6	576,2	542,4	478,5	389,0	279,8	158,4	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2
4	132,8	132,8	215,8	311,3	394,6	460,1	503,3	521,3	512,7	478,3	420,4	342,8	251,0	151,1	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8
3	153,2	153,2	153,2	182,1	247,1	305,7	354,0	388,5	407,1	408,3	392,1	359,7	313,2	255,8	191,4	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2
2	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	205,5	247,6	283,8	311,6	329,0	335,0	329,0	311,6	283,8	247,6	205,5	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3	160,3
1	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	153,2	191,4	255,8	313,2	359,7	392,1	408,3	407,1	388,5	354,0	305,7	247,1	182,1	153,2	153,2	153,2
janelas	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	132,8	151,1	251,0	342,8	420,4	478,3	512,7	521,3	503,3	460,1	394,6	311,3	215,8	132,8	132,8

lat: 25,00

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	13,6	26,3	37,4	46,0	51,5	53,5	52,0	47,1	38,9	28,2	15,7	2,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	13,6
7	65,8	150,4	226,4	288,5	332,5	355,5	355,8	333,5	290,1	228,5	152,9	68,5	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	65,8
6	67,3	191,4	306,7	405,3	480,5	527,2	542,3	524,6	475,4	398,0	297,8	181,5	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	67,3
5	101,1	166,7	287,5	395,7	483,7	545,7	577,4	576,6	543,4	480,1	390,9	282,0	160,8	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1	101,1
4	132,7	132,7	212,8	308,8	392,8	459,0	503,0	521,8	514,1	480,3	422,9	345,7	254,0	154,0	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7
3	153,1	153,1	153,1	179,3	245,0	304,5	353,7	389,2	408,6	410,6	395,1	363,0	316,6	259,1	194,4	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1
2	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	206,3	249,3	286,3	314,7	332,5	338,6	332,5	314,7	286,3	249,3	206,3	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1
1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	153,1	194,4	259,1	316,6	363,0	395,1	410,6	408,6	389,2	353,7	304,5	245,0	179,3	153,1	153,1	153,1
janelas	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	154,0	254,0	345,7	422,9	480,3	514,1	521,8	503,0	459,0	392,8	308,8	212,8	132,7	132,7	132,7

lat: 25,15

	S		SE		L		NE		N		NO		O		SO		S								
atraso/orientação	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	135,0	150,0	165,0	180,0	195,0	210,0	225,0	240,0	255,0	270,0	285,0	300,0	315,0	330,0	345,0	360,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	13,8	26,8	38,0	46,7	52,3	54,5	52,9	47,9	39,6	28,8	16,0	2,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	13,8
7	65,4	150,2	226,3	288,6	332,8	356,0	356,4	334,3	290,9	229,3	153,7	69,2	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	65,4
6	65,8	190,0	305,4	404,3	479,8	526,9	542,3	525,0	476,2	399,1	299,1	182,9	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	65,8
5	101,0	164,2	285,3	393,8	482,3	544,9	577,2	577,0	544,4	481,6	392,9	284,3	163,1	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0
4	132,5	132,5	209,9	306,3	390,9	457,9	502,8	522,4	515,4	482,3	425,4	348,6	257,0	157,0	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5
3	152,9	152,9	152,9	176,5	243,0	303,3	353,5	389,9	410,2	412,9	398,0	366,3	320,1	262,5	197,4	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9
2	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	207,1	251,0	288,8	317,8	336,0	342,2	336,0	317,8	288,8	251,0	207,1	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9
1	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	152,9	197,4	262,5	320,1	366,3	398,0	412,9	410,2	389,9	353,5	303,3	243,0	176,5	152,9	152,9	152,9
Janelas	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	132,5	157,0	257,0	348,6	425,4	482,3	515,4	522,4	502,8	457,9	390,9	306,3	209,9	132,5	132,5	132,5

ANEXO 2. TABELAS DE APOIO

Tabela A2.1 Resistência térmica superficial interna e externa

R _{si} (m ² .K)/W						R _{se} (m ² .K)/W					
Direção do fluxo de calor						Direção do fluxo de calor					
Horizontal		Ascendente		Descendente		Horizontal		Ascendente		Descendente	
	⇒		↑		↓		⇒		↑		↓
0,13		0,10		0,17		0,04		0,04		0,04	

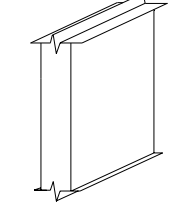
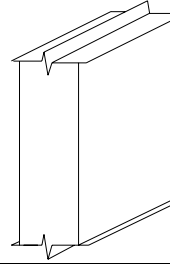
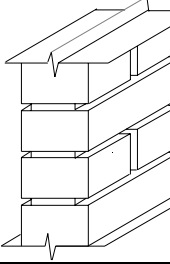
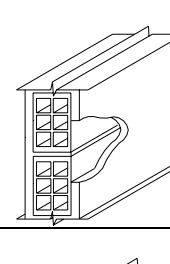
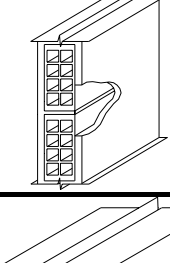
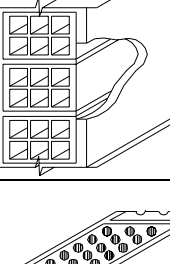
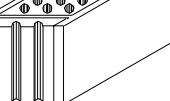
Fonte: ABNT,1998

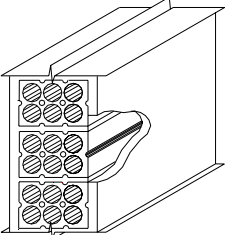
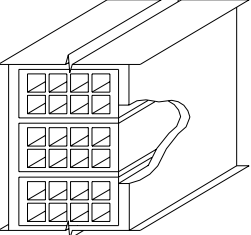
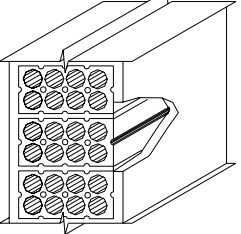
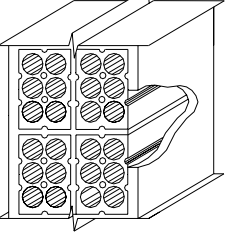
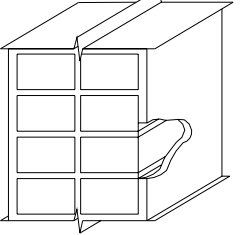
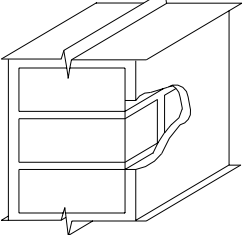
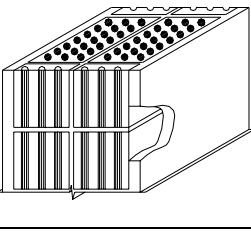
Tabela A.2.2 Absortividade (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ε) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

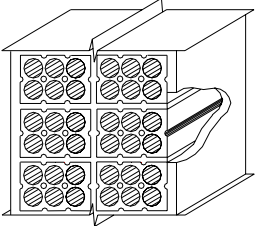
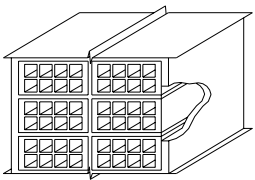
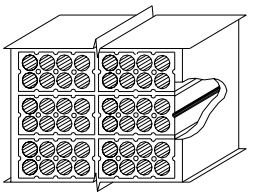
Tipo de superfície	α	ε
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro comum de janela	Transparente	0,90 / 0,95
Pintura:		
- branca	0,20	0,90
- amarela	0,30	0,90
- verde claro	0,40	0,90
- "alumínio"	0,40	0,50
verde escuro	0,70	0,90
- vermelha	0,74	0,90
- preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT,1998

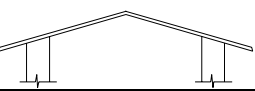
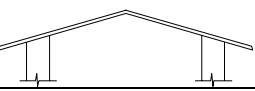
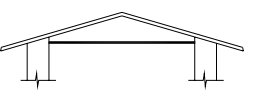
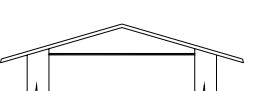
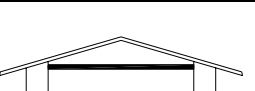
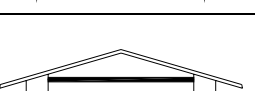
Tabela A2.3 Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas – ABNT Projeto de Norma 02:135.07


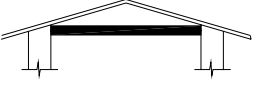
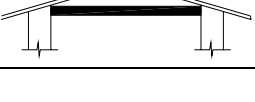
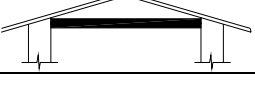

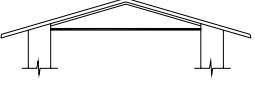
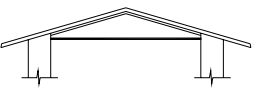
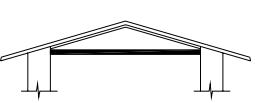
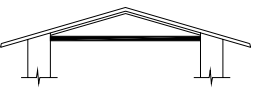
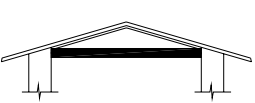

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura arg. assentam.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5

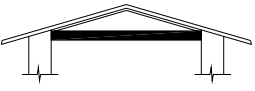



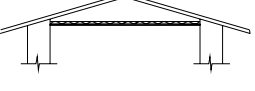
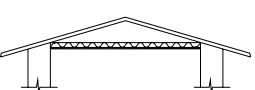
	<p>Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm</p>	1,92	202	4,8
	<p>Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm</p>	1,80	231	5,5
	<p>Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm</p>	1,61	232	5,9
	<p>Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm</p>	1,52	248	6,5
	<p>Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm</p>	2,30	430	6,6
	<p>Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm</p>	2,25	445	6,8
	<p>Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm</p>	1,54	368	8,1

	<p>Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão</p> <p>Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm</p> <p>Espessura arg. de assent.: 1,0 cm</p> <p>Espessura arg. de emboço: 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 36,0 cm</p>	1,21	312	8,6
	<p>Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão</p> <p>Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm</p> <p>Espessura arg. de assent.: 1,0 cm</p> <p>Espessura arg. de emboço: 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 44,0 cm</p>	1,12	364	9,9
	<p>Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão</p> <p>Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm</p> <p>Espessura arg. de assent.: 1,0 cm</p> <p>Espessura arg. de emboço: 2,5 cm</p> <p>Espessura total da parede: 46,0 cm</p>	0,98	368	10,8

Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas

Cobertura	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	<p>Cobertura de telha de barro sem forro</p> <p>Espessura da telha: 1,0 cm</p>	4,55	18	0,3
	<p>Cobertura de telha de fibrocimento sem forro</p> <p>Espessura da telha: 0,7 cm</p>	4,60	11	0,2
	<p>Cobertura de telha de barro com forro de madeira</p> <p>Espessura da telha: 1,0 cm</p> <p>Espessura da madeira: 1,0 cm</p>	2,00	32	1,3
	<p>Cobertura de telha de fibrocimento com forro de madeira</p> <p>Espessura da telha: 0,7 cm</p> <p>Espessura da madeira: 1,0 cm</p>	2,00	25	1,3
	<p>Cobertura de telha de barro com forro de concreto</p> <p>Espessura da telha: 1,0 cm</p> <p>Espessura do concreto: 3,0 cm</p>	2,24	84	2,6
	<p>Cobertura de telha de fibrocimento com forro de concreto</p> <p>Espessura da telha: 0,7 cm</p> <p>Espessura do concreto: 3,0 cm</p>	2,25	77	2,6
	Cobertura de telha de barro com			

	<p>forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 (m^2.K/W)$ $C_{T(laje)} = 95 kJ/(m^2.K)$</p>	1,92	113	3,6
	<p>Cobertura de telha de fibro- cimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 (m^2.K/W)$ $C_{T(laje)} = 95 kJ/(m^2.K)$</p>	1,93	106	3,6
	<p>Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm</p>	1,84	458	8,0
	<p>Cobertura de telha de fibro- cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm</p>	1,99	451	7,9
	<p>Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm</p>	1,75	568	9,3
	<p>Cobertura de telha de fibro- cimento com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm</p>	1,75	561	9,2
	<p>Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm</p>	1,11	32	2,0
	<p>Cobertura de telha de fibro- cimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm</p>	1,16	25	2,0
	<p>Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm</p>	1,18	84	4,2
	<p>Cobertura de telha de fibro- cimento, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm</p>	1,18	77	4,2
	<p>Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 (m^2.K/W)$ $C_{T(laje)} = 95 kJ/(m^2.K)$</p>	1,09	113	5,4
	<p>Cobertura de telha de fibro- cimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm</p>	1,09	106	5,4

	$R_{t(\text{laje})} = 0,0900 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ $C_{T(\text{laje})} = 95 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$			
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,06	458	11,8
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,06	451	11,8
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,03	568	13,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,03	561	13,4
	Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,95	33	2,3
	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,62	34	3,1

Fonte: ABNT- Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações, 1998

Tabela A2.4 Fator solar para superfícies transparentes (Lamberts 1997)

Superfícies transparentes	FS
Vidros	
Transparente (simples)	0,87
Transparente (simples)	0,83
Transparente (duplo)	0,75
Cinza (fumê)	0,72
Cinza (fumê)	0,6
Verde	0,72
Verde	0,6
Reflexivo	0,26 - 0,37
Películas	
Reflexiva	0,25 - 0,50
Absorvente	0,4 - 0,50
Acrílico	
Claro	0,85
Cinza ou bronze	0,64
Reflexivo	0,18
Policarbonato	
Claro	0,85
Cinza ou bronze	0,64
Domos	
Claro	0,7
Translúcido	0,4
Tijolo de vidro	0,56

Tabela A2.5 Fator solar para proteções solares (Lamberts 1997)

Proteções Solares	FS
Internas	
Cortina translúcida	0,5-0,75
Cortina semi-translúcida	0,4-0,6
Cortina opaca	0,35-0,6
Persiana inclinada	0,64
Persiana fechada	0,54
Externas	
Toldo 45o translúcido***	0,36
Toldo 45o opaco***	0,2
Venezianas	0,09
Esteira de madeira	0,09
Venezianas horizontais**	0,19
Brise horizontal***	0,25
Light-shelf (espelhada)*	0,58

ANEXO 4. FICHAS DE APLICAÇÃO

FICHA 1

Dados do local			
Latitude	Tmax.	Tmin.	Amplitude térmica

FICHA 2

Tabelas que serão utilizadas	
1	Tabela de radiação solar incidente
2	Mapa das Normais Climatológicas
3	Tabela de fatores de correção de temperatura exterior
4	Tabela de transmitâncias de referência
5	Tabela de atrasos térmicos de referência
6	Tabela de fatores solares de referência
7	Tabela de proporção de referência das aberturas

FICHA 3

Dados que serão utilizados		
	símbolo	unidade
Temperatura média das máximas	$T_{max.}$	°C
Temperatura média das mínimas	$T_{min.}$	°C
Transmitância de referência – paredes	U_{rp}	W/m ² . °C
Transmitância de referência – cobertura	U_{rc}	W/m ² . °C
Transmitância – paredes	U_p	W/m ² . °C
Transmitância – cobertura	U_c	W/m ² . °C
Amplitude térmica	Ampl	°C
Atraso térmico de referência – paredes	ϕ_{rp}	horas
Atraso térmico de referência – cobertura	ϕ_{rc}	horas
Atraso térmico – paredes	ϕ_p	horas
Atraso térmico – cobertura	ϕ_c	horas
Temperatura interna máxima – resfriamento	T_{imax}	°C
Temperatura interna mínima – aquecimento	T_{imin}	°C
Temperatura externa corrigida – resfriamento	TEC_{res}	°C
Temperatura externa corrigida – aquecimento	TEC_{aq}	°C
Radiação solar	RS	W/m ²
Transmitância de referencia –vidros	U_{rv}	W/m ² . °C
Radiação solar corrigida –paredes	RS_{cp}	W/m ²
Radiação solar corrigida – cobertura	RS_{cc}	W/m ²
Absortividade de referência das superfícies externas	α_r	-
Absortividade das superfícies externas	α	-
Fator solar de referência	FSr	-
Fator solar	FS	-
Área de parede	Ap	m ²
Área de cobertura	Ac	m ²
Área das aberturas envidraçadas	Av	m ²
Área do pavimento	Api	m ²
Pé direito	Pd	m
Resistividade superficial externa	R_{se}	-

FICHA 9

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento					
Paredes		$Q_p = A_p \cdot U_{rp} \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_p	A_p	U_{rp}	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
1					
	+				
2					
	+				
3					
	+				
N					
	=				
Total					

FICHA 10

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento					
Cobertura		$Q_c = A_c \cdot U_{rc} \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_c	A_c	U_{rc}	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
1					
	+				
2					
	+				
3					
	+				
N					
	=				
Total					

FICHA 11

Cálculo das necessidades de referência – aquecimento					
Aberturas envidraçadas		$Q_v = A_v \cdot U_{rv} \cdot (T_{min} - T_{imin})$			
	Q_v	A_v	U_{rv}	T_{min}	T_{imin}
	+				
1					
	+				
2					
	+				
3					
	+				
N					
	=				
Total					

FICHA 19

Cálculo das necessidades específicas – aquecimento					
Paredes		$Q_p = A_p \cdot U_p \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_p	A_p	U_p	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
1					
	+				
2					
	+				
3					
	+				
n					
	=				
total					

FICHA 20

Cálculo das necessidades específicas – aquecimento					
Cobertura		$Q_c = A_c \cdot U_c \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_c	A_c	U_c	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
1					
	+				
2					
	+				
3					
	+				
n					
	=				
total					

FICHA 21

Cálculo das necessidades específicas - aquecimento					
Aberturas envidraçadas		$Q_v = A_v \cdot U_v \cdot (TEC_{aq} - T_{imin})$			
	Q_v	A_v	U_v	TEC_{aq}	T_{imin}
	+				
1					
	+				
2					
	+				
3					
	+				
n					
	=				
total					

